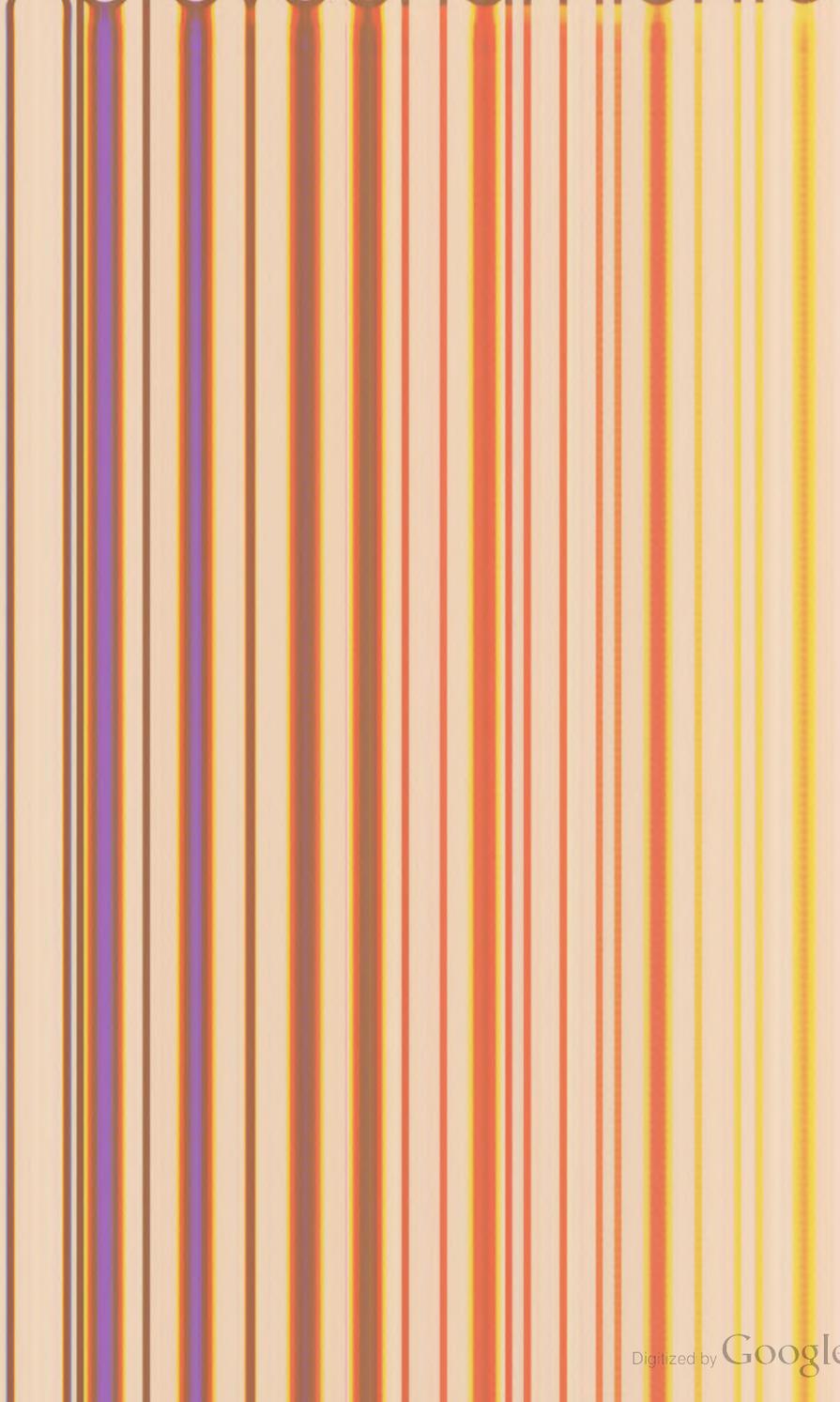


Aprovechamiento



Aprovechamiento forestal

análisis de apeo
y transporte

SERVICIO EDITORIAL IICA



Y917-27Y-EYBR

Aprovechamiento forestal

análisis de aseo
y transporte

H. Anaya

P. Christiansen

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
San José, Costa Rica, 1986

© H. Anaya y P. Christiansen
© para esta primera edición, IICA, 1986.

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin autorización del Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA).

Diseño de cubierta Mario Loaiza
Composición de texto Zaida Sequeira
Producción Editorial Rodolfo S. Cedeño

Editora de la obra Yolanda Chaverri
Editor de la Serie Michael J. Snarskis

IICA
LME— Anaya, H.

Aprovechamiento forestal ; análisis de apeo y transporte / Por H. Anaya ; P. Christiansen. — San José, Costa Rica : IICA, 1986.

vii, 235 p. — (Serie de Libros y Materiales Educativos/IICA ; no. 76)

ISBN 92-9039-112-X

I. Producción forestal. I. Christiansen, P. II. Título. III. Serie.

AGRIS
K10



DEWEY
634.95

Serie de Libros y Materiales Educativos No. 76

Este libro fue publicado por el servicio Editorial del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). La Serie de Libros y Materiales Educativos, tiene como fin contribuir al desarrollo agrícola del continente Americano.

San José, Costa Rica 1986

CONTENIDO

	Página
PROLOGO	v
CAPITULO 1	
Fundamentos sobre tecnología de aprovechamiento forestal	7
CAPITULO 2	
Trazado y construcción de caminos forestales	41
CAPITULO 3	
Racionalización del trabajo y toma de decisiones	69
CAPITULO 4	
Cálculos de inversión y cambio de equipos forestales	73
CAPITULO 5	
Producción y costos de aprovechamiento forestal	97
CAPITULO 6	
Análisis de modelos	133
CAPITULO 7	
Ciencia del trabajo	165
CAPITULO 8	
Técnicas de aprovechamiento forestal óptimo	197
CAPITULO 9	
Medidas de seguridad en aprovechamiento forestal	221

PROLOGO

En gran parte de América Latina no se hace actualmente un aprovechamiento racional de los bosques naturales; por el contrario, este recurso está sometido a destrucción paulatina para dar paso a otras actividades o a una explotación irracional desligada de todo plan de ordenamiento de bosques que garantice un rendimiento continuo a través del tiempo. Es necesario por lo tanto definir políticas sanas para tratar de conservar y hacer un mejor uso del recurso, que traiga bienestar económico y social a los asentamientos humanos de las zonas boscosas y aseguren un suministro indefinido de productos forestales nacionales.

El aprovechamiento forestal constituye una actividad fundamental dentro de la silvicultura, ya que los métodos de cosechar el bosque son un factor importante para asegurar o no un rendimiento sostenido en bosques bajo planes de ordenamiento. En la última década el aprovechamiento forestal ha incorporado tecnologías modernas para satisfacer la demanda de materia prima a escala industrial, convirtiéndose las técnicas sencillas de hace varios años en complejas operaciones que requieren consideración especial dentro de la profesión forestal. En consecuencia, la publicación de este libro persigue los siguientes objetivos:

- a. servir como texto en los cursos de aprovechamiento y transporte forestal en las facultades forestales de América Latina, en escuelas técnicas forestales, y en todas aquellas instituciones educativas que de una u otra forma tengan que ver con el manejo y uso de los recursos naturales renovables;*

- b. *proporcionar a los ingenieros, técnicos y economistas de las industrias forestales y madereras una guía para la toma de decisiones relacionadas con mecanización y planificación de operaciones de aprovechamiento forestal, con el fin de evitar grandes errores en aspectos económicos de producción de madera;*
- c. *suministrar al sector forestal de los gobiernos una orientación para definir políticas en el campo del manejo y el aprovechamiento de los recursos forestales.*

HECTOR J. ANAYA L.

PER CHRISTIANSEN

CAPITULO 1

FUNDAMENTOS SOBRE TECNOLOGIA DE APROVECHAMIENTO FORESTAL

Además de las funciones de conservación de suelos, agua y fauna, y de su función recreativa, el objetivo final de los esfuerzos de ordenamiento de bosques es hacer que un suelo produzca la madera y demás productos forestales necesarios al hombre. De allí que las operaciones de aprovechamiento y transporte forestal, hasta colocar la materia prima en las plantas procesadoras, deban ser consideradas como la culminación de las prácticas silviculturales en la masa forestal.

En este capítulo se presenta una síntesis de los sistemas y métodos de las diversas operaciones que integran la cadena del transporte forestal, con especial énfasis en la mecanización del aprovechamiento de bosques tropicales.

1.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN OPERACIONES DE APROVECHAMIENTO FORESTAL

1.1.1 Factores del terreno

- a. Condición general del área boscosa:

Localización geográfica del área: longitud, latitud, altura sobre el nivel del mar.

Características climáticas: temperatura y precipitación (distribución e intensidad).

Características geomorfológicas.

b. Descripción detallada del terreno:

Pendiente: % de pendiente, longitud de la pendiente, dirección de la pendiente (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO).

Rugosidad del suelo: es independiente del % de pendiente y se basa en la ocurrencia de obstáculos como variación de la superficie, tocones, piedras, huecos, puntas rocosas y otros.

Características físico-mecánicas del suelo: estructura y profundidad de la capa de humus, textura y profundidad de suelo mineral, pedregosidad, drenaje, resistencia.

Susceptibilidad a la erosión: sin riesgo, con riesgo, con gran riesgo de erosión.

Accesibilidad: distancia a vías de acceso y uso de terrenos adyacentes.

1.1.2 Factores forestales:

- a. Tamaño total del área boscosa: m³ totales para aprovechar.
- b. Volumen por hectárea: crecimiento promedio/ha/año, m³/ha en cortas finales.
- c. Diámetro de fustes, dureza de la madera y peso de las trozas, grado de peligro para daños biológicos de las trozas.
- d. Consideraciones silviculturales: métodos adecuados para reforestación, política de entresaca.

1.1.3 Factores sociales:

- a. Mano de obra: escolaridad, dialecto, nivel de vida, habilidad, experiencia, motivación.

- b. Situación de empleo: competencia con otras industrias, salarios.

1.2 OPERACIONES TERMINALES

Se denomina operaciones terminales a aquellas cuyos costos por unidad de volumen son independientes de la distancia de transporte, por ejemplo apeo, desrame, troceo, descortezado, apilado, carga y descarga.

1.2.1 Apeo

Los factores fundamentales que se debe tener en cuenta para elegir un determinado método de apeo son: pendiente del terreno, volumen/ha, diámetro del fuste y mano de obra. El apeo manual (hacha, sierra de arco) es recomendable en plantaciones de bajo volumen por hectárea y diámetros pequeños. El empleo de motosierras está condicionado a alto volumen/ha, diámetros grandes y habilidad de los operarios. Las motosierras están diseñadas para tumbar árboles siguiendo las normas apropiadas para hacerlo con herramientas manuales, o sea empleando dos cortes, uno de dirección y otro de caída² (ver Fig. 1).

Cuando el diámetro del fuste es menor que la longitud de la espada, el corte de caída se hace conforme lo indica la Fig. 2; cuando el diámetro es mayor que la longitud de la espada, el corte de caída se sigue conforme lo ilustra la Fig. 3. De esta manera es posible

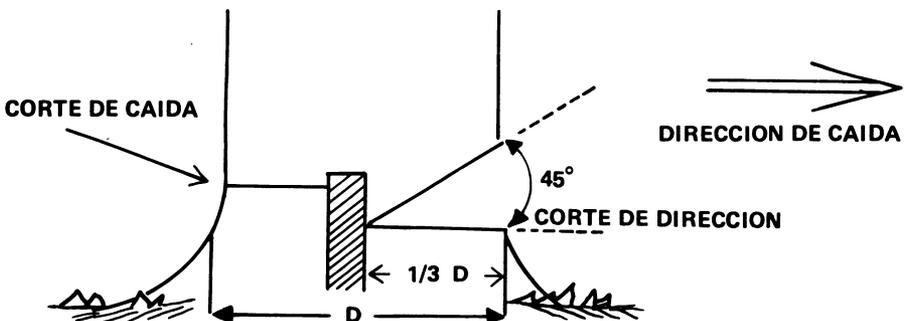


Fig. 1. Corte de apeo.

tumbar árboles de un diámetro hasta el doble de la longitud de la espada. Motosierras Stihl, Homelite, Pioneer, Husqvarna, Dolmar, McCulloch han sido usadas con éxito en bosques tropicales.

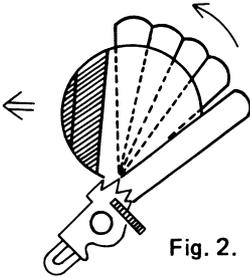


Fig. 2. Longitud espada > diámetro.

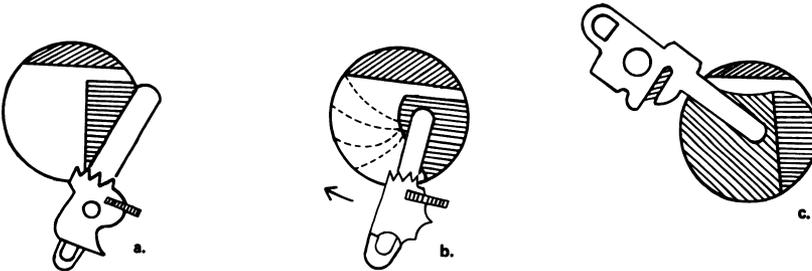


Fig. 3. Longitud espada < diámetro.

Al derribar algunos árboles en bosques tropicales se presentan serias dificultades debido a ciertas condiciones específicas, por lo que hay que emplear técnicas especiales en los siguientes casos:

a. Árboles con pudrición central y árboles inclinados.

Se emplea las orejas de volteo, que son pequeñas muescas en los extremos del corte de dirección (Fig. 4).

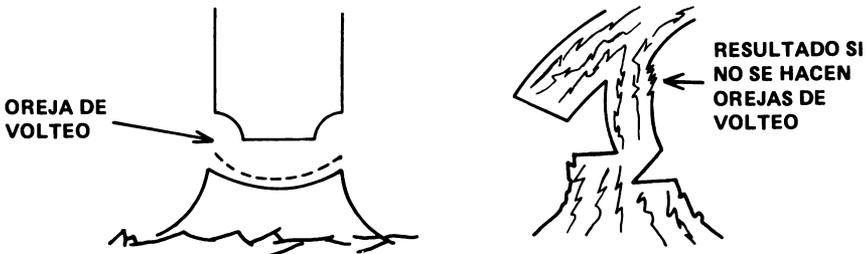


Fig. 4. Arbol inclinado en la misma dirección de caída.

b. Vientos

Cuando ocurren vientos en dirección distinta a la de caída, el árbol queda sin control, lo que se puede evitar en gran parte con el empleo de cuñas. Cuando el viento es muy fuerte se debe suspender la operación de apeo.

c. Arbol con bambas

Primero se elimina las bambas con la motosierra dejando dos puntos sin cortar para controlar la dirección de caída y disminuir riesgos de accidentes, luego se efectúan los cortes de dirección y caída; finalmente se corta los puntos (3) siguiendo la secuencia indicada en la Fig. 5.

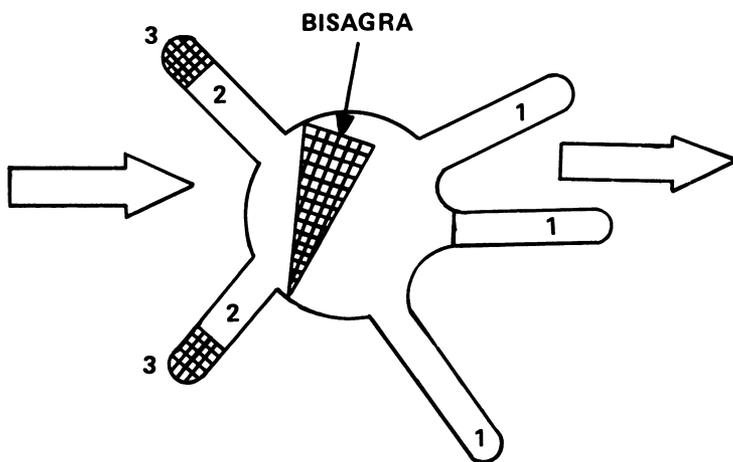


Fig. 5. Arbol con bambas.

d. Fustes de diámetros muy grandes

Cuando el diámetro es mayor que el doble de la longitud de la espada hay necesidad de hacer un corte especial en el centro del árbol con la punta de la espada, siguiendo la secuencia que indica la Fig. 6.

Bajo cualquier circunstancia se recomienda el empleo de cuñas para orientar la dirección de caída en la operación de apeo.

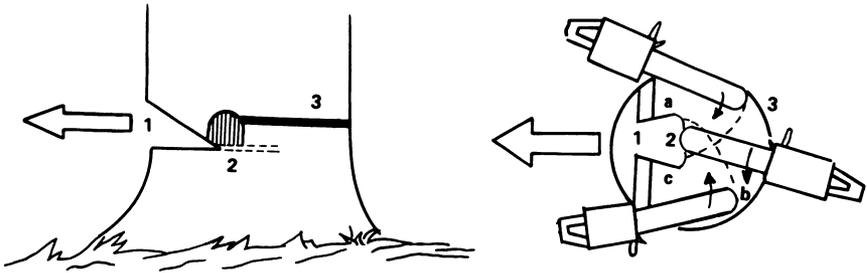


Fig. 6. Diámetro muy grande.

1.2.2 Carga y descarga

Dentro de la cadena del transporte forestal estas operaciones absorben altos costos debido al tiempo promedio de espera de cada camión para ser cargado o descargado y al tiempo promedio de carga o descarga. Cuando se trata de madera liviana para aserraderos, para pulpa (bosques de coníferas, eucaliptus, otros), estas operaciones pueden realizarse manualmente o por medio de grúas hidráulicas de baja capacidad (menos de 3 toneladas) pero de alto rendimiento; la decisión sobre el método a ser elegido depende del análisis de costo que se estudiará en capítulos posteriores. En caso de madera pesada no es recomendable el método manual por razones de costos, ergonómicas y de fisiología del trabajo. Para madera pesada los “winches” y las grúas mecánicas han sido la mejor solución en los grandes complejos forestales y madereros.

Existen muchas casas especializadas productoras de estos equipos⁶.

1.3 TRANSPORTE MENOR

Se entiende por transporte menor el traslado de la madera desde el lugar de apeo hasta un patio sobre una vía principal de acceso (camino forestal o carretera pública, río, ferrocarril o canal), incluyendo las operaciones terminales.

1.3.1 Transporte menor no mecanizado

1.3.1.1 Transporte manual

El transporte manual está limitado por la distancia de transporte, las condiciones topográficas y el tamaño de las trozas. En el transporte de madera para pulpa es posible emplear fuerza humana para trasladar trozas pequeñas del tocón a un primer patio o vía de acceso, donde se apilará para luego continuar el transporte con otros sistemas.

En ningún caso es recomendable que este transporte manual se realice a distancias mayores de 50 metros, tanto por razones de ergonomía y fisiología del trabajo como por razones económicas⁵.

1.3.1.2 Transporte por fuerza de gravedad

Este tipo de transporte está gobernado por la pendiente, la rugosidad del suelo y el tamaño de las trozas. Para emplear la fuerza de gravedad en suelos susceptibles a la erosión se requiere construir canales de deslizamiento recubiertos con madera colocada en sentido longitudinal a lo largo del canal. Cuando las condiciones del suelo son favorables no es necesario construir estos canales.

Las condiciones que determinan el uso de estos deslizaderos pueden ser resumidas de la manera siguiente¹:

- a. pendiente del terreno mayor del 30 %;
- b. la pendiente debe ser uniforme o ligeramente rugosa;
- c. distancia máxima de 500 metros;
- d. trozas con un máximo de 500 kilos;
- e. patio amplio en el punto de llegada de las trozas.

Dada su simplicidad de construcción y por las condiciones topográficas de las plantaciones en muchos países americanos, este método puede ser un medio económico para el transporte en los bosques que cumplan con las condiciones anteriores, siempre cuando haya un camino de acceso en la parte baja de la pendiente.

1.3.1.3 Transporte forestal con animales

Características generales de los animales de tiro: los animales que más se adaptan al transporte de madera en el medio americano son los bueyes, los caballos y las mulas. Estos animales presentan una característica común cuando se les emplea como fuerza de tiro: su capacidad de arrastre disminuye cuando aumentan la velocidad o la distancia de recorrido¹.

a. Transporte con bueyes

La vida de trabajo de un buey es de aproximadamente 10 años, y su marcha normal (sin carga) es de 2.5 km/h. Los bueyes poseen gran capacidad de tiro, sus pezuñas anchas y grandes permiten atravesar terrenos blandos y fangosos por ejercer baja presión unitaria sobre el suelo; comparados con los caballos y las mulas pueden bajar pendientes fuertes (45 %). La fuerza de tracción de un buey es equivalente a una cuarta parte del peso del animal. Siendo el peso de un buey aproximadamente 500 kilos, su fuerza de tracción será de 125 kilos pudiendo duplicarse o triplicarse esta fuerza si la distancia es corta (menor de 100 metros).

b. Transporte con caballos

La fuerza de tracción de los caballos puede considerarse, para la marcha normal en zonas boscosas, en la mitad de su peso, lo que varía con la velocidad y el tiempo pues la fatiga del animal hace que aquella disminuya para velocidades altas y después de un largo recorrido.

El esfuerzo de tracción, la velocidad y el tiempo empleados no son independientes unos de otros pues están ligados por relaciones que se ha pretendido traducir a fórmulas que no es del caso analizar por su valor más bien teórico.

Cuando el tiro es realizado por varios caballos no se puede multiplicar el esfuerzo unitario por el número de ellos para obtener el esfuerzo total de tracción; la no coordinación en el tiempo de los esfuerzos hace que sea necesario aplicar un coeficiente de reducción, dependiente del número de caballos que componen el tiro; el coeficiente de reducción es, según Schwilge¹:

Para 2 caballos	1
Para 3 caballos	0.91
Para 4 caballos	0.89
Para 5 caballos	0.76

Aunque no se ha hecho estudios sobre estos coeficientes de reducción para bueyes, se puede asumir que los valores anteriores son válidos para arrastre con dos o más bueyes.

Las ventajas de los caballos sobre las mulas y los bueyes son sus mayores actividades y rapidez, muestra de más inteligencia y su buena adaptación a climas fríos¹.

c. Transporte con mulas

La eficiencia relativa y los factores que gobiernan el uso de mulas para el transporte forestal son muy similares a los mencionados para el transporte con caballos. Sin embargo, las mulas presentan algunas ventajas sobre los caballos en los siguientes aspectos:

- 1) son más resistentes al calor, por lo que no se incapacitan tanto como los caballos cuando se calientan demasiado, y en consecuencia trabajan muy eficientemente en climas cálidos¹;
- 2) se excitan menos que los caballos;
- 3) son menos exigentes en la alimentación;
- 4) su costo inicial es más bajo;
- 5) con buenos cuidados y alimentación una mula puede trabajar 10 años; si trabaja una semana y descansa otra su rendimiento es mayor y puede trabajar hasta 15 años.

1.3.1.4 Transporte forestal por agua

Algunas modalidades de transporte forestal por agua pueden ser consideradas como transporte menor aunque el recorrido se hace generalmente a más de 5 km. Los métodos de transporte menor por agua se pueden clasificar así:

- a. transporte de trozas libres por la corriente de ríos o canales hasta un pozo de almacenamiento (*boom*), donde se clasifica la madera;
- b. transporte en balsas (trozas atadas) remolcadas por lanchas-remolcadoras desde el *boom* hasta la boca de los ríos;
- c. cuando la madera no flota las trozas se transportan sobre una plataforma guiada por lanchas-remolcadoras.

1.3.2 Transporte menor mecanizado

Para asegurar una producción mínima bajo costos aceptables dentro de las complejas condiciones físico-económicas y sociales de los bosques subtropicales, hay necesidad de pensar en un cierto grado de mecanización cuyo nivel óptimo es posible determinar mediante los análisis de los próximos capítulos. En este numeral se presenta una síntesis sobre la tecnología moderna que ofrece alguna factibilidad para el aprovechamiento de bosques tropicales y de coníferas en América Latina.

1.3.2.1 Transporte forestal con tractores

1.3.2.1.1 Tractores forestales articulados de ruedas

Los tractores forestales de ruedas pueden ser de dos tipos:

- a. tractores arrastradores (Fig. 7)
- b. tractores con remolque (Fig. 8)

Ambos son empleados para transportar trozas pero operan económicamente en diferentes condiciones de topografía, suelos y peso de las trozas.

a. Tractores arrastradores

Estas máquinas transportan la madera arrastrándola sobre el suelo por lo que solamente son económicas a distancias cortas. Algunas marcas, como Timber Jack, Garret Tree Farmer, Clark, Ranger, Caterpillar u otros han sido empleadas con éxito en bosques tropicales y de coníferas en América Latina.

Los tractores arrastradores están provistos de un arco integral que levanta el extremo delantero de la troza facilitando la operación de arrastre (ver Fig. 7). La capacidad de arrastre de estas máquinas varía, pero en ningún caso es inferior a una tonelada⁵.

- 1) **Diferencias de tractores forestales arrastradores de ruedas y tractores agrícolas:**
 - a) **bastidor:** el bastidor es más resistente en los tractores forestales para soportar el peso de las trozas;
 - b) **chasis:** el chasis de un tractor agrícola es rígido y rectangular, el de los forestales es articulado, consistente en la unión de dos chasis, uno anterior que soporta el motor y la cabina del conductor, y otro posterior que sostiene un malacate y un arco integral, necesitando por lo tanto dos bastidores, uno para cada chasis. Los dos chasis están unidos por una articulación en el centro o cerca del centro del vehículo, lo que permite el giro en el plano horizontal (algunos diseños facilitan cierta rotación en el plano vertical). Este tipo de chasis genera una mayor adaptación de la máquina a las condiciones irregulares del terreno;
 - c) **ruedas:** en los tractores forestales las cuatro ruedas siempre son grandes e iguales;
 - d) **dirección:** en los tractores agrícolas puede ser mecánica o de servo-dirección; en los forestales la dirección normalmente es hidráulica articulada;
 - e) **transmisión:** los órganos de transmisión tienen el mismo principio en los dos tipos de tractores aunque en los forestales son más complicados debido al sistema de dirección articulada que exige el empleo de árboles deslizantes;
 - f) **cabina del conductor:** a diferencia de los tractores agrícolas, la totalidad de los tractores forestales de ruedas va provista de cabina para el conductor, por efectos de protección y comodidad;

- g) arco integral: este equipo auxiliar solamente lo llevan los tractores forestales, para facilitar el arrastre de las trozas;
- h) pala frontal: a diferencia de los tractores agrícolas, los tractores forestales de ruedas van equipados con una cuchilla frontal para apoyar la máquina durante la operación de “winche” y para apilar las trozas en los patios;
- i) escudo protector: los tractores forestales van equipados con un escudo para proteger las llantas traseras de los daños que puedan causar la carga o los cables de arrastre;
- j) “winche”: es un implemento que forma parte del tractor forestal para las operaciones de arrastre de las trozas;
- k) reparto de los pesos: el reparto de pesos en los tractores forestales de ruedas y en los agrícolas es completamente opuesta: en los agrícolas se distribuye 1/3 de su peso en el eje delantero y 2/3 en el posterior; en el tractor forestal de arrastre el eje delantero soporta aproximadamente 2/3 de su peso y el posterior 1/3.

Debido a estas diferencias los tractores agrícolas no presentan adaptabilidad aceptable para el transporte de madera en bosques tropicales montañosos.

b. Tractores con remolque

Con estos tractores la carga no se transporta arrastrándola sobre el suelo sino que es totalmente soportada por el remolque. Estos tractores pueden llevar mucha carga, por lo que pueden laborar económicamente en distancias superiores a aquellas en que operan los tractores arrastradores.

La mayoría de los tractores con remolque viene dotada de una grúa hidráulica para operaciones de carga. Estos tractores son una posible solución para bosques donde económicamente no se justifique una densidad muy alta de caminos para camiones; presentan grandes ventajas especialmente en plantaciones de coníferas, eucalipto y futuros bosques tropicales.

1.3.2.1.2 Tractores de orugas

Para el transporte de madera liviana no es económico emplear tractores de oruga convencionales, si bien para arrastrar trozas pesadas en bosques tropicales de suelos blandos o arcillosos estos tractores parecen ser la mejor solución debido a las limitaciones tecnológicas de los tractores de ruedas para llegar hasta cada tocón.

En los bosques tropicales de montaña, y debido al peso de las trozas y a las condiciones topográficas, los tractores convencionales de oruga (Caterpillar, Allis Chalmers, International, otros) han sido la única solución para arrastrar madera. Sin embargo, el mejor uso de estos tractores se hace a cortas distancias, máximo 1 000 metros. Existen tractores forestales de oruga y de alta potencia, tales como TDT-55, TDT-60 y TDT-75, Bombardier, FMC-200 CA, FMC-200 BG. (Fig. 9). Debido a la baja velocidad el costo de producción con estos tractores aumenta rápido con la distancia.

1.3.2.2 Máquinas múltiples

Para cosechar la madera de plantaciones en Canadá y norte de Europa se emplean métodos altamente mecanizados utilizando equipo procesador de distintos tipos que ejecuta las operaciones de apeo y transporte menor; debido a su diseño y alto costo estas máquinas no se justifican en América Latina, dadas las actuales circunstancias sociales y económicas de sus países.

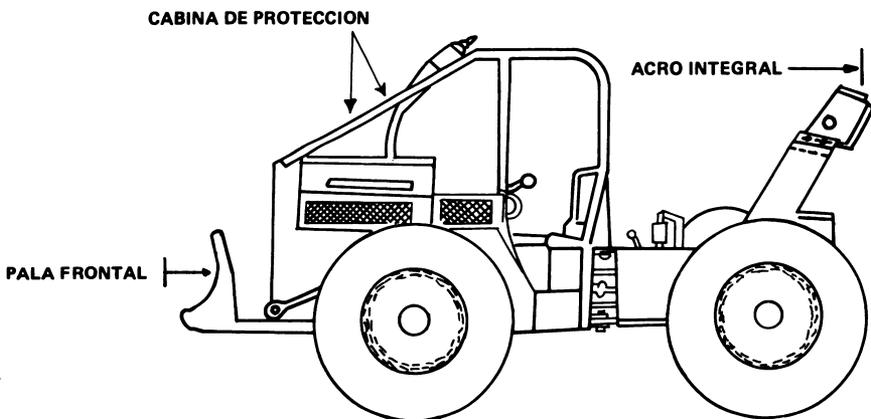


Fig. 7. Tractor forestal articulado de ruedas.

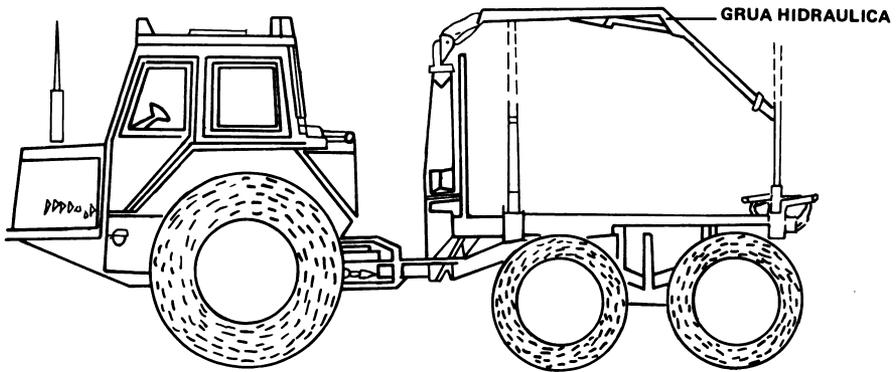


Fig. 8. Tractor forestal articulado de ruedas con remolque.

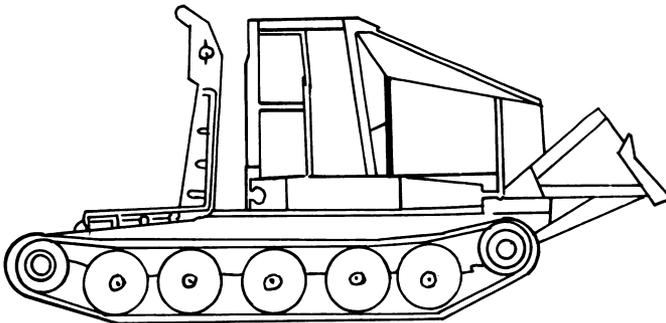


Fig. 9. Tractor forestal de oruga (FMC Modelo 200 CA).

1.3.2.3 Transporte forestal con cables

1.3.2.3.1 El cable como medio de transporte

Existen pocos datos precisos sobre los principios que deben regir el perfeccionamiento sistemático de la explotación forestal y en particular la elección de métodos cuya eficiencia ha quedado demostrada en otras partes del mundo, pero a pesar de que unos sistemas son más provechosos que otros cabe la posibilidad de que resulte eficaz en determinadas condiciones lo que es impracticable en otros lugares. De ahí el cuidado que debe tenerse al tratar de adaptar un sistema de otro país a un medio de características diferentes.

Las condiciones bajo las cuales puede emplearse los cables con gran eficiencia son³:

- a. alto volumen de madera aprovechable por hectárea;
- b. donde la construcción de una red de carreteras forestales se haga muy difícil, bien sea por inconvenientes de orden técnico o económico;
- c. en bosques sobre terrenos abruptos y rocosos;
- d. en el centro de zonas pantanosas;
- e. en zonas de terrenos susceptibles a la erosión;
- f. en bosques rodeados de terrenos de poco interés económico, donde no sea posible la amortización de un camino;
- g. donde haya necesidad de extraer rápidamente los productos en casos de incendios, plagas, otros;
- h. en las hoyas hidrográficas, donde se debe evitar la contaminación y acumulación de desechos.

1.3.2.3.2 Cables transportadores de uso forestal

En esta sección sólo se ofrece una breve descripción del transporte forestal con cables, sin entrar en los aspectos de ingeniería de sus diversas instalaciones³.

Los cables empleados para el transporte de trozas en las explotaciones forestales pueden clasificarse, de acuerdo a sus características y modo de operar, en dos clases:

- a. cables terrestres
- b. cables aéreos.

A continuación se da algunos datos generales sobre instalación y operación de varios sistemas de cables transportadores.

- a. **Cables terrestres:** se denominan así porque durante el proceso de transporte las trozas van arrastrándose sobre el suelo. En los cables terrestres se puede distinguir dos sistemas:

- 1) "Va y Viene Bajo" (Fig. 10)
- 2) "Va y Viene Alto" (*High Lead*) (Fig. 11)

b. Cables aéreos: un cable aéreo es una línea suspendida a determinada altura del suelo; las cargas se deslizan cuesta abajo, a lo largo del cable por acción de la gravedad y por medio de potencia mecánica si el transporte se efectúa cuesta arriba.

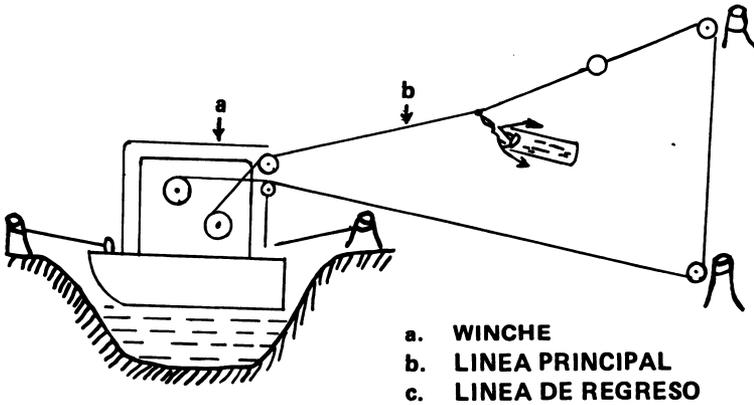


Fig. 10. Sistema de cables terrestres "va y viene bajo".

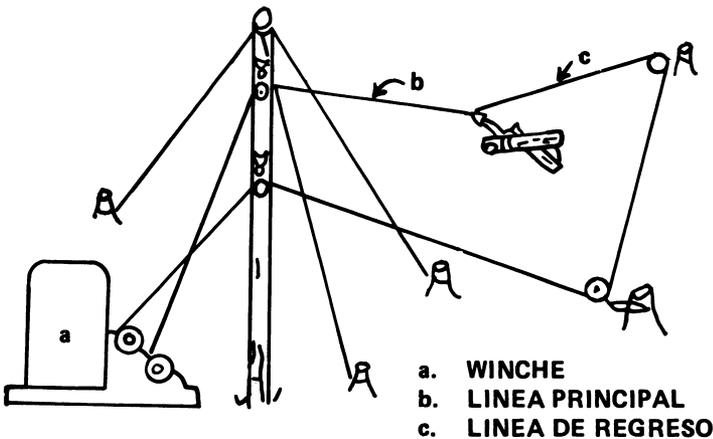


Fig. 11. Sistema de cables terrestres "va y viene alto" (high-lead).

Básicamente hay tres sistemas de cables aéreos:

- 1) cables aéreos fijos (simples o múltiples). Tienen ambos extremos anclados y pueden operar con "winche" de un solo tambor. En Europa este sistema opera fundamentalmente con cables sinfín.

Dentro de tal sistema las instalaciones más conocidas son:

Sistema "Simple de gravedad" (Fig. 12)

Sistema *North Bend* (Fig. 13)

Sistema *Wyssen*

Sistemas *Alpwinch*, *Hinteregger* (Fig. 14)

- 2) cables aéreos flojos (Fig. 15). Tienen solamente anclado el extremo posterior; el extremo anterior de la línea aérea enrolla en un tambor del "winche".
- 3) cables aéreos móviles (Fig. 16). En este sistema todas las líneas aéreas se mueven durante el proceso de transporte o regreso del carro portacargas.

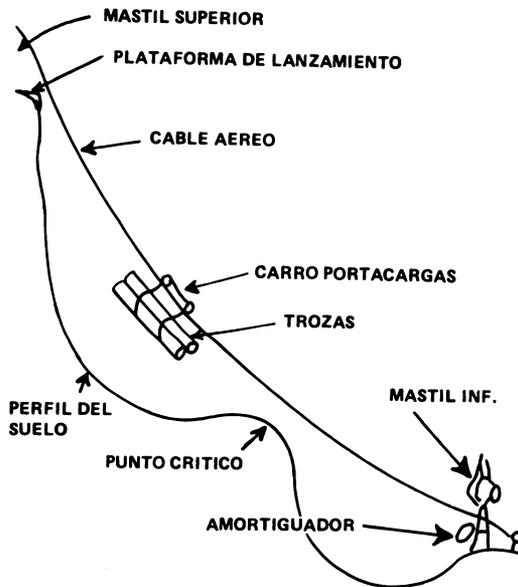


Fig. 12. Sistema simple de gravedad.

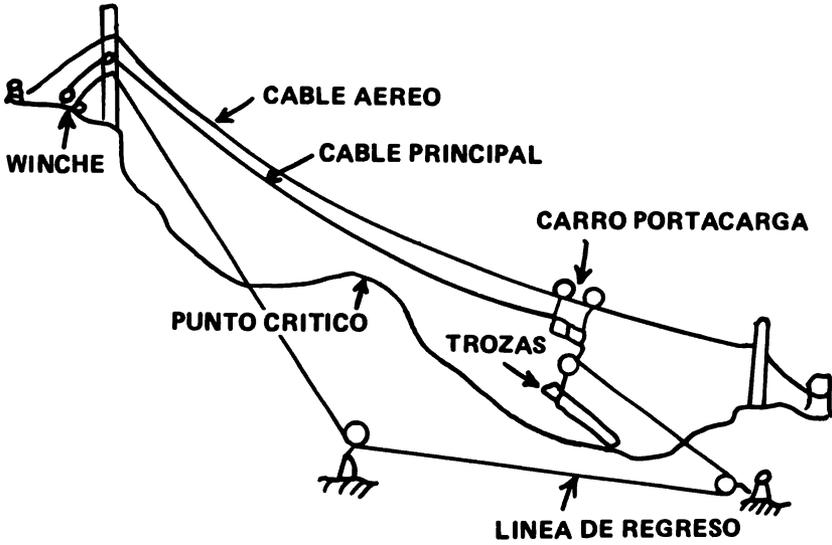


Fig. 13. Sistema *North Bend* modificado.

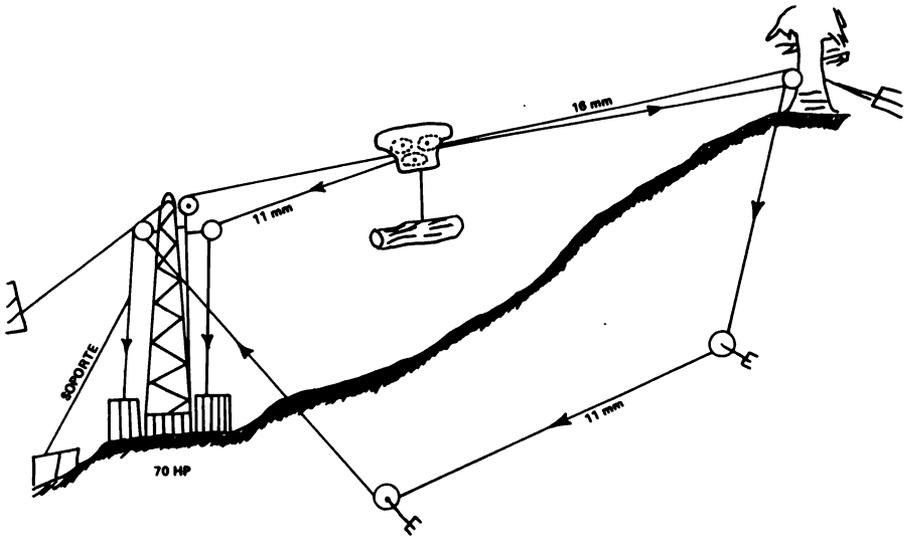


Fig. 14. Sistema *alpwinch*.

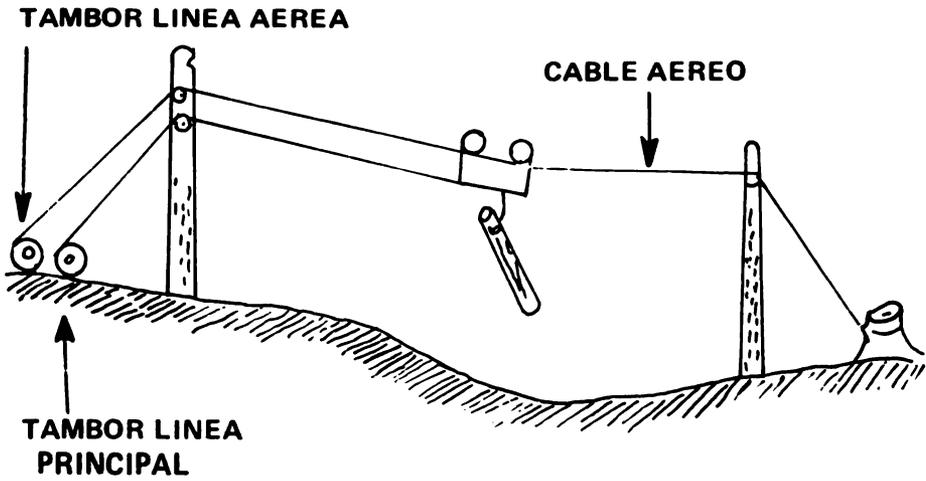


Fig. 15. Cable aéreo flojo.

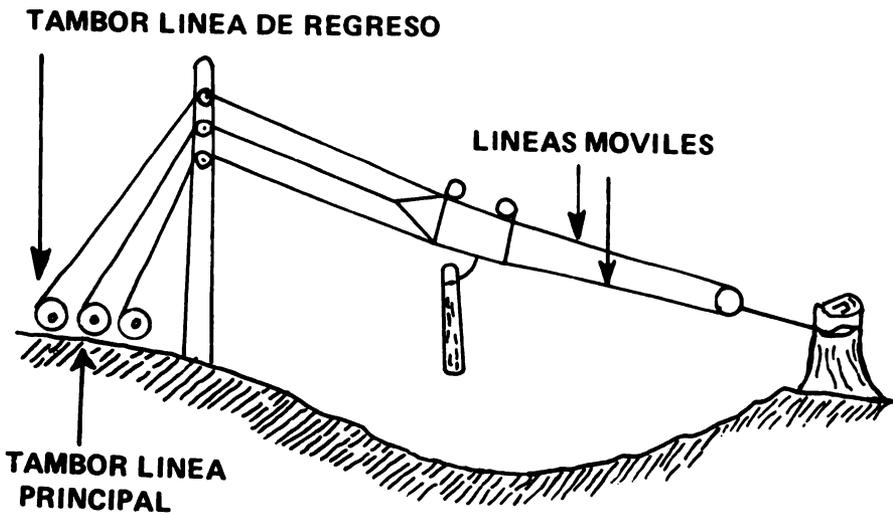


Fig. 16. Cable aéreo movil.

1.3.2.3.3 Ingeniería de cables aéreos

Cuando la deflexión permanece constante en un cable aéreo de espacio inclinado, la tensión aumenta al aumentar la pendiente.

El propósito de la ingeniería de cables aéreos tratados en este capítulo es determinar qué deflexión permite el terreno y luego determinar la capacidad de carga de la línea aérea con esta deflexión.

Un cable en suspensión adopta la forma de una curva especial, llamada “curva de la catenaria”.

En un cable aéreo de espacio horizontal la máxima tensión ocurre cuando la carga está en el punto medio; en cables de espacio inclinado la máxima tensión se produce cuando la carga está ligeramente desplazada del punto medio hacia el soporte inferior. Sin embargo, hasta pendientes del 120 % la diferencia entre la tensión producida cuando la carga está en la posición de tensión máxima y la producida cuando la carga está en el punto medio es despreciable. Por lo tanto para simplificar los cálculos matemáticos de deflexiones y tensiones se considerará la carga situada en el punto medio.

La mejor vía para determinar la deflexión de un cable aéreo es el método gráfico, conocida con el nombre de “Gráfico de Deflexiones”. Los materiales necesarios para confeccionar dicho gráfico son: papel milimetrado, una cuerda metálica o de fibra, una cadena fina y varias “agujas metálicas” y “chinchas”. A mayor escala en el gráfico se obtendrá mayor exactitud en las medidas⁴.

La nivelación de la dirección en que va a ser tendido el cable aéreo es indispensable para la confección del perfil. Otra información adicional para diseñar la instalación de un cable aéreo es el peso del carro portacargas, ya que la tensión debida a la carga es producida por el peso del carro portacarga más el peso de la troza.

La Fig. 17 ilustra las características más importantes de un cable aéreo de espacio simple. Esta figura sirve también para aclarar las definiciones de los siguientes términos relacionados con una línea aérea:

- a. árbol soporte o árbol mástil, es el empleado para soportar los extremos de la línea aérea;

- b. cuerda, es la línea recta entre los soportes del cable;
- c. deflexión, es la distancia vertical entre la cuerda y el cable aéreo;
- d. punto crítico, es el punto del perfil más cercano a la línea aérea;
- e. luz, es la distancia vertical entre la línea aérea y el suelo.

Confección de un “Gráfico de Deflexiones” (ver Fig. 18):

- 1) en papel milimetrado se dibuja el perfil del suelo entre los árboles mástiles anteriores y posteriores, empleando la misma escala para los ejes horizontal y vertical (se recomienda una escala de 1:200);
- 2) se coloca el papel en una pared con el eje horizontal perfectamente nivelado;
- 3) se colocan dos agujas metálicas en la elevación estimada sobre el suelo de los soportes del cable;
- 4) se coloca una cuerda bien tensada entre las dos agujas metálicas;
- 5) se suspende una cadena liviana que tenga como soportes a las dos agujas metálicas, anclando el extremo superior con una chinche. La cadena asumirá el perfil del cable aéreo, que es una catenaria;
- 6) se cuelga de la cadena un peso liviano por medio de un gancho de alambre delgado; este peso representa la carga. Lleve la carga a la vertical que pasa por el punto crítico y ajuste la flecha de tal forma que permita una luz aproximada de 6 metros entre el suelo y el cable;
- 7) obtenida la condición anterior se ancla el otro extremo de la cadena con una chinche;
- 8) se mueve la carga al punto medio y se lee la magnitud de la flecha en este punto. Esta deflexión se denomina “ D_c ” y es la que se emplea para el cálculo de la tensión máxima, como se verá más adelante.

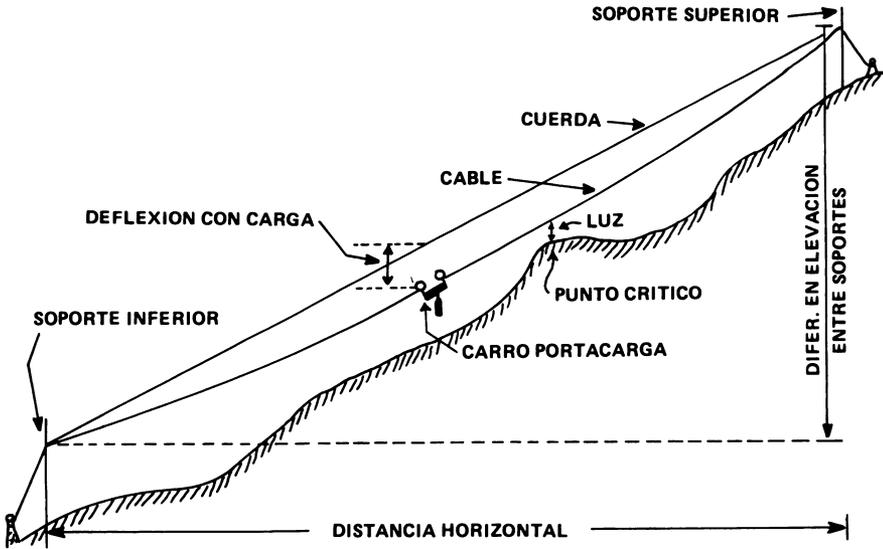


Fig. 17. Perfil típico de un cable aéreo.

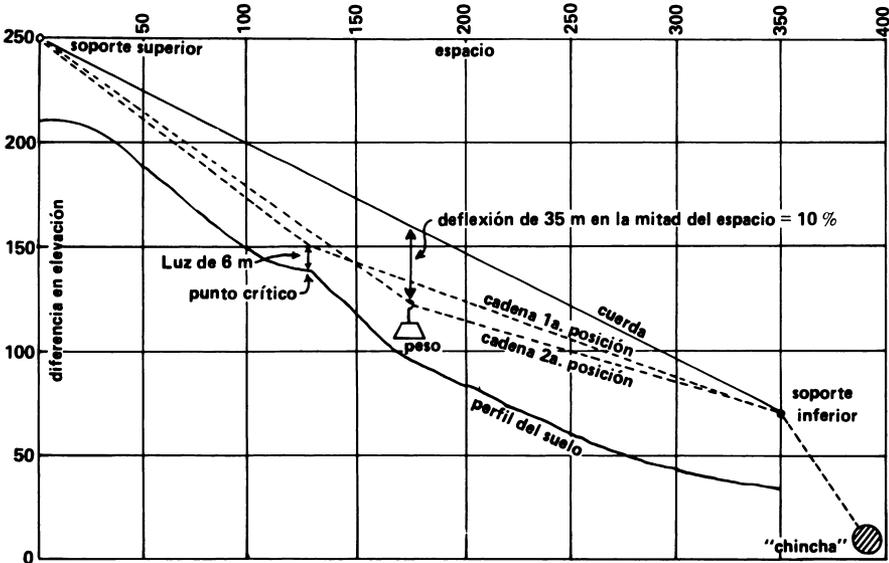


Fig. 18. Gráfico de deflexiones.

Para evitar confusiones en cálculos posteriores se empleará la siguiente nomenclatura para el cómputo de tensiones y cargas en cables aéreos.

- A. Longitud de un espacio inclinado
- Dc. Deflexión en el centro del espacio producida por una carga concentrada
- E. Diferencia de elevación entre los soportes
- L. Longitud del cable en el espacio
- P. Peso de la carga concentrada
- S. Longitud horizontal del espacio
- T. Tensión en el cable
- W. Peso por metro de cable

Para evitar confusiones en el proceso de estos cálculos primero se explicará los pasos consecutivos que se debe seguir y luego aparecerá un formulario especial para efectuar este tipo de cálculos.

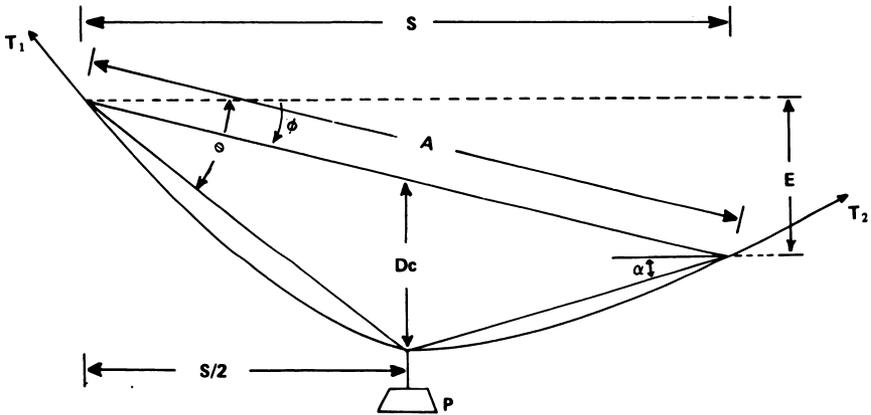
Los pasos consecutivos para el cómputo de la capacidad de carga de un cable aéreo son⁵:

- 1) sobre el “Gráfico de Deflexiones” determinar la máxima deflexión permitida en el punto medio del espacio cuando el cable está cargado en este punto. Esta deflexión se denomina Dc (ver Fig. 18);
- 2) elegir un factor de seguridad (F.S.) que no debe ser menor de tres. El límite elástico de un cable de acero es aproximadamente la mitad de la carga a la ruptura, lo cual significa que si el cable trabaja con un factor de seguridad de dos o menos ocurrirán permanentes deformaciones y elongaciones de la línea. Factores de seguridad mayores de tres se recomiendan en cuanto sea posible para alargar la vida del cable;
- 3) hallar la carga de trabajo segura para el F.S. dado que es igual a:

$$\frac{\text{Carga a la ruptura en toneladas}}{\text{F.S.}}$$

- 4) se calcula los ángulos α y Θ conforme lo indican las fórmulas correspondientes a la Fig. 19;

- 5) se halla la tensión en el soporte superior, tensión máxima debida al peso del cable; esta tensión se denomina "T debida a w" o simplemente T_w (en toneladas); ver fórmulas correspondientes a la Fig. 19;
- 6) se encuentra la tensión máxima en el soporte superior producida por cada tonelada de carga concentrada en el punto medio; esta tensión se denomina "T por tonelada de P" o simplemente T_p (en toneladas); ver fórmulas correspondientes a la Fig. 19;



Fórmulas para hallar los ángulos (como puede ser demostrado analíticamente):

$$\tan \alpha = \frac{2D_c - E}{S} \qquad \tan \theta = \frac{2D_c + E}{S}$$

α es (+) o (-) cuando el vértice está por debajo o por encima del soporte inferior.

Fórmulas para computar las tensiones en los soportes:

$$T_1 = T_1\omega + T_1p = \frac{wS^2}{8 D_c \cos \theta} + \frac{P \cos \alpha}{\text{sen} (\theta \pm \alpha)}, \text{ Soporte superior}$$

$$T_2 = T_2\omega + T_2p = \frac{wS^2}{8 D_c \cos \alpha} + \frac{P \cos \theta}{\text{sen} (\theta \pm \alpha)}, \text{ Soporte inferior.}$$

Fig. 19. Cable aéreo inclinado cargado en el punto medio.

- 7) se define la resistencia dejada para P, que es igual: carga a la ruptura menos Tw (en toneladas);
- 8) se halla P permitido, o sea:
(P permitido) x (T por ton de P) = Resistencia dejada para P, de donde

$$P \text{ permitido} = \frac{\text{resistencia dejada para P}}{T \text{ por ton de P}} \text{ (en toneladas)}$$

- 9) se deduce la capacidad (en toneladas) disponible para las trozas, que se denomina "P disponible para las trozas", y es igual al P permitido (hallado en el paso anterior) menos el peso del carro portacargas;
- 10) se determina el volumen (en m³) que se puede transportar en cada viaje dividiendo el P permitido para las trozas por el peso por metro cúbico de madera rolliza.

El formulario elaborado para estos cálculos se encuentra en el Cuadro No. 1.

CUADRO No. 1. Forma de computar tensiones y cargas en cables aéreos de espacio simple.

DATOS DEL CABLE Y ACCESORIOS

Diámetro _____ pulgadas

Construcción _____

Peso _____ kg/metro lineal =

Carga a la ruptura _____ toneladas

Factor de seguridad (F.S.) _____

Carga de trabajo segura = $\frac{\text{Carga a la ruptura}}{\text{Factor de seguridad}}$ = _____ toneladas

Peso del carro portacargas _____ toneladas

DATOS OBTENIDOS DEL GRAFICO DE DEFLEXIONES

Longitud horizontal del espacio = (S) _____ metros

Diferencia de elevación entre soportes = (E) _____ metros

Deflexión con carga en $S/2=(Dc)$ _____ metros _____%S

CALCULO DE ANGULOS Y TENSIONES

Tg = _____ = _____ = _____ Coseno = _____

Tg = _____ = + _____, = _____ Coseno = _____

Seno ($\Theta \pm \alpha$) = Seno (_____) = Seno _____ = _____

T debida a = _____ = _____ = _____ toneladas

T por toneladas de P = _____ = _____ = _____ toneladas

CALCULO DE CAPACIDAD DE CARGA

Carga de trabajo segura _____ toneladas

Menos "T debida a w". _____ toneladas

Resistencia dejada para P. _____ toneladas

P permitido = $\frac{\text{Resistencia dejada para P}}{\text{T por ton, de P}}$ = _____ = _____ ton.

P disponible para las trozas = P permitido - P carrete = _____ ton.

Volumen = $\frac{\text{P disponible}}{\text{Peso/m}^3}$ = _____ = _____ m³/viaje

1.3.2.4 Transporte forestal con globos y helicópteros

1.3.2.4.1 Transporte forestal con globos: el sistema de transporte forestal con globos puede ser considerado como un desarrollo de los sistemas de cables transportadores; hoy se conoce los siguientes tres sistemas de transporte forestal³ con globos:

- a. globo instalado en sistema de cables "Va y Viene Alto" (Fig. 20);

- b. globo instalado en cable aéreo invertido (Fig. 21);
- c. globo instalado en cable aéreo móvil.

Algunas ventajas del transporte con globos son: la eficiencia del sistema para transportar trozas en fuertes pendientes y terrenos rugosos reduce la densidad de caminos; se reduce a un mínimo la erosión y daños a la regeneración; el transporte se puede efectuar a lo largo de perfiles cóncavos o convexos; el riesgo para las operaciones se reduce porque las líneas tienden siempre a subir.

Algunas desventajas del transporte con globos son: la inversión inicial muy alta; la dificultad de predecir el peso de la carga; peligro de incendio; los globos son susceptibles a factores atmosféricos, particularmente a vientos fuertes; se conoce poco de su uso potencial por parte de muchas organizaciones; se necesita alta concentración y gran volumen de madera.

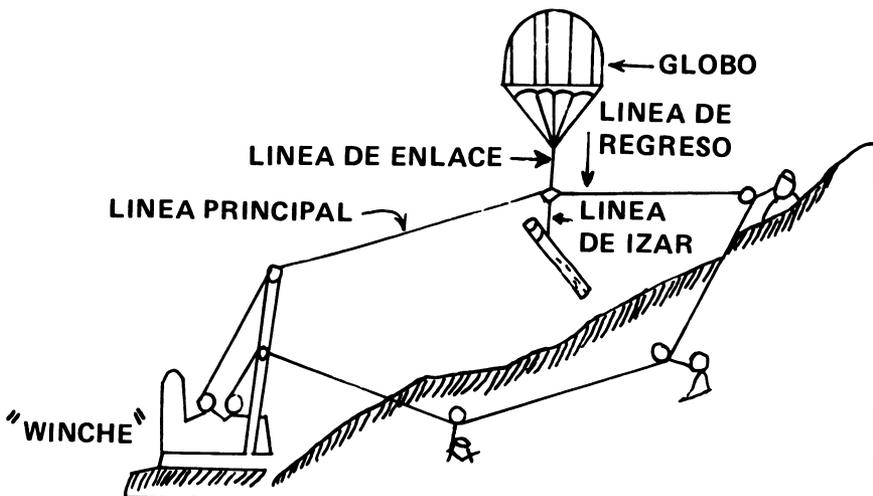


Fig. 20. Globo instalado en sistema de cables "va y viene" alto.

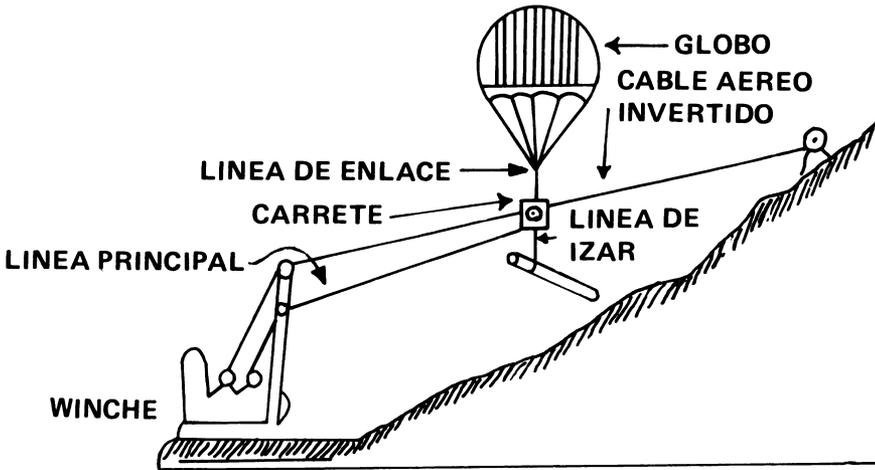


Fig. 21. Globo instalado en cable aéreo invertido.

1.3.2.4.2 Transporte forestal con helicóptero (Fig. 22).

Desde 1950 se ha ensayado diferentes marcas y tipos de helicópteros para el transporte forestal en varios países: Bell 204-(USA), Sikorsky 561N (USA), MI-6 (URSS), otros.

Los helicópteros se han usado en cortas selectivas y totales para fustes enteros y árboles completos. Hasta hoy no se conoce ninguna experiencia sobre transporte con helicóptero en bosques tropicales; sin embargo, en bosques montañosos de madera valiosa donde ningún sistema tradicional sea factible, el transporte forestal con helicópteros puede ser una posible solución. El transporte con helicóptero puede competir económicamente sólo a distancias cortas (normalmente 500 metros). La distancia máxima de transporte aceptable se limita normalmente a 1000 metros.

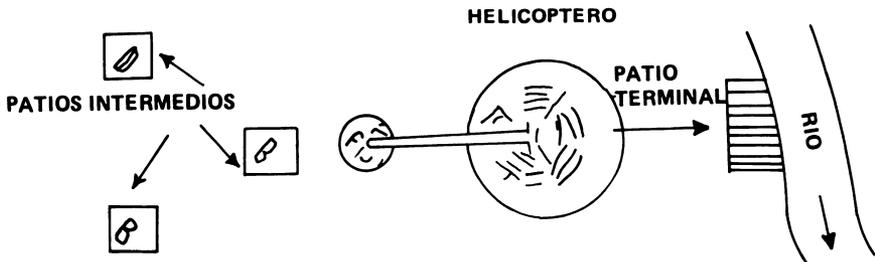


Fig. 22. Transporte forestal con helicóptero.

Del transporte forestal con helicóptero³ se puede concluir:

- a. demanda una buena organización en los trabajos terminales para poder cargar y descargar la madera en un tiempo mínimo;
- b. demanda alta seguridad durante el vuelo;
- c. alto costo por hora para la máquina;
- d. se asegura alta producción;
- e. baja la densidad de caminos, comparado con cualquier otro sistema de transporte empleado en zonas montañosas.

1.4 FLUJO GENERAL DE TRANSPORTE MENOR Y TRANSPORTE MAYOR

1.4.1 Ciclo fundamental de transporte menor

La Fig. 23 representa el ciclo de extracción de madera con tractores articulados de ruedas, desde el tocón hasta un camino forestal.

- Etapas:
- a. operación de enganche
 - b. operación de arrastre
 - c. operación de desenganche
 - d. regreso del tractor vacío al bosque.

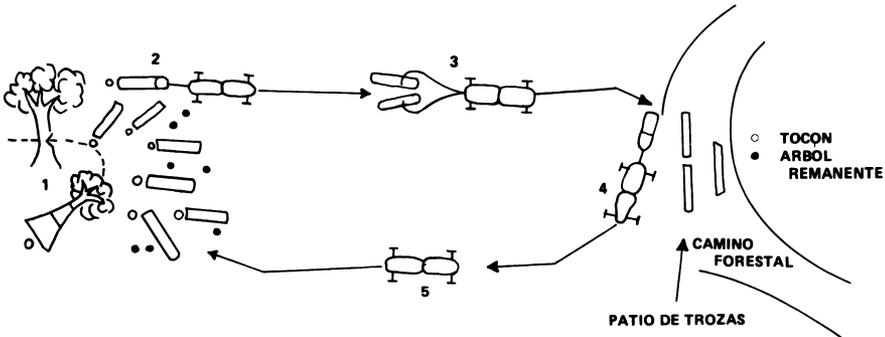


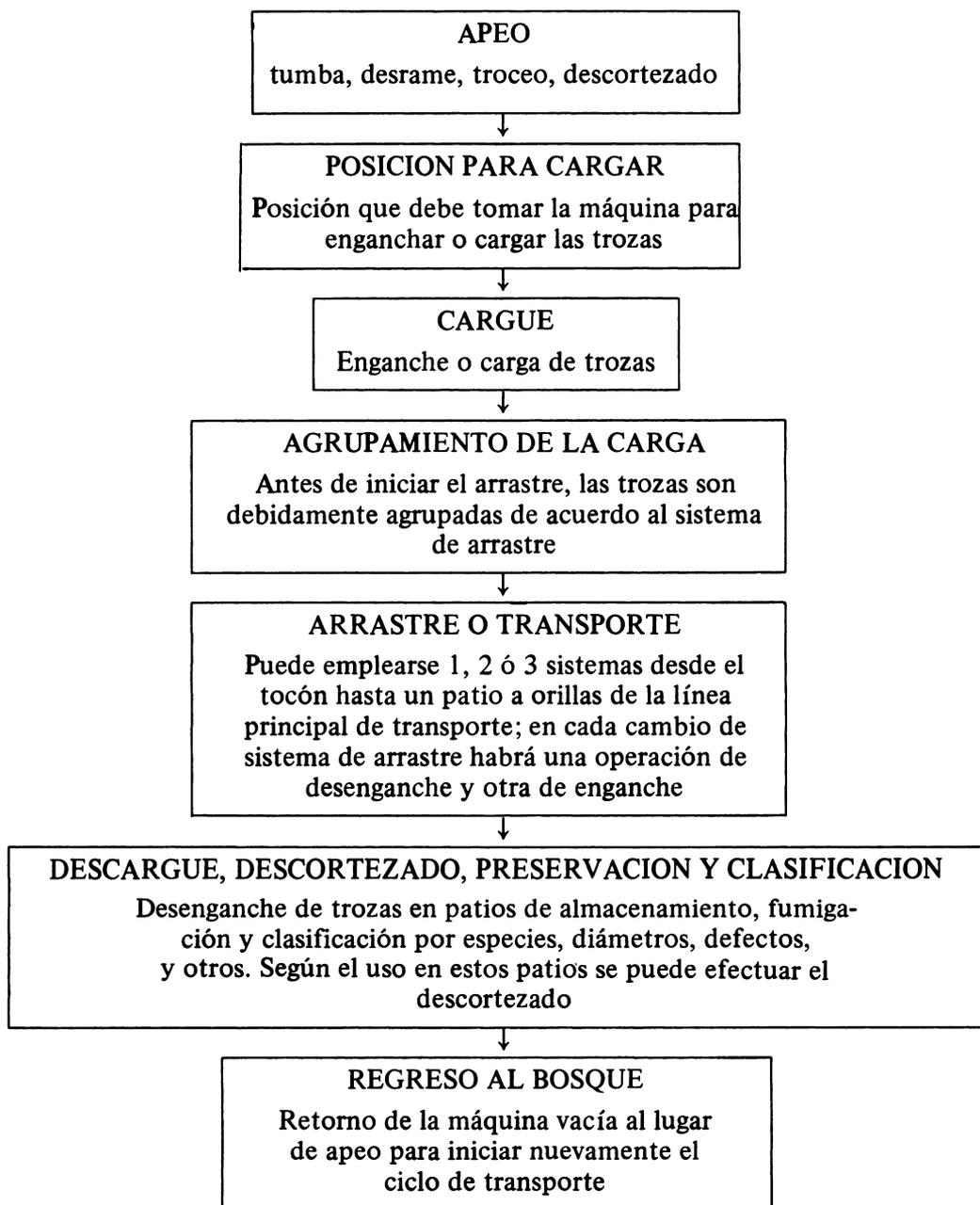
Fig. 23. Ciclo de transporte menor.

La orientación apropiada del apeo facilita la operación de transporte; con una dirección de caída bien planificada y con pilas de trozas organizadas se facilita el enganche y arrastre, por ejemplo. Cuando el transporte es con cables el ciclo conserva el mismo modelo general.

Cuando las condiciones del terreno son muy difíciles, como en el caso de los bosques tropicales de montaña, hay necesidad de combinar dos o tres métodos de transporte (normalmente arrastre), integrando de esta manera un ciclo más complejo con varios patios intermedios.

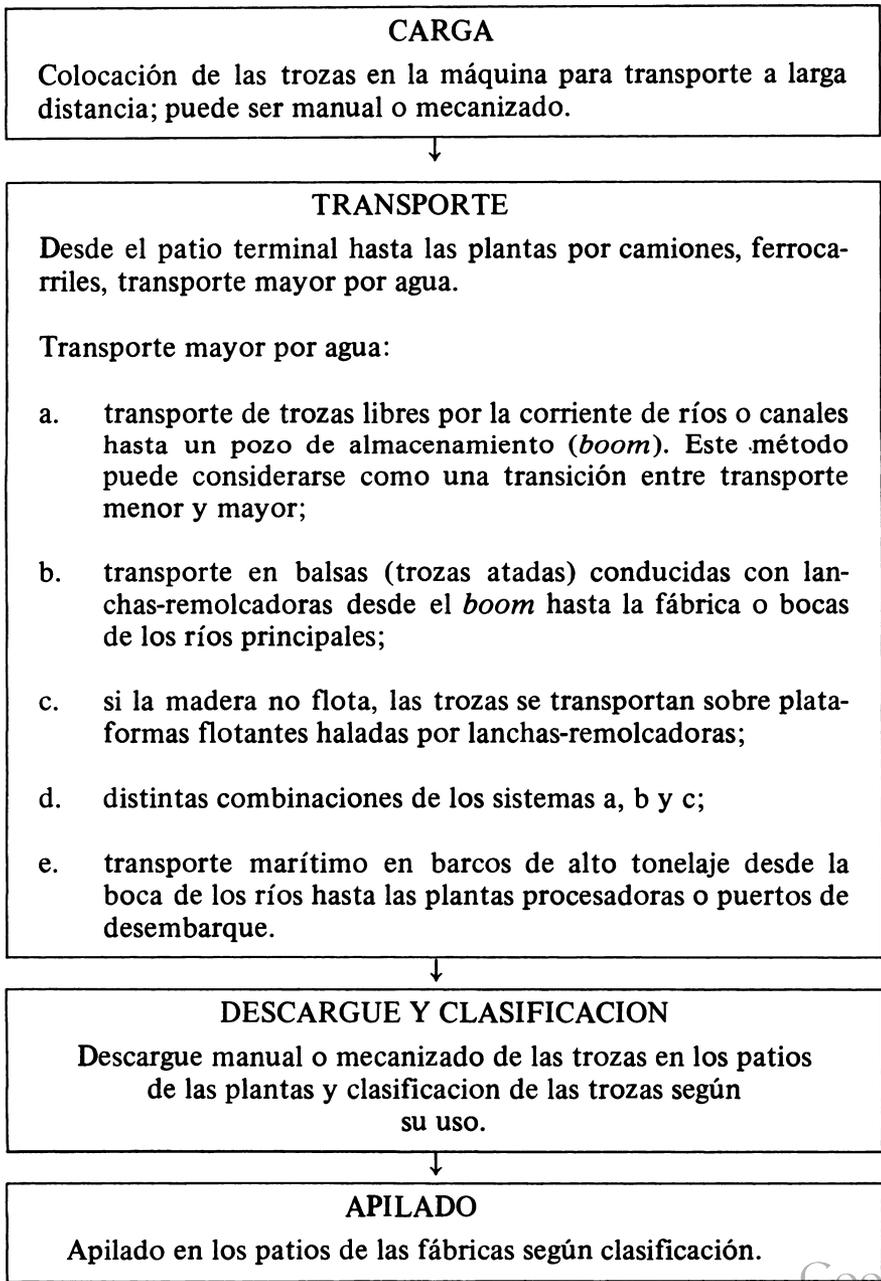
Para cada caso particular el diseño de flujo de operaciones variará un poco. Para un estudio más detallado se podría subdividir cada una de las operaciones en sus elementos componentes, lo cual complicaría tremendamente un estudio de tiempos y movimientos, por lo que dadas las condiciones de trabajo en los bosques tropicales y subtropicales se estima que la división propuesta en el flujo anterior es suficiente para cálculo de costos reales de producción.

1.4.2 Flujo general de transporte menor



1.4.3 Flujo general de transporte mayor

Se entiende por transporte mayor el traslado de las trozas desde el patio terminal de almacenamiento en el bosque hasta las fábricas o plantas procesadoras.



BIBLIOGRAFIA

1. BROWN, N. Logging: the principles and methods of harvesting timber in the United States and Canada. New York, Wiley, 1950. 411 p.
2. CHILE, INSTITUTO FORESTAL. Manual de herramientas de explotación forestal. 1966. 184 p.
3. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. El transporte de la madera en países de la América Latina. Publication Division. Roma, 1975. 478 p.
4. PEARSE, J.K. Forest Engineering Hand-book. A guide for logging planning. Portland, Oregon State Office, Bureau of Land Management, 1950. 220 p.
5. _____ y STENZEL, G. Logging and pulpwood production. New York, Ronald Press, 1972. 453 p.
6. WACKERMAN, A. HAGENSTEIN, W. y MICHELL, A. Harvesting timber crops. New York, McGraw-Hill, 1966. 540 p.

CAPITULO 2

TRAZADO Y CONSTRUCCION DE CAMINOS FORESTALES

El objetivo de este capítulo es orientar al ingeniero en la secuencia que debe seguirse para el trazado y construcción de un camino forestal¹.

2.1 CONSIDERACIONES PREVIAS AL TRAZADO

2.1.1 Consideraciones de carácter económico

Para determinar la clase de camino antes del proceso de trazado se sugiere la siguiente fórmula:

$$A = R + I + M + T$$

donde:

A = costo anual por kilómetro = \$/año /km

R = costo anual de construcción del camino para el período de amortización = $\frac{C}{N}$

C = costo de construcción por kilómetro

N = número de años de vida del camino.

I = costo de interés anual de la inversión en el camino

$$= \frac{iC}{100}$$

i = tasa de interés anual

M = costo anual de mantenimiento

T = costo promedio de transporte por kilómetro por m^3 multiplicado por el volumen anual a transportar = $q \times V$

q = costo de transporte por kilómetro por m^3

V = volumen anual a transportar.

Todos los costos son por kilómetro.

Una comparación de los valores de A para varias clases de caminos revelará cual sería la clase más económica².

Ejemplo 1.Cuál será la clase de camino forestal más económica dados los siguientes datos:

V = 10 000 m^3 /año

N = 25

i = 18 %

En la tabla siguiente aparecen los costos estimados para 3 clases de caminos:

Clase de camino	I	II	III
Costos (\$)			
C = construcción por kilómetro	50 000	40 000	30 000
M = mantenimiento por kilómetro	30	40	50
q = transporte por kilómetro por m^3	0.2	0.3	0.4

Solución:

Clases de camino Costos	I	II	III
	R	2 000	1 600
I	9 000	7 200	5 400
M	30	40	50
T	2 000	3 000	4 000
A	13 030	11 840	10 650

En consecuencia, la clase III es la más económica.

Si las clases superiores son de mayor longitud debido a pendientes más bajas, entonces debe compararse los costos anuales por kilómetro multiplicado por el número de kilómetros de cada camino. En el Capítulo 6 se define una metodología para calcular el volumen anual de madera transportada que justifique una u otra clase de camino.

Además del factor puramente forestal, para determinar la clase de camino se debe considerar otros aspectos de uso de la tierra tales como potencial agrícola o ganadero de la zona, comunicación de caseríos o poblaciones, otros beneficios sociales para el desarrollo y progreso del área bajo estudio.

2.1.2 Consideraciones de carácter técnico

No existe una normalización para las especificaciones básicas de caminos forestales en América Latina. Se sugiere las siguientes para caminos permanentes:

- a. pendientes máximas 12 %
- b. radios mínimos de curvas horizontales 20 m
- c. ancho para una sola circulación sin cuneta 4.5 m
- d. ancho del afirmado 3.5 m
- e. ancho de la cuneta 1 m
- f. sobreechamientos en las curvas horizontales
- g. peraltes 5 %
- h. taludes:

Terreno	vertical	horizontal
Roca	10	1
Tierra compacta	2	1
Tierra suelta	1	1
Arena	1	1/2

2.2 PROYECCION DE RUTAS

Proyectar una ruta es trazar la poligonal de esa ruta sobre un mapa topográfico a grande escala, tanto en sentido horizontal como vertical.

2.2.1 Determinación de puntos de control

Son lugares obligados por donde ha de pasar la ruta; por ejemplo puntos terminales, concentraciones de madera, paso de ríos, futuros patios de almacenamiento de madera, deslizamientos, otros.

2.2.2 Línea de pendiente uniforme

Es un trayecto sobre la superficie del suelo, que tiene un mismo porcentaje de pendiente.

Sea: h = diferencia de elevación en metros entre dos curvas de nivel. Suponiendo que 1 cm sobre el mapa equivale a n m sobre el suelo.

$p \%$ = porcentaje de pendiente máximo admitido

Z = distancia sobre el mapa entre dos curvas de nivel que cumplan con h y $p \%$, teniendo en cuenta la escala del mapa.

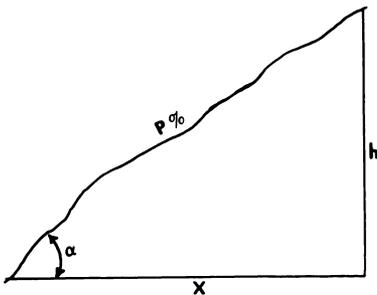


Fig. 24. Línea de pendiente uniforme.

$$\frac{h}{X} = \text{Tang } \alpha = p \%$$

$$X = \frac{h}{p} = \frac{100 h}{p} = \text{distancia sobre el suelo}$$

El paso siguiente es llevar esta X a la escala del mapa.

$$Z = \frac{100 h}{pn} \times 1 \text{ cm}$$

$$Z = \frac{100 h}{np} \text{ cm} = \text{divisor}$$

Ej. Sea $p = 8\%$; Escala 1 : 5 000; $h = 5$ m

$$Z = \frac{100 \times 5}{50 \times 8} = 1.25 \text{ cm}$$

Se toma los 1.25 cm en un compás y se van cortando las curvas de nivel, definiendo así los puntos que ha de seguir el eje del camino.

2.2.3 Plan de proyección

Son las diferentes alternativas trazadas con la pendiente uniforme; los lados de cada poligonal se unen con curvas horizontales.

Se compara los distintos proyectos teniendo en cuenta el número de curvas horizontales y la longitud de cada proyecto; curvas muy agudas ponen un proyecto en desventaja con relación a otro. Una vez que se elija el proyecto definitivo se traslada a un nuevo mapa.

2.3 RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Es el recorrido, directamente en el terreno, de la ruta que va a seguir el futuro camino forestal. El objetivo del reconocimiento de campo es eliminar rutas impracticables y elegir la faja para localizar el eje del camino; el reconocimiento de campo es el paso más importante en el trazado de una vía.

2.3.1 Reconocimiento para rutas proyectadas

Consiste en recorrer en el campo la línea de proyección hecha en el mapa a grande escala. Se debe llevar brújula de mano, dos planos del proyecto como mínimo, fotografías aéreas, estereoscopio de bolsillo, transportador, libreta de campo, lápiz, nivel abney, cinta amarilla, casco de aluminio, linterna, otros.

En el punto de partida de la proyección se enfoca el rumbo de la primera línea y se camina en esa dirección controlando la pendiente y anotando en la libreta las características que se vaya observando. Se continúa de esta manera hasta recorrer toda la línea proyectada, dejando marcas con cinta amarilla a lo largo del recorrido. Toda proyección hecha en la oficina es susceptible de mejorar en el campo.

2.3.2 Reconocimiento para rutas no proyectadas

Se debe tener al menos un mapa general de la zona; es común hacer el recorrido acompañado de un guía que tenga un buen conocimiento del área. Se recorre la zona en forma general, tomando los

rumbos necesarios, y en varios recorridos por distintas rutas. Se anota las características topográficas, condición de suelo, porcentaje de pendiente aproximado y en la oficina se traza las proyecciones, luego se hace un reconocimiento intensivo de la proyección elegida en la misma forma explicada para rutas proyectadas.

2.4 LOCALIZACION DEL EJE CENTRAL \mathcal{C}

Consiste en efectuar el estacado del \mathcal{C} directamente sobre el terreno. Para efectuar la localización de una vía existen varios métodos. Las medidas de localización se pueden dividir en tres clases:

Clase A o método del Ingeniero

Clase B: a. por el método de “ordenadas de contorno”
b. por el método de localización directa

Clase C, que consiste en un ajuste y estacado de la línea marcada durante el reconocimiento.

Clase A o método del Ingeniero:

La clase “A” es la más precisa pero la más complicada; sus pasos consecutivos son:

- 1) se traza una poligonal preliminar con tránsito y cinta a lo largo de la faja seleccionada en el reconocimiento;
- 2) nivelación de dicha poligonal con nivel de precisión;
- 3) topografía de la faja por medio de secciones transversales; se puede hacer:
 - a) con nivel de mano y mira, intervalos de contorno cada metro,
 - b) con clinómetro se determina la pendiente a cada lado y se computan el respectivo intervalo de contorno y la distancia horizontal.
- 4) dibujo de la poligonal de la preliminar y trazado de las curvas de nivel;

- 5) sobre esta faja topográfica se selecciona los puntos por los cuales debe pasar el Φ . Una vez elegidos los puntos de control se marca los puntos de pendiente uniforme; luego teniendo como guía estos puntos se traza una poligonal con sus respectivas curvas horizontales;
- 6) se dibuja el perfil del Φ ;
- 7) en el terreno se colocan estacas a lado y lado de la poligonal para definir el Φ .

Métodos de “ordenadas de contorno” (Clase B):

- 1) Preliminares: las preliminares consisten en el levantamiento de la poligonal con brújula y cinta a lo largo de la faja de reconocimiento.

La cartera de las preliminares es la siguiente:

Estación	Rumbo atrás	Rumbo adelante	Abney \pm	Diferencia de elevación entre estación y estación	Cota	p%/secc. transv	
						izquierda \pm	derecha \pm

Esta cartera se lleva de abajo hacia arriba y al pasar de una página a otra se repite la última línea de datos.

- 2) Diseño del Φ , puede ser:
 - a) de oficina
 - i) gráfico
 - ii) computado
 - b) en el campo

Se explicará solamente el diseño de oficina computado. Los consecutivos para este diseño son:

- a) dibujo del plano de la poligonal con su respectivo abscisado con base en los datos de la cartera de campo,
- b) dibujo del perfil de la preliminar (columna de cotas) y trazado de la rasante sobre el perfil. Para trazar la

rasante se debe tener en cuenta que no exceda la pendiente máxima y que en los puntos con pendientes transversales mayores del 50 % no debe haber lleno, ya que el ángulo de reposo de la tierra es menor del 50 %,

- c) cálculo de las “ordenadas de contorno” en cada estación: se entiende por ordenada de contorno la distancia que hay entre la poligonal de la preliminar y la línea de cerros; la línea de cerros está definida por el corte de la banca con el perfil natural,
- d) trazar la línea de cerros, uniendo los puntos extremos de las ordenadas de contorno,
- e) selección de los puntos para el \mathcal{C} . El \mathcal{C} se debe localizar lo más cerca posible a la línea de cerros con el objeto de minimizar cortes y llenos, teniendo en cuenta que en las secciones transversales de más de 50 % no se puede hacer lleno (literal b). En este caso el corte en el \mathcal{C} debe ser lo suficiente para evitar el lleno,
- f) trazado del \mathcal{C} incluyendo curvas horizontales,
- g) cómputo de cortes y llenos del \mathcal{C} , en cada estación,
- h) trazado del perfil del \mathcal{C} . Con los valores del corte y lleno del \mathcal{C} hallados en el paso anterior se traza el perfil del \mathcal{C} .

Se tabula todos estos datos para facilitar su interpretación.

- 3) En el terreno el estacado del \mathcal{C} se hace levantando perpendiculares a la preliminar y tomando las ordenadas derechas e izquierdas del \mathcal{C} .

Método de localización directa (Clase B):

- 1) este método no tiene preliminares, por lo que el diseño del \mathcal{C} se hace directamente en el campo basándose en la línea marcada con cintas dejada en el terreno durante el reconocimiento de campo,

- 2) organización del equipo: para esta localización se necesita cinco hombres:

Hombre	Instrumentos	Deberes
Jefe del equipo	Abney, machete, brújula de mano, crayón	Va adelante; selecciona los PI; asume los radios de las curvas
Hombre de la brújula de pie	Brújula de pie, libreta de campo, lápices, tablas de curvas, regla de cálculo	Mide los rumbos, calcula las curvas horizontales
Cadenero	Cinta de acero (50 m) estacas, machete, crayón	Ayuda a medir; clava estacas
2 Trocheros	Machetes, hachas	Abrir los claros necesarios

Fuera de estos instrumentos es conveniente llevar dos linternas de mano, como auxiliares para determinar los rumbos cuando el bosque está muy oscuro.

- 3) libreta de campo para localización directa,

Estación		Punto del trazado	Rumbo atrás	Rumbo adelante	Datos de las curvas
PL	C				
	—	PT	—	—	Δ R T E L
	—	PI			
	—	PC			
		PT			
		PI			
		PC			

El jefe del equipo selecciona los PI con base en la línea marcada con cinta durante el reconocimiento. Debe dejarse distancia entre el PT de la curva anterior y el PC de la siguiente. El jefe marcha adelante y selecciona el PI; el hombre de la brújula toma el rumbo atrás y la anota, se mide la distancia entre el PI_S. El jefe sigue adelante y elige el siguiente PI; el hombre de la brújula toma el rumbo adelante y calcula el Δ .

El hombre de la brújula asume el radio y calcula los datos de la curva (T, L, E, PT); se traza la curva por cualquier método conocido. Las curvas deben seguir la línea marcada con cintas amarillas durante el reconocimiento de campo;

- 4) estacado de las curvas: de acuerdo a las condiciones del terreno y clase de camino se emplea uno de los siguientes métodos: a) ángulos inscritos, b) externas, c) abscisas y ordenadas, o, d) cuerda prolongada.

Para la clase "C" las curvas se replantan sin necesidad de instrumentos.

2.5 NIVELACION DEL C

Cuando la distancia entre el PT de la curva anterior y el PC de la curva siguiente es muy grande se colocan puntos intermedios auxiliares para efectos de nivelación.

Para la clase A se nivela con nivel de precisión; para la clase B con nivel de mano. El nivel de mano debe colocarse a una altura de 1.50 m y se usa como auxiliar una varita de 1.50 m. Se calcula la cota en cada estaca.

La libreta de campo se lleva en la siguiente forma:

Estación	V ⁺	AI	V Int.	V ⁻	Cota	p% sobre secc. transv.	
						Izquierda	Derecha
0+00							
0+20 (PC)							
0+45							
0.50 (PT)							

El p% de pendiente de las secciones transversales en las curvas se toma cada 2 estacas (± 10 m).

2.6 TRAZADO DEL PERFIL Y RASANTE

En la parte superior se dibuja el plano y en la inferior el perfil del C_1 .

Cuando el p% inferior de las secciones transversales es mayor del 50 % de pendiente, se debe trazar la rasante a una distancia d del perfil tal que $m = b/2$, para evitar lleno; $d = b/2$ p% (Fig. 26).

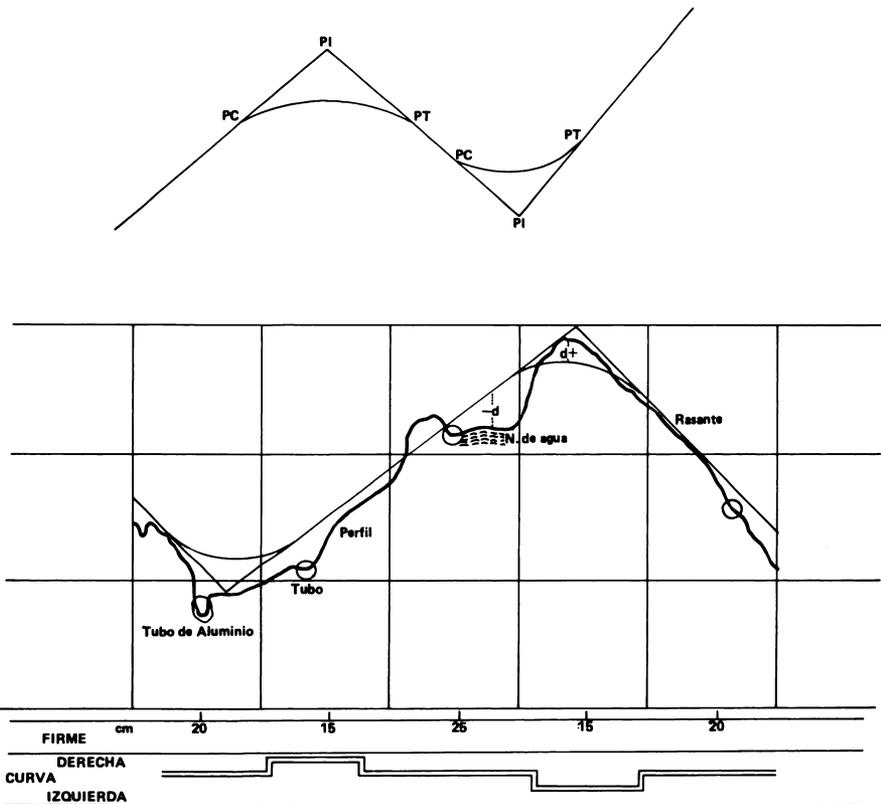
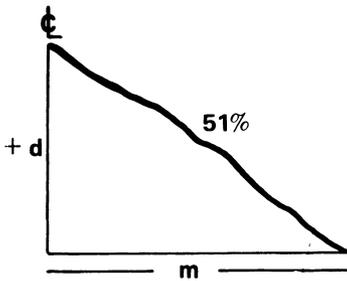


Fig. 25. Planta y perfil del C_1

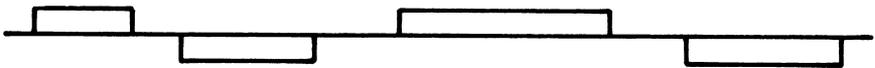


$$\text{Ejemplo: } \frac{d}{m} = 51 \% = 0.51$$

$$d = m \times 0.51 = b/2 \times 0.51$$

Fig. 26. Sección transversal con pendiente mayor del 50%.

Trazado de la rasante. De acuerdo a la fórmula anterior, d indica el corte en el \mathcal{C} para evitar lleno cuando la mitad de la banca es $b/2$. Se debe tener muy en cuenta el valor del d al trazar la rasante. Debajo del perfil se debe trazar una recta en la cual se marcan las curvas horizontales, conociendo los PC y PT.



Del perfil se obtiene las distancias d , necesarias para colocar las estacas de chaflán. Esta distancia, en las curvas verticales, es la distancia entre la curva y el perfil.

2.7 SECCIONES TRANSVERSALES Y VOLUMENES DE TIERRA

2.7.1 Secciones transversales

Localización de estacas de chaflán superior:

Para localizar las estacas de chaflán (talud) se conocen el $p\%$ de las secciones transversales, $b/2$, la relación de talud y el corte o lleno en el \mathcal{C} .

- a. Si el $p\%$ de la sección transversal es menor del 30%, se emplea el nivel de mano, una vara de 1.50 y dos decímetros.

La vara de 1.50 m se coloca sobre cada estación del ζ (Fig. 27). Si se trata de corte el $b/2$ incluye la cuneta.

La mira se coloca a una distancia del ζ mayor de $b/2$ y la distancia horizontal calculada se obtiene de la siguiente forma:

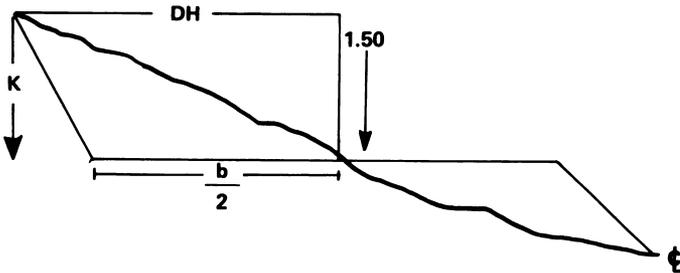


Fig. 27. Localización de estaca de chaflán superior con nivel de mano y mira.

- 1) Cuando $d=0$ Chaflán superior: $DH_c = b/2 + (1.50-1) S$
- 2) Cuando el d es + chaflán superior: $DH_c = b/2 + (1.50d-1) S$
- 3) Cuando el d es - chaflán superior: $DH_c = b/2 + (1.5-d-1) S$

l = lectura en la mira

Se mide con el decámetro una distancia DH_m (DH medido) y se compara con DH_c (calculado) si no da la igualdad; v.g. $DH_m < DH_c$ el hombre de la mira se acerca al ζ y se calcula de nuevo DH_c y se compara con el nuevo DH_m .

Si $DH_m > DH_c$ se aleja un poco, y luego se compara, se coloca la estaca donde más se aproxime DH_m y DH_c , generalmente al tercer intento.

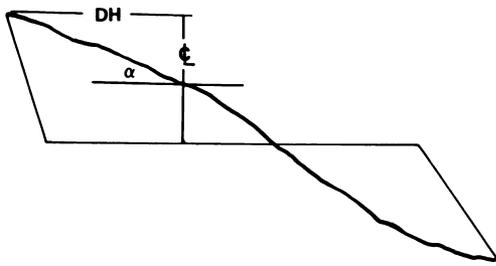


Fig. 28. Localización de estacas de chaflán superior en función del p% de la sección.

b. Si el p % es mayor del 30 % las estacas de chaflán se localizan en función de la pendiente de las secciones transversales y la distancia horizontal calculada se obtiene de la siguiente forma:

1) Cuando $D=0$ chaflán superior: $DH_c = b/2 + DP \text{ Sen } \alpha \cdot S$

2) Cuando d es + chaflán superior: $DH = b/2 + (DP \text{ Sen } \alpha + d) S$

3) Cuando d es - chaflán superior: $DH = b/2 (DP \text{ Sen } \alpha - d) S$

$$DH_m = DP \text{ Cos } \alpha, \alpha = \text{Arc tang } p\%$$

Se compara las distancias DH_m y DH_c , como en los casos anteriores, y al tercer intento se localiza la estaca. Se clava en forma vertical y sobre el lado que mira al ζ se anota la fracción $\frac{K}{DH}$

Por el otro lado se anota el abscisado correspondiente.

Dos metros atrás de la estaca de chaflán superior se coloca una estaca de referencia para reubicar la estaca de chaflán en caso de pérdida de ésta en el proceso de construcción.

2.7.2 Cálculo de volúmenes de tierra

Pueden ser calculados:

a. En función del promedio de las áreas extremas

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times D$$

b. En función de la fórmula prismoidal:

$$V = \frac{1}{6} (A_1 + 4 A_m + A_2) D \text{ (cónica obtenidas por revolución)}$$

A_m = Area hallada con el promedio de los lados homólogos de las áreas extremas.

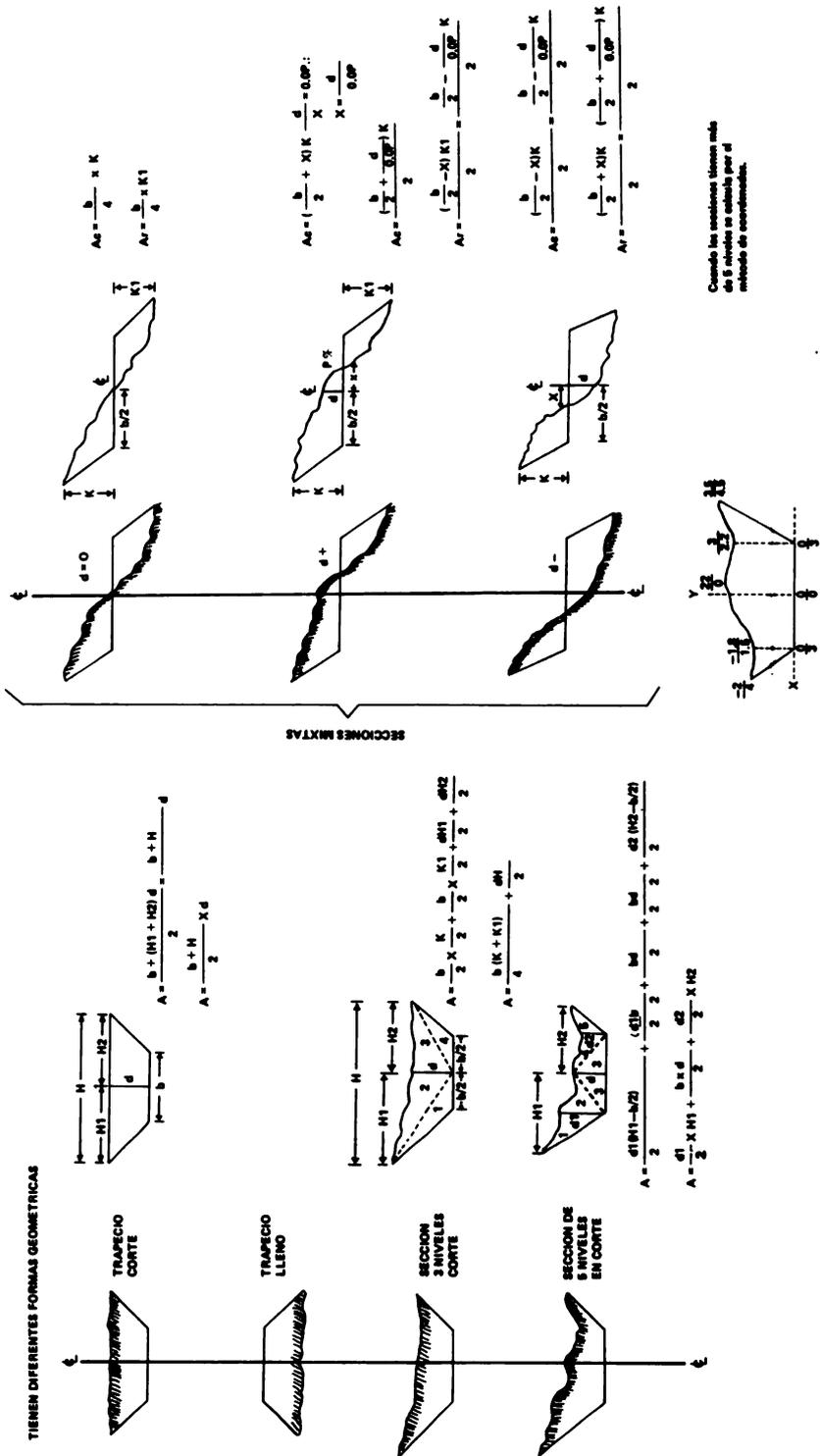


Fig. 29. Cálculo de áreas de secciones transversales.

2.8 CONSTRUCCION DE CAMINOS FORESTALES

2.8.1 Aclareo y extracción de tocones y raíces (Fig. 30)

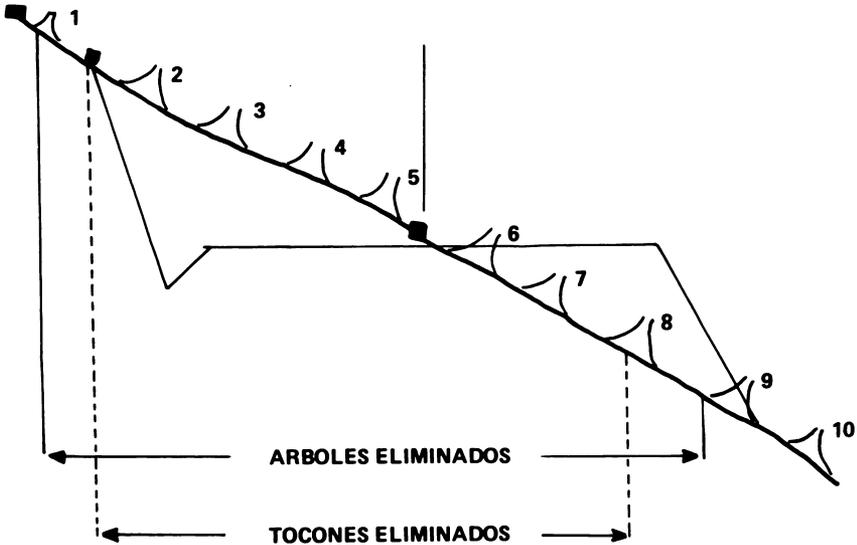


Fig. 30. Árboles y tocones que se debe eliminar.

Para extraer tocones se puede utilizar la cuchilla del bulldozer o emplear explosivos.

CUADRO No. 3. Extracción de tocones.

Diámetro tocón cm	No. de cargas	Carga total
60	2-3	0.8-1 kg
80	2-3	1.5-2
100	3-4	3-3.5
120	3-4	5-6
200	4	6

2.8.2 Movimiento de tierra

- a. Inspección de la zona de aclareo: verificar que no haya madera en la zona de construcción;
- b. estacado y reestacado: se hace cuando las estacas se han perdido en el proceso de extracción de tocones; éstas se colocan con base en las estacas de referencia;
- c. excavaciones: se inician en la estaca de chaflán superior hacia abajo hasta llegar a la altura de la banca. Se debe controlar la profundidad de corte y la inclinación del talud; normalmente las excavaciones se hacen con bulldozer.

Al hablar de movimiento de tierra es conveniente señalar algunas consideraciones del suelo como material de construcción.

Propiedades: el suelo es el material de construcción de un camino y tiene propiedades básicas que determinan sus características para construcción.

Los factores que afectan las propiedades físicas del suelo son:

- a. tamaño de las partículas,
- b. graduación del tamaño,
- c. contenido de humedad. Se expresa en % de peso seco y es igual a $\frac{Ph - Ps}{Ps} = 100$

Las propiedades físicas más importantes del suelo para el ingeniero son:

Cohesión: tendencia de las partículas a adherirse unas con otras; es alta en arcilla y baja en arena.

Fricción interna: resistencia de las partículas del suelo a deslizarse unas respecto a otras; es intergranular. Es alta en arena y baja en arcilla y varía con el tamaño y forma de las partículas.

Compresibilidad: es la habilidad de un suelo a ser reducido en su volumen bajo compresión y permanecer reducido conservando ese volumen después de retirar la carga.

Elasticidad: habilidad de un suelo para expandirse después de que ha sido comprimido; es indeseable en el piso de carreteras y construcciones.

Resistencia a la cizalladura: es la medida de la habilidad de un suelo para resistir esfuerzos de cizalladura, como el peso de las llantas. La cohesión y fricción interna son las propiedades que contribuyen a aumentar la resistencia a la cizalladura.

Permeabilidad: es la habilidad de un suelo para transmitir agua gravitacional y varía según el tamaño y densidad de las partículas. El cascajo y la arena son permeables; la permeabilidad determina el drenaje.

Capilaridad: es la habilidad de un suelo para levantar agua por tensión superficial; los sedimentos tienen rápida y alta capilaridad. En la arcilla es alta pero lenta; en la arena es muy baja y en cascajo es casi nula.

Encogimiento: a medida que se reduce el contenido de humedad los suelos de partículas finas disminuyen su volumen hasta alcanzar el límite de contracción. Más allá de este punto no hay disminución de volumen aunque aumenten las pérdidas de humedad.

El agua y el suelo: según su naturaleza y la proporción de agua que contenga, el suelo puede tener propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso; de uno a otro estado se pasa de manera continua. Los diferentes contenidos de agua que determinan el paso a los diferentes estados se denominan "límites de Atterberg".

Los límites de Atterberg correspondientes a los diferentes contenidos de agua, se expresan en % de peso seco y se denominan:

- 1) **Límite líquido (L.L.)** es el contenido de humedad al cual un suelo pasa de estado plástico a estado líquido.

Suelos arenosos tienen bajo L.L., alrededor de 20. Los suelos arcillosos tienen L.L. de 40 a 60. Los sedimentos y arcillas pueden tener L.L. de 80 a 100.

- 2) **Límite plástico (L.P.)** es el contenido de humedad al cual un suelo cambia de estado semisólido a estado plástico.

El L.P. está gobernado por el contenido de arcilla. La resistencia decrece muy rápidamente con el aumento del contenido de humedad por encima del L.P.

- 3) Índice de plasticidad (I.P.) es la diferencia numérica entre el L.L. y el L.P. El I.P. da el rango de contenido de humedad en los cuales el suelo está en un estado plástico.

I.P. = 10 más erosivo. I.P. = 100 menos erosivo.

2.8.3 Estructuras de drenajes

Las estructuras de drenaje deben marcarse en el perfil. Estas estructuras se instalan tanto en lugares de corrientes permanentes como en sitios de corrientes temporales.

a. Diseño de cunetas: las cunetas pueden ser:

- 1) Cunetas del lado: corren paralelas a la vía en el lado de corte, recogen el agua del talud y de la banca (Fig. 31). La capacidad de una cuneta se puede calcular por la fórmula de Manning¹.

$$Q = \frac{A_R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (\text{m}^3/\text{seg})$$

(Manning)¹

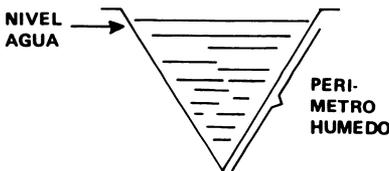


Fig. 31. Cuneta longitudinal.

A = área de la sección transversal

R = radio hidráulico=área de la sección transversal sobre el perímetro húmedo.

S = porcentaje de pendiente de la cuneta.

n = factor de rugosidad.

Los valores de n = 0.025 para cunetas suaves en tierra de buenas condiciones;
= 0.04 para cunetas rugosas en tierra de condiciones pobres.

- 2) Cunetas transversales: sirven para drenar las cunetas “del lado” (Fig. 32).

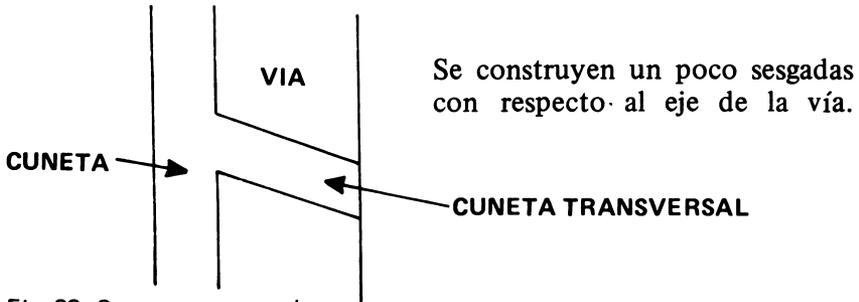


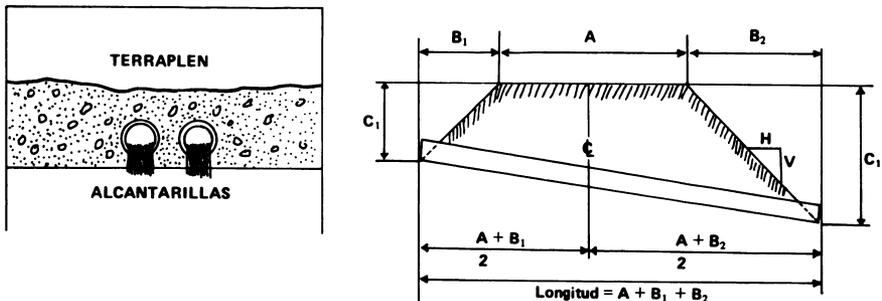
Fig. 32. Cunetas transversales.

- b. Diseño de alcantarillas: son tubos de diámetro grande, que sirven para recoger agua de ríos, quebradas, lluvia o de cunetas. Deben colocarse transversalmente al eje de la vía; cuando la descarga de la corriente es muy alta estas alcantarillas son reemplazadas por puentes de concreto o de madera.

Las alcantarillas pueden ser de concreto o metálicas. Las de concreto vienen desde 4 pulgadas en adelante y las de diámetros grandes tienen refuerzo de acero. La longitud de los tubos de concreto es de 90 cm. Los tubos metálicos han dado buen resultado. Son en general corrugados, fáciles de transportar y manejar.

Sobre el tubo debe haber un terraplén para evitar la rotura debido al peso de los vehículos y su espesor mínimo debe ser igual al diámetro del tubo.

La Fig. 33 ilustra la instalación de alcantarillas.



a) Corte transversal del flujo.

b) Corte longitudinal de alcantarilla en pendiente fuerte.

Fig. 33. Alcantarilla.

1) Diseño empírico de alcantarillas:

- a) Se basa en la experiencia obtenida en la región
- b) Fórmula de Talbot:

$$A = CM^{3/4}$$

A = sección transversal de la alcantarilla en m²,

C = coeficiente que depende de las condiciones topográficas,

M = área que se va a drenar, expresada en hectáreas

Tipo de terreno	C
Terreno montañoso con pendiente fuerte	0.18
Terreno ondulado con pendiente moderada	0.12
Valles aislados muy anchos con relación a su longitud	0.09
Terreno agrícola con cuenca a descargar de longitud 3 ó 4 veces el ancho	0.06
Terreno muy llano sujeto a nevadas e inundaciones	0.04

2) Diseño hidráulico de alcantarillas:

Métodos para determinar velocidades del agua:

- a) Flotadores: se usan para medir la velocidad del agua; la velocidad multiplicada por el área da el flujo:

$$Q = V \cdot A$$

- b) Molinetes: sirven también para determinar la velocidad del agua, que multiplicada por su respectiva área de la sección transversal da Q.

Otros métodos para determinar Q son:

- a) Vertederos: empleados en corrientes donde hay rocas; los más conocidos son:

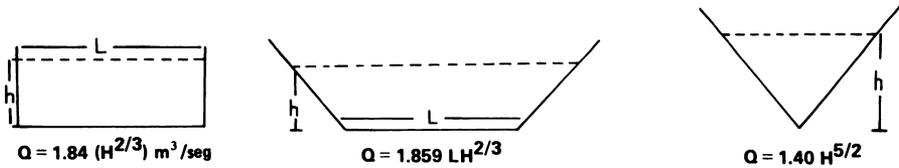


Fig. 34. Vertederos.

- b) Fórmula de Chezy o método de las pendientes para medir Q

Chezy: $Q = AC\sqrt{RS}$ en m^3/seg .

A = área de la sección transversal en m^2 ,

C = coeficiente de rugosidad,

R = radio hidráulico = A : perímetro húmedo.

El coeficiente C está dado a su vez por otras fórmulas, de las cuales la más simple es la propuesta por Manning¹: $C = \frac{1.49}{n} R^{1/6}$ la cual puede combinarse con la ecuación de Chezy para formar la ecuación de Chezy-Manning:

$$Q = \frac{1.49}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

El valor n de Manning se obtiene de un enunciado descriptivo de la rugosidad del canal; algunos valores de n son:

Cemento pulido, madera lisa	0.010
Madera rugosa (sin pulir)	0.012
Cantera, mampostería, ladrillo	0.013
Arcilla vitrificada	0.015
Cascajo	0.017
Grava	0.020
Canales y ríos, buenas condiciones	0.025
Canales y ríos, malas condiciones	0.035

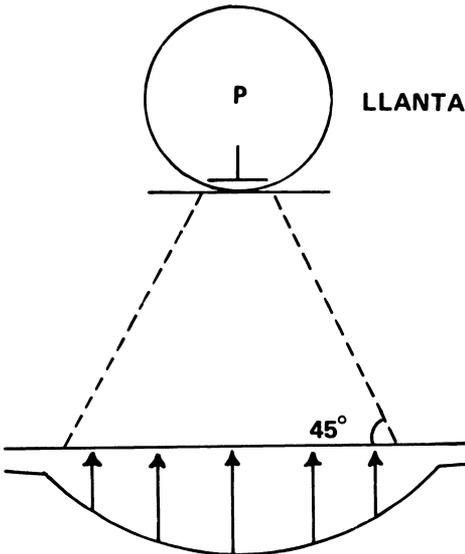
Una vez conocido el caudal se puede calcular el diámetro interno de la alcantarilla.

CUADRO No. 4. Diámetro interno.

Q		D		p%
$\frac{\text{Pie}^3}{\text{seg.}}$	$\frac{\text{m}^3}{\text{seg.}}$	Pulg.	cm	
4.6	0.13	15	38.10	1.8
7.1	0.20	18	45.72	1.6
11	0.31	21	53.34	1.8
15	0.42	24	60.96	1.4
26	0.74	30	76.20	1.6
40	1.13	36	91.44	1.2
59	1.67	42	106.68	1.2
83	2.35	48	121.92	1.4
110	3.11	54	137.16	1.0
150	4.25	60	152.40	1.2
190	5.38	66	167.64	1.2
230	6.51	72	182.88	1.0

La pendiente indica que es el máximo, pues por encima no aumenta el caudal y por debajo disminuye.

2.8.4 Afirmado de cascajo

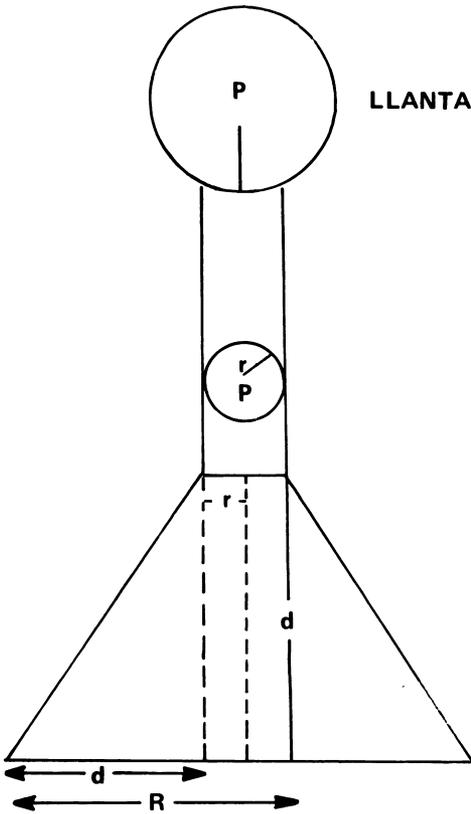


A medida que aumenta la presión en la llanta, se incrementa la presión en el suelo al disminuir el área de contacto y viceversa:

$$p = \frac{P}{A} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{área}}$$

En material granular el área, a medida que profundiza, diverge en forma de tronco de cono y la presión va disminuyendo.

El ángulo de divergencia es de 45°. La reacción es mayor en



LLANTA

el centro y disminuye hacia los extremos.

Se toma como área de contacto un círculo de radio r . Los catetos del triángulo son iguales.

$$p = \frac{P}{\pi (d+r)^2}$$

$$(d+r)^2 = \frac{P}{\pi p} ; d+r = \sqrt{\frac{P}{\pi p}}$$

$$d = \sqrt{\frac{P}{\pi p}} - r$$

$$R = r + d$$

r = radio del área en contacto con la llanta

p = resistencia que permite el suelo en kg/cm^2

d = altura de la capa de cascajo

Fig. 35. Profundidad de la capa de cascajo.

En zonas planas de bosques húmedos, y debido a la baja resistencia del suelo, hay necesidad de colocar base de madera antes de la capa de cascajo. En algunos suelos temporal o permanentemente inundados no es factible técnica ni económicamente la construcción de caminos forestales, en cuyo caso se emplea canales como líneas de transporte, y cuyos trazado y construcción no es posible incluir en este texto dadas las limitaciones de su contenido. Sin embargo, la ingeniería y planificación de redes de canales obedece a los mismos principios aplicados a las redes de caminos forestales.

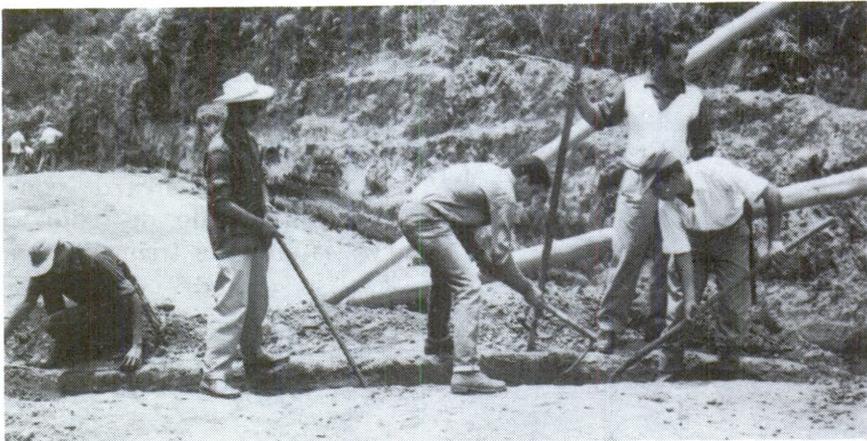


Fig. 36. Construcción de drenaje transversal en caminos forestales.



Fig. 37. Detalle de construcción de drenaje transversal en caminos forestales.

BIBLIOGRAFIA

1. PEARCE, J.K. Forest Engineering Handbook. A guide for logging planning. Portland, Oregon State Office, Bureau of Land Management, 1960. 220 p.
2. _____, y STENZEL, G. Loggin and pulpwood production. New York, Ronald Press, 1972. 453 p.

CAPITULO 3

RACIONALIZACION DEL TRABAJO Y TOMA DE DECISIONES

3.1 RACIONALIZACION DEL TRABAJO

Por racionalización se entiende un aumento en la eficiencia de los medios de producción. El organigrama de la Fig. 38 ilustra la estructura para la racionalización en la industria forestal, basada en tres aspectos fundamentales que deben ser objeto de investigación: la técnica, la economía y el hombre.

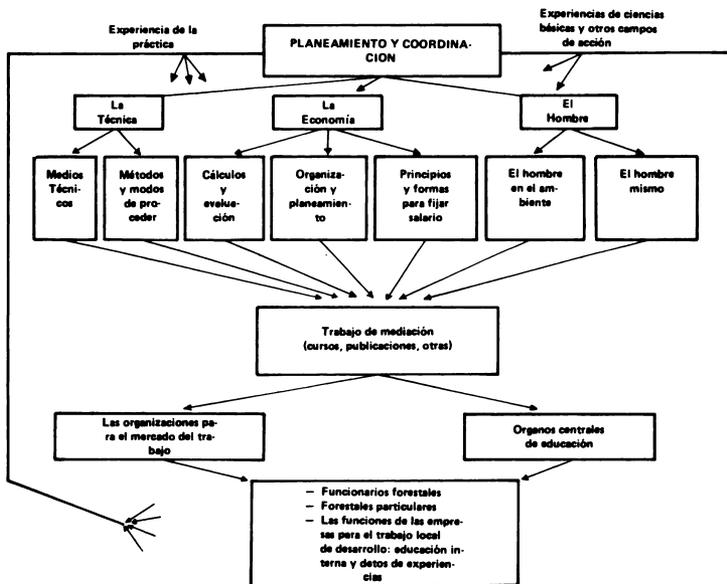


Fig. 38. El trabajo de desarrollo para una racionalización técnica.

La técnica: los diseños de nuevos equipos, máquinas y herramientas para las operaciones forestales han tenido un desarrollo acelerado en los últimos años, de ahí la necesidad de definir un nivel adecuado de mecanización acorde con los medios tecnológicos disponibles, teniendo en cuenta los aspectos económicos y sociales de cada región o país.

La economía: la racionalización incluye aspectos de organización y planificación. Dado el desarrollo tecnológico la industria forestal ha introducido en las últimas décadas cambios fundamentales en las operaciones de aprovechamiento forestal, lo cual ha exigido una racionalización cada vez mayor en la organización y planificación de operaciones.

La toma de decisiones es fundamental cuando se pasa de métodos primitivos a métodos mecanizados en el aprovechamiento forestal. La importancia de las decisiones es proporcional a las inversiones. Estas decisiones se basan en ciertas evaluaciones, las que a su vez están basadas en cálculos y datos de tiempo y costos obtenidos de la experiencia. Los cálculos exigen conocimientos de ingeniería económica para determinar el provecho de una inversión y de técnicas de optimización para hacer una correcta asignación de tiempo y recursos en las actividades de producción de madera.

El estudio de salarios es básico dentro de la economía de la empresa forestal; en el Capítulo 7 se hará un análisis sobre este aspecto.

La influencia que pueden ejercer los profesionales forestales en el precio de la madera o productos finales en el mercado es prácticamente nula, pero sí pueden influir en aspectos de costos de producción para garantizar la estabilidad de la industria maderera.

El hombre: el anhelo del hombre por mejores condiciones de vida paralelas con el desarrollo tecnológico hacen que la mano de obra no especializada vaya siendo paulatinamente reemplazada por mano de obra especializada para operar la maquinaria cada vez más compleja requerida en la producción forestal.

Las operaciones de aprovechamiento forestal son los trabajos materiales más pesados dentro de la actividad de producción. En consecuencia por razones de ergonomía y fisiología del trabajo no es recomendable, desde ningún punto de vista, realizar ciertas operacio-

nes forestales manualmente, ya que esto atenta contra la salud y la integridad física de los operarios. Este planteamiento conduce a pensar en un nivel mínimo de mecanización, lo cual produce un cambio en el ambiente de trabajo que debe considerarse muy cuidadosamente debido a sus implicaciones sociológicas y psicológicas. Para introducir estos cambios se requiere una adecuada capacitación del personal que instruya al hombre no sólo para operar equipos sino que le proporcione cierta formación en aspectos de higiene, salud y nutrición.

3.2 PROCESO PARA TOMA DE DECISIONES

Para bajar los costos totales en la cadena del transporte forestal, desde el tocón hasta el lugar de procesamiento, hay necesidad de tomar decisiones relacionadas con planificación, organización y ejecución.

“El proceso de decisión” en aprovechamiento forestal, se presenta en el organigrama de la Fig. 39.

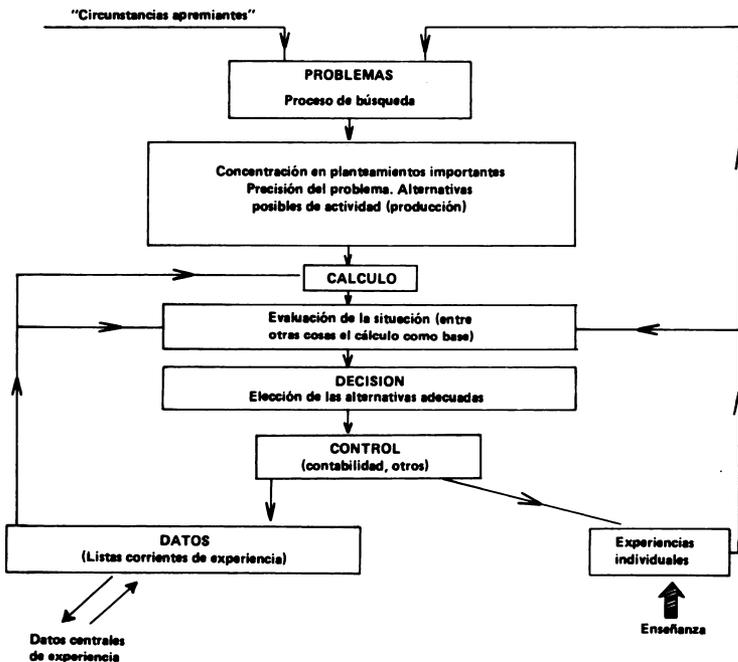


Fig. 39. El proceso de decisión (según Kilander¹).

Como muestra el organigrama, se inicia con un proceso de búsqueda de problemas, es decir, que en el proceso de decisión el primer paso es identificar claramente los problemas, agrupando luego los planteamientos considerados de acuerdo a su importancia económica.

Los problemas deben formularse de una manera precisa que facilite el trabajo siguiente, en especial si se va a emplear métodos avanzados modernos para la solución, tales como investigación de operaciones, ruta crítica o programación matemática. La decisión a ser adoptada implica una elección entre distintas alternativas, las que deben ser conocidas claramente por los responsables de la decisión.

Uno de los medios de evaluación para tomar decisiones es el cálculo, pero al tomarse una decisión no se le debe dar demasiado peso (es decir, hacer cálculos de alta precisión) sin tener en cuenta otros factores básicos como son la experiencia y elementos de juicio de quien toma la decisión. Esta es entonces un resultado de una evaluación de la situación, donde influyen el cálculo, la experiencia, los elementos de juicio y las consecuencias posteriores a cada alternativa en la toma de la decisión.

El control debe basarse en datos de la experiencia y las experiencias deben reunirse, sistematizarse y evaluarse para luego ser usadas en cálculos y evaluaciones tal como lo muestra la Fig. 39. Este proceso de toma de decisiones se presenta como un fundamento para el estudio de los próximos capítulos.

BIBLIOGRAFIA

1. KILANDER, K. Basic Principles in the Analysis of Logging Costs. Estocolmo, Suecia. Logging Research Foundation, 1962. 20 p.

CAPITULO 4

CALCULOS DE INVERSION Y CAMBIO DE EQUIPOS FORESTALES

4.1 CALCULOS

En una actividad de producción es posible aumentar los ingresos futuros o rebajar los costos al hacer desembolsos en medios técnicos. Este es el caso de una inversión.

El beneficio de una inversión se evalúa por medio de cálculos, los que son la base para hacer una elección correcta entre varias alternativas. En la evaluación de las ventajas y desventajas de una inversión (una máquina por ejemplo) es esencial el análisis de la influencia de sucesos futuros en el resultado económico.

Para el cálculo de inversiones existen diferentes modelos matemáticos en función del tiempo; en él hay necesidad de establecer ciertas condiciones y restricciones, y debe estar basado en condiciones reales. Algunos son factores muy difíciles de incluir en los cálculos, tales como los cambios de valor monetario, el aumento de precio en ciertos productos y el desarrollo en el mercado de la moneda, entre otros. Los cálculos deben realizarse de tal manera que se dé una idea de la influencia del cambio de condiciones en el resultado final.

Es conveniente dividir los cálculos de adquisición e instalación de maquinaria en los tres grupos siguientes:

- a. cálculos de inversión,
- b. cálculos de cambio (reemplazo de una máquina usada por una nueva),
- c. cálculo con relación al uso de una máquina.

4.2 CALCULOS DE INVERSION

Los costos para la inversión en una máquina se dividen según el esquema presentado en la Fig. 40.

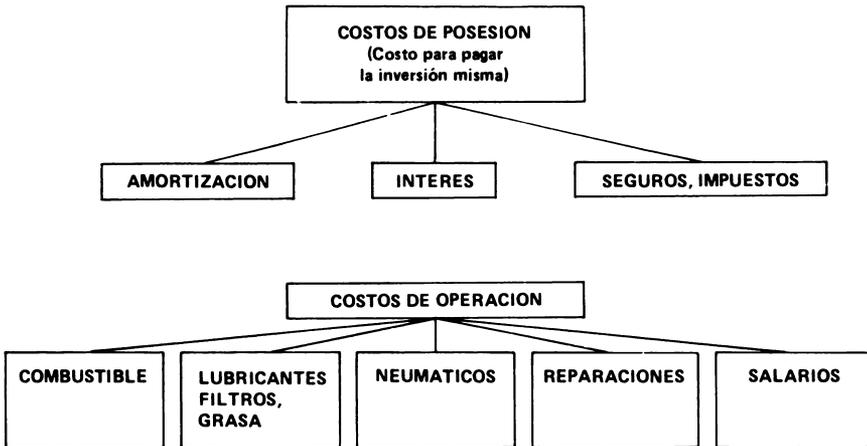


Fig. 40. Costos para inversión de una máquina.

La Fig. 41 muestra el flujo de estos costos en función al tiempo¹. Para evaluar el provecho de una inversión conocida es necesario estimar el valor de los servicios futuros o descontar este valor al tiempo presente.

Los desembolsos e ingresos de una inversión se pueden resumir claramente en un diagrama como el mostrado en la Fig. 42.

Valor neto de:

Los servicios futuros = Ingresos totales – Costos totales de operación cada año.

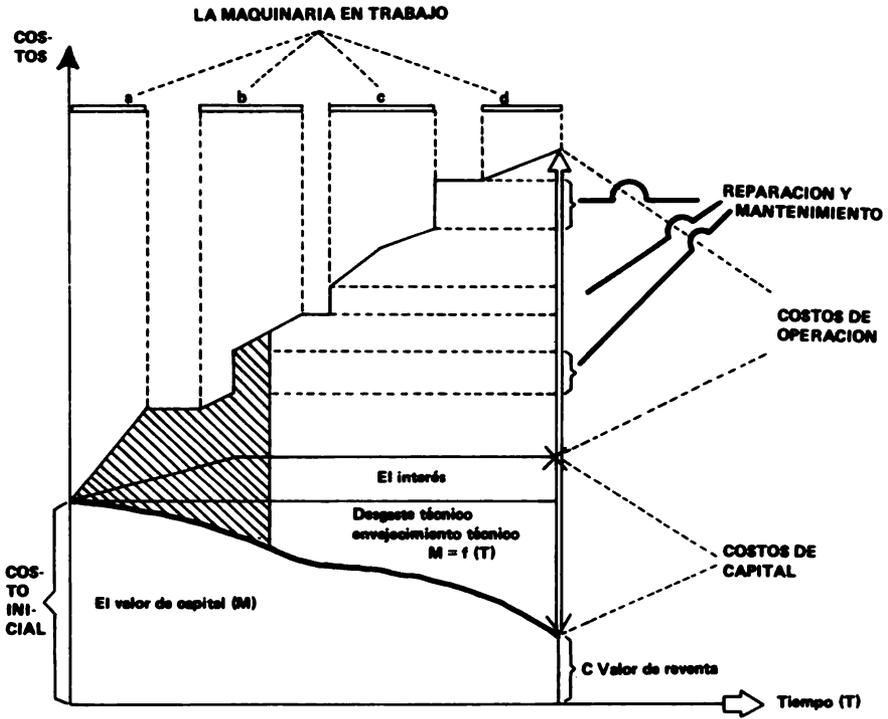


Fig. 41. Costo de trabajo con maquinaria (1)
 Costo = función del tiempo ($C = fT$) .

↑
 La hora de cambio

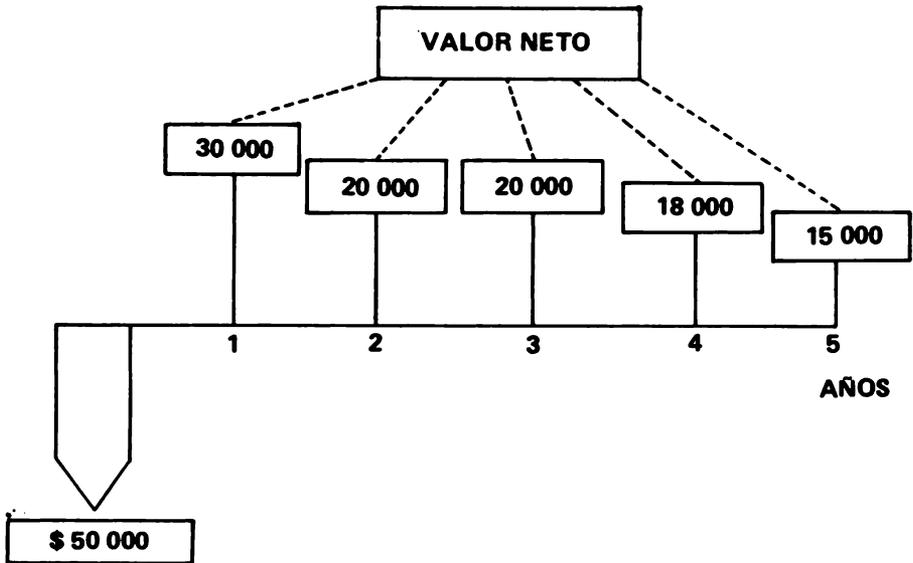


Fig. 42. Diagrama de desembolsos e ingresos .

Para evaluar si la inversión es útil o no, es necesario equilibrar el valor neto con el costo de inversión. El valor neto durante los cinco años se muestra en el siguiente ejemplo:

Ejemplo 1:

$$30\ 000 + 20\ 000 + 20\ 000 + 18\ 000 + 15\ 000 = 103\ 000 \text{ Dólares}$$

Si no se tiene en cuenta cuándo se recibe el valor neto, se obtiene una ganancia de $103\ 000 - 50\ 000 = 53\ 000$ US\$.

Es esencial tener en cuenta el tiempo a que se hace una inversión porque siempre es posible depositar el dinero a interés y obtener un ingreso de interés; entonces se tiene que introducir una demanda de interés para el capital invertido. Además, es necesario estimar la vida económica, es decir el número de años de uso de la máquina sin que sea más ventajoso cambiarla o desecharla.

Se debe, así, evaluar o estimar los siguientes factores:

- a. la vida económica (o la vida técnica),
- b. el valor de reventa o canje,
- c. la tasa de interés.

Estos factores son detallados más adelante.

4.2.1 Métodos para calcular la utilidad de una inversión

Los métodos más comunes para calcular la utilidad de una inversión son:

- a. método de descuento,
- b. método de anualidad,
- c. método aproximado de anualidad,
- d. método de tasa interna de interés.

4.2.1.1 Método de descuento

Con este método se calcula el valor presente de los valores netos futuros y se les compara con el costo (precio) de la inversión; si es positivo implica que la inversión es provechosa para la tasa de interés usada.

El valor presente se obtiene multiplicando el valor neto para cada año por el respectivo valor de descuento:

$$\frac{1}{(1 + i)^n}$$

4.2.1.2 Método de anualidad

Este método implica cálculo de los costos de depreciación e interés (costos de posesión) para cada año por separado y los compara con el valor neto promedio para el tiempo de vida.

El costo anual de recuperación de capital se expresa de la siguiente forma:

$$A = (I - R) fa + Ri$$

donde:

A = costo anual de recuperación de capital

I = costo (precio) de la inversión

fa = factor de amortización $= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$

R = valor de reventa

i = tasa de interés (anual)

4.2.1.3 Método aproximado de anualidad

También es posible realizar un cálculo de anualidad sin introducir el factor de amortización, dividiendo el costo de posesión (o de capital) en sus dos componentes básicos: **depreciación e interés**. Este método es el más usado en la práctica. El siguiente ejemplo ilustra este método, y su solución gráfica se muestra en la Fig. 43.

– Precio de inversión	\$ 60 000
– Valores netos	
– Vida económica	5 años
– Valor de reventa después de cinco años	\$ 10 000
– Tasa de interés	10 %

Depreciación por año:

$$\frac{60\,000 - 10\,000}{5} = 10\,000 \text{ \$/año (depreciación en línea recta)}$$

El capital promedio de la inversión en los cinco años será:

$$\frac{60\ 000 - 10\ 000}{2} + 10\ 000 = 35\ 000 \text{ dólares}$$

Es decir, la mitad del valor total de la depreciación más el valor de reventa o canje (ver Fig. 43). Esta cantidad se usa como base para calcular el costo de interés:

$$\text{Interés} = \frac{10}{100} \times 35\ 000 = 3\ 500 \text{ \$/año}$$

Suma de costos de posesión:

$$10\ 000 + 3\ 500 = 13\ 500 \text{ \$/año}$$

Esta suma es un poco menor que la obtenida en el cálculo con el factor de amortización (método de anualidad), esto es, el método aproximado resulta en una curva de depreciación rectilínea, mientras que en el método de anualidad se cuenta todos los desembolsos al final de cada año, según la Fig. 43.

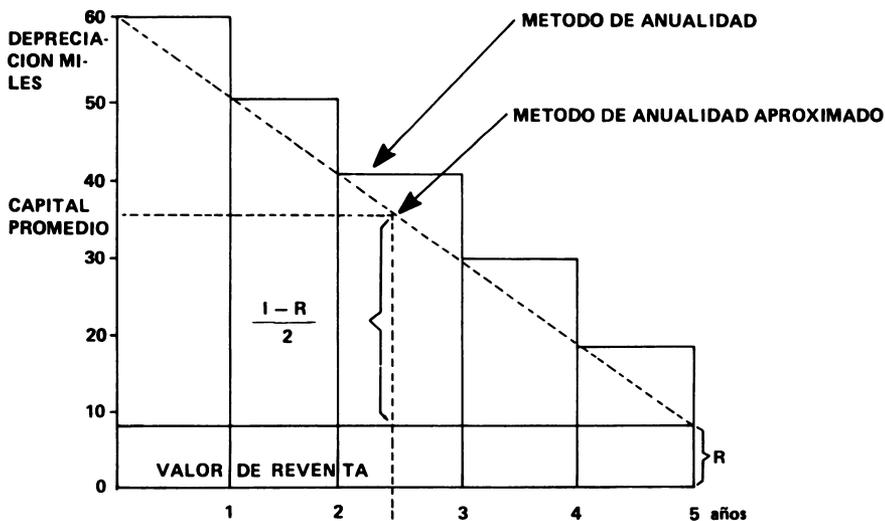


Fig. 43. Método aproximado de anualidad.

Es posible ajustar esta diferencia multiplicando la tasa de interés por la mitad de la depreciación por el factor $\frac{n+1}{n}$ donde:

n = vida útil en años

Según el ejemplo el costo de posesión será:

$$\underbrace{10\ 000}_{\text{(depreciación)}} + \underbrace{10\ \% \times 30\ 000 \times \frac{6}{5} + 10\ \% \times 10\ 000}_{\text{(interés)}} = 14\ 600\ \text{US\$}$$

Luego se calcula la ganancia, si el valor neto promedio es $\frac{103\ 000}{5} = \$\text{US } 20\ 600$

$20\ 600 - 14\ 600 = 6\ 000$ dólares en exceso por año (ganancia).

Con base en este análisis se puede generalizar la siguiente fórmula para calcular los costos de interés por el método aproximado de anualidad, cuando el precio de reventa es mayor que cero pero donde no se tiene en cuenta el factor de corrección $\frac{n+1}{n}$

$$\begin{aligned} \text{Costo de interés} &= \frac{(I - R) i}{2 \times 100} + \frac{R i}{100} = \frac{(I - R) i}{200} + \frac{2Ri}{200} \\ &= \frac{i (I + R)}{200} \end{aligned}$$

$$\text{Costo de interés por hora} = \frac{(I + R) i}{200 U}$$

Donde: n = vida útil en años
 I = precio del equipo
 i = tasa de interés
 U = promedio de horas por año
 R = precio de reventa

4.2.1.4 Método de tasa interna de interés

La tasa interna de interés es una medida para conocer la utilidad de la inversión. Si se aumenta la tasa de interés hasta obtener valor de capital = 0, esta tasa de interés se llama **tasa interna de interés** para una cierta inversión.

Hay también otro método para efectuar evaluaciones económicas denominado tiempo *Pay Off* (*Pay off time*), que indica el tiempo necesario para reembolsar el valor de inversión.

4.3 CONCEPTO DE VIDA UTIL

En el cálculo de inversión el factor **vida útil** es muy importante y se debe estimar, aunque muchas veces es difícil establecer un criterio para ello.

Se distinguen la **vida técnica** y la **vida económica**. La primera indica el tiempo durante el cual es técnicamente posible usar una máquina; ésta puede ser técnicamente anticuada o técnicamente gastada. Sin embargo, estos conceptos son muy vagos ya que es posible mantenerla y repararla para que funcione durante un plazo muy largo; lo contrario resultaría en una vida técnica muy corta.

Si los costos de reparación y mantenimiento para el normal funcionamiento de una máquina son muy altos y al mismo tiempo las fábricas han desarrollado máquinas nuevas que podrían ocasionar costos más bajos, será más económico realizar el trabajo con una máquina nueva. En este caso se tiene que calcular la vida económica de la máquina usada. Los cálculos por lo tanto, se efectúan fundamentalmente con respecto a la vida económica de la máquina.

La vida económica depende, entre otros factores, del uso o tipo de actividad, del costo de mano de obra, de la adquisición de repuestos y de la distancia del lugar de trabajo a los lugares de reparación, así como del acceso de capital. También es necesario distinguir entre inversiones de carácter único e inversiones que se van a repetir en el futuro.

En los cálculos para inversión en maquinaria la vida económica se expresa normalmente en horas efectivas de producción (horas máquina T 15; hora T15 = tiempos productivos incluyendo cada interrupción menos 15 minutos de demora).

Como el fin es la estimación de la vida económica para los distintos tipos de máquinas en el aprovechamiento forestal, se recomienda usar el número de horas efectivas detalladas en la lista siguiente, bajo condiciones normales:

Máquina	Vida normal en horas efectivas
– Tractor con Bulldozer	10 000
– Tractor con Angledozer	
– Tractor excavadora	
– Máquina cargadora	
– Máquina procesadora	
– Tractor transportador (de 4-6 ruedas y articulado)	
– Sistema de cable aéreo	
– Tractor articulado de 4 ruedas tipo <i>skidder</i> para arrastrar madera	6 000
– Camiones forestales	15 000
– Motosierras	1 500

Resumiendo, se puede indicar la vida económica por el período en que el costo marginal para un trabajo realizado con la máquina usada excede al costo promedio estimado para un trabajo análogo con la máquina nueva (ver Fig. 44).

En un desarrollo técnico rápido es de gran importancia tener en cuenta que las máquinas van a ser técnicamente anticuadas, lo cual influye en la reducción de la vida económica (tal es la situación actual en la industria forestal de muchos países). En un desarrollo técnico lento existe una tendencia a vidas económicas más largas.

El curso de la depreciación corresponde al valor teórico de reventa en cada hora; en los cálculos de costos hay justamente que estimar esta reducción. Se debe evitar equivocaciones de los conceptos que se muestran en la Fig. 45. Para facilitar los cálculos en la práctica se puede suponer la depreciación como un curso rectilíneo del capital invertido.

El valor de reventa o canje corresponde normalmente al precio en que se vende la máquina. Este valor depende de la vida económica, del curso de la depreciación y de si hay un mercado local para máquinas usadas.

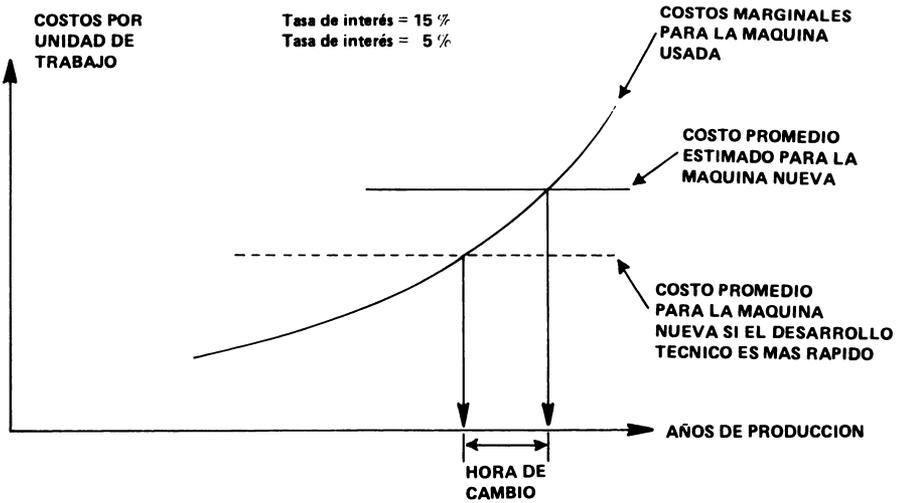


Fig. 44. Vida económica de la máquina.

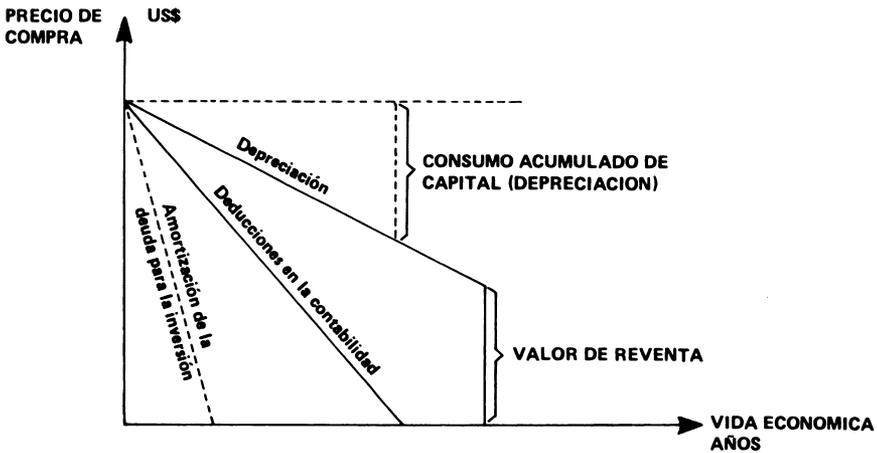


Fig. 45. Curso de la depreciación.

4.4 TASA DE INTERES ADECUADA PARA EL CALCULO

Se ha dicho que para los cálculos del capital invertido se requiere una tasa de interés, medio por el cual es posible comparar costos e ingresos calculados a distintas horas.

Se puede considerar el costo de interés para una cierta inversión desde dos puntos de vista, ya sea como costos, es decir, los costos por préstamos de dinero, o como pérdida de ingresos al no usarse el dinero en otra cosa.

Según los puntos de vista anteriores se puede decir que el interés es un costo alternativo; en este caso se suele usar el concepto **tasa de interés para el cálculo**.

Una alternativa común para la inversión de una empresa privada sería usar el capital disponible en otras inversiones. En este caso se debe calcular con una tasa de interés para estimar si estas nuevas inversiones van a dar un rendimiento más alto que si, por ejemplo, se invirtiera el dinero en acciones.

La tasa de interés (producido) en ciertos casos puede ser considerablemente más alta que cuando se invierte en acciones. El siguiente ejemplo aclara estos conceptos:

Ejemplo 2:

Un empresario propietario de un bosque trabaja como contratista en distintos campos de la producción en la industria forestal: operaciones de carga de madera, construcción de caminos, transporte de madera en camiones y transporte de madera con tractores de ruedas.

Ahora el empresario quiere aumentar su producción, para lo cual requiere más maquinaria; hace distintos cálculos de inversión según el método: tasa interna de interés (ver 4.2.1.4) basándose en los siguientes datos:

INVERSION	NECESIDAD DE CAPITAL \$	PRODUCCION DE INTERESES (provecho)
Dos grúas hidráulicas	10 000	25 %
Tractor de orugas con Bulldozer, Cat. D5	65 000	22 %
Camión de 12 t con winche y doble tracción	20 000	18 %
Tractor tipo <i>skidder</i>	40 000	15 %
Colocación de acciones	ilimitada	11 %

ADQUISICION DE CAPITAL	CANTIDAD DE DINERO	COSTO DE INTERESES
Explotación Forestal (de su propio bosque)	25 000	9 %
Hipoteca	55 000	12 %
Préstamo de garantía	75 000	17 %

Estima entonces que la mejor inversión sería comprar la grúa hidráulica. Esto produciría una tasa de interés de 25 % y se necesitan \$ 10 000. Una segunda opción sería el tractor con bulldozer, el cual se estima va a dar un rendimiento del 22 %.

El capital más favorable para hacer dichas inversiones se puede obtener con la explotación del bosque propio, lo que es mejor que conseguir préstamo sobre hipoteca a una tasa de interés del 12 %, y una última solución sería préstamos a una tasa de interés del 17 %; éste requiere además, normalmente, una amortización más rápida.

El costo de interés para la explotación de la madera se calcula en una tasa del 9 %, es decir que los árboles tendrían que aumentar en un 9 % anual en valor neto.

Según la Fig. 46 sería teóricamente útil invertir en todas las máquinas excepto en el tractor de ruedas (*skidder*); por lo tanto el capital que sobra para invertir en este tractor es superior a lo que el tractor podría producir en ganancia.

Si fuera posible conseguir todo el capital necesario, la tasa de interés para el cálculo está indicada por el punto de intersección entre las dos curvas de forma escalonada; según el ejemplo este punto indica una tasa de interés adecuada para el cálculo de 17 %.

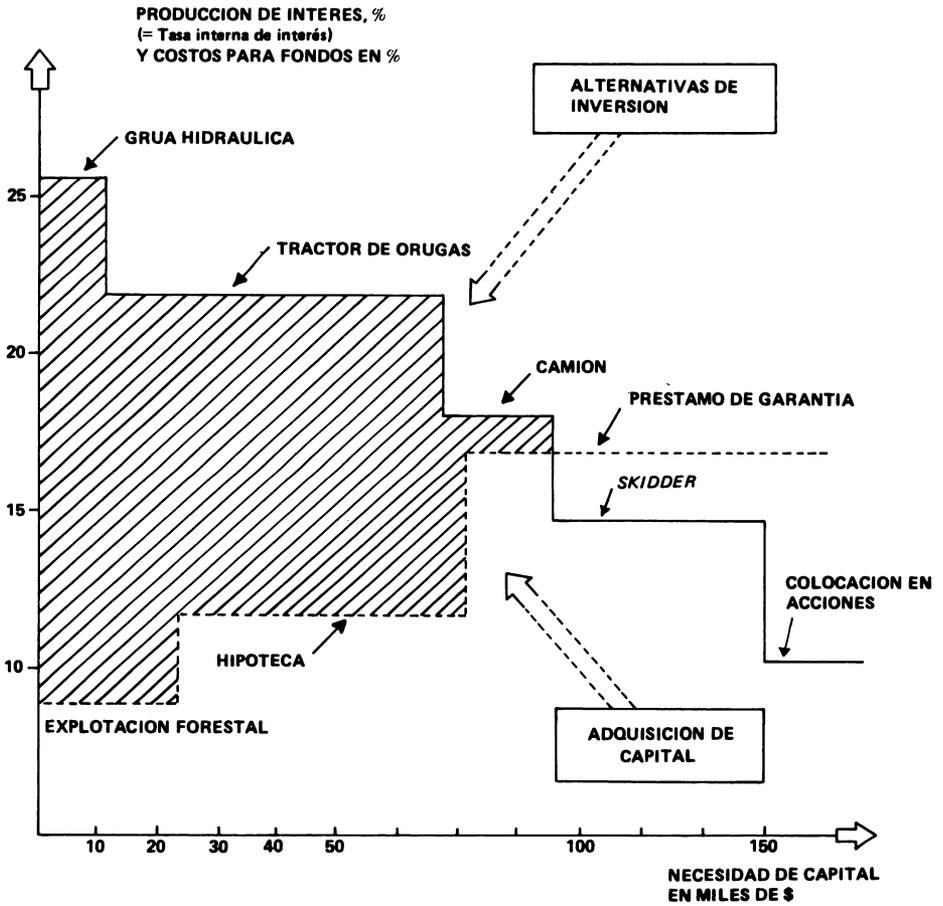


Fig. 46. Producción de interés para distintas alternativas de inversión y costos de interés para diferentes fondos, según el Ejemplo 2.

Comentarios al Ejemplo 2:

En la práctica es muy difícil determinar la tasa de interés “teóricamente correcta” para un cierto cálculo, ya que también influyen otros factores como impuestos, consideraciones en riesgo e inseguridad, otros. Sin embargo, analizando las posibilidades de invertir se puede evitar errores grandes en la compra de una máquina.

4.5 MODELO PARA EL CALCULO DE INVERSION

Como complemento a este capítulo se discutirá un ejemplo que muestra un modelo sencillo para hacer un cálculo de inversión. Es un modelo que el inversionista puede utilizar cuando tiene muy pocos datos para hacer los pronósticos del cálculo. Hay modelos mucho más sofisticados, desarrollados dentro de compañías grandes o por experiencia de los fabricantes de equipos. La compañía Caterpillar, por ejemplo, tiene un manual muy voluminoso sólo para los cálculos de inversión de sus productos, basado en muchos años de experiencia.

Ejemplo 3:

En este ejemplo se muestra un cálculo de inversión realizado por el **método aproximado de anualidad**. Se divide la inversión en costos de la máquina misma (tractor, grúa, trailer) y en costos de ciertos equipos adicionales (orugas en este ejemplo); este procedimiento es recomendable en ciertos casos, especialmente cuando se va a utilizar equipos adicionales sólo durante ciertas épocas del año o cuando estos equipos tienen una vida técnica más corta que la maquinaria principal. El resultado del cálculo se dará en \$ por hora-máquina T 15.

Una empresa que quiere invertir en una máquina para transporte menor (transporte del tocón hasta un patio al lado del camino), hará primero un análisis de necesidad, el que indica que sería económicamente preferible comprar un tractor de 90 HP con un remolque equipado con una grúa hidráulica. Es también necesario comprar un par de orugas a ser usadas durante la época de invierno (la región de operaciones es de precipitación durante seis meses). También se decide que en el cálculo debe incluirse el costo para un operario y un ayudante.

Precio del equipo	\$	
Tractor forestal de orugas, 90 HP equipado con grúa hidráulica y winche con doble carrete	45 000	
Equipo de orugas		5 000
Trailer con sistema bogi y freno hidráulico	3 000	
Herramientas y varios	2 000	
Suma precio (I)	50 000	5 000

Valor de reventa, estimado después de 6 años (R) para el tractor, \$ 5 000 y las orugas 1 000.

Con base en el análisis de necesidad y a los precios (I) se puede determinar el valor de reventa (R) para el equipo; después se estima la vida económica (H) y el uso anual (U) en horas-máquinas (ver Cuadro No. 6).

Comentarios y condiciones sobre el Ejemplo 3 (según Cuadro No. 6).

a. Costos de posesión (o costo de capital)

- 1) La tasa adecuada de interés (i) para este cálculo es de 15 %;
- 2) el seguro anual cuesta \$ 200 por año y la compañía no tiene costos para garage;
- 3) se estima usar el tractor 1 800 horas-máquina por año durante seis años (según experiencia en la región y por política de usar la maquinaria con un buen sistema de mantenimiento).

b. Costos de operación

- 1) Reparaciones: este costo es muy difícil de estimar, pues no se puede establecer una relación con un trabajo conocido en un tiempo determinado. Varía mucho bajo distintas condiciones (por ejemplo: tipo de máquina, terreno, téc-

nica de manejo, conocimientos para reparar la máquina, otros). Es posible bajar los costos de reparación si el operador mismo puede hacer la mayor parte de éstas sin tener que ir a un taller especializado para las reparaciones pequeñas.

En muchas empresas faltan los datos de experiencia para determinar el costo de reparación de la maquinaria en uso.

Se puede suponer que los costos de reparación son proporcionales al costo de amortización. Aunque esta suposición en sí es falsa, el procedimiento tiene la ventaja de ser relativamente simple para determinar este costo.

Bajo condiciones normales y con un sistema adecuado de mantenimiento será necesario calcular con un costo de reparación más alto que el 100 % del costo de amortización, es decir el factor r , por el cual se va a multiplicar el costo de amortización para obtener el costo de reparación, es en este caso $r = 1.00$. En el ejemplo 3 el valor de r es 0.8 (ver Cuadro No. 6).

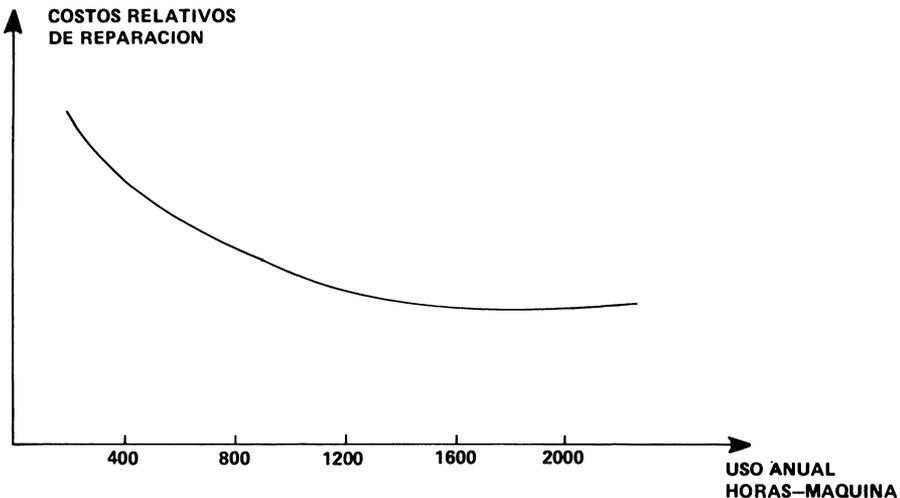


Fig. 47. Tendencia en los costos de reparación para tractores cuando varía el uso anual.

El límite más bajo para el costo de reparación estimado de esta manera es, según la experiencia, 40 % del costo de amortización ($r = 0.40$), esto es, bajo condiciones muy favorables.

Es importante anotar que los costos de reparación por hora efectiva normalmente bajan con un aumento en el uso anual y que los costos aumentan considerablemente con la edad de la máquina (ver Fig. 47).

- 2) Combustible: el consumo de combustible depende en gran parte del tamaño (potencia) de la máquina y de las condiciones de trabajo. El Cuadro No. 5 muestra el consumo de combustible para dos tractores de orugas diferentes bajo distintas condiciones en América Latina:

CUADRO No. 5. Consumo de combustible.

Tamaño del tractor	Consumo en galones por hora-máquina		
	Trabajo liviano	Trabajo mediano	Trabajo pesado
CAT D 5	2.3	3.5	4.6
CAT D 7	4.7	6.0	7.5

Los trabajos forestales se clasifican como trabajos pesados. En muchas compañías madereras situadas lejos de los centros urbanos los costos de combustibles pueden subir hasta 2 ó 3 veces más, dependiendo de las dificultades del transporte.

- 3) Lubricantes, filtros, grasa: estos costos pueden calcularse según las tablas del fabricante y de las instrucciones de mantenimiento, sabiendo los precios en la región de trabajo.
- 4) Mantenimiento: la revisión continua de las máquinas, que normalmente hace el operario o su ayudante, se puede estimar que demorará medio día por semana o 15 % del tiempo total de trabajo.

CUADRO No. 6. (Datos según ejemplo 1)

Formulario general para cálculo de costos de inversión en maquinaria forestal: \$/hora-máquina (= tiempo productivo T15)**

LUGAR: "Finca San Jerónimo"		MAQUINARIA: Tractor forestal <i>Highlander</i> 90 HP con grúa hidráulica			FECHA: 10-01-1978	
Datos y tipo de costo	Fórmulas	Tractor con equipo adic- ional \$	Equipo de orugas \$	Costos ge- nerales \$	Suma costos \$	% Costos
Precio de compra \$	I	45 000	5 000		50 000	
Valor de reventa \$	R	5 000	1 000		6 000	
Uso anual, horas	U	1 800	900			
Tiempo depreciación, horas	H (6 años)	10 800	5 400			
1. COSTOS DE POSESION					7.80	47
1.1 Interés (i=20 %)	$\frac{(I+R) i}{200 U}$	2.78	0.33		3.11	
1.2 Seguro	S:U			0.25	0.25	
1.3 Garage	G:U					
1.4 Amortización (depreciación)	$\frac{I-R}{H}$	3.70	0.74		4.44	
2. COSTOS DE OPERACION					4.76	29
2.1 Reparaciones (r=0.80)	$\frac{I-R}{K} r$	2.96	0.59		8.55	
2.2 Combustibles	Tabla o ex- periencia	0.75			0.75	
2.3 Lubricantes, otros*	Tabla o ex- periencia	0.12			0.12	
112.4 Mantenimiento	$0.15 \times a_1$			0.34	0.34	
3. COSTOS DE SALARIOS					2.26	29
3.1 Operador	a_1			1.33		
3.2 Ayudantes	$a_1 \times \text{coef.}$			0.93		
SUMA DE COSTOS DE PO- SESION Y DE OPERACION					14.82	
4. COSTOS RESTANTES					1.78	10
Administración, otros.	0.02 M			0.30		
Riestos	0.10 M			1.48		
GRAN TOTAL		10.31	1.65	4.63	16.60	100

* Estos costos se deben repartir entre consumo de motor, transmisión, mandos finales, sistema hidráulico, grasa y filtros.

** T15= Tiempos productivos incluyendo cada interrupción menos 15 minutos de demora.

Investigador

c. Salarios directos e indirectos

- 1) El operario: en este cálculo se utiliza los salarios y compensaciones pagados en la "Finca demostrativa en San Jerónimo", Guatemala, para operarios de maquinaria forestal.

El salario puede variar mucho de un país a otro; muchas veces se paga a los operarios por producción (destajo o bonificación), caso en que se puede calcular el costo por hora, multiplicando el rendimiento estimado por hora (por ejemplo en m³ de madera transportada) por el precio de pago (por ejemplo precio por m³).

- 2) Ayudante: en este ejemplo el ayudante recibe 70 % del salario del operario.

4.6 CALCULOS DE CAMBIO DE UNA MAQUINA USADA POR UNA MAQUINA NUEVA

El propietario de una máquina, que piense continuar sus trabajos en el futuro, llega tarde o temprano a la situación de cambiar la máquina usada por una máquina nueva. Se mencionó esta situación cuando se discutió el concepto de vida útil de una máquina y se indicó además que hay que distinguir entre la situación cuando se hace una compra única y la situación cuando se piensa comprar otra máquina para reemplazar la primera.

Debido al desarrollo técnico (máquinas más modernas), la vida económica resulta más corta si se planifica hacer otra inversión, por lo que es necesario examinar a tiempo en qué forma un cambio futuro influirá en la economía de la producción. En una empresa con varias máquinas estos tipos de cálculos deben ser una medida rutinaria cada año.

Muchos factores juegan papel importante cuando se va a tomar la decisión de cambiar o no la máquina (o las máquinas), por ejemplo si se ha hecho una buena reparación de la máquina usada o si se ha desarrollado otra máquina nueva de mejor diseño. En cuanto a la eficacia de la máquina nueva, hay otros factores que son imposibles de evaluar objetivamente.

El cálculo solamente describe una parte de la realidad. Durante el uso de una máquina su valor decrece, pero normalmente la depreciación anual resulta cada año más baja. Por otra parte, al mismo tiempo suben los costos de reparaciones y mantenimiento.

Por eso en el uso de la máquina se obtiene un costo marginal cada vez más alto. Llega un momento cuando una **máquina nueva puede hacer el mismo trabajo a un costo promedio más bajo que los costos marginales de la máquina usada** (ver Fig. 44). Este es el momento de efectuar el cambio.

El procedimiento para el cálculo de cambio es tratar la máquina nueva de la misma forma como se ha estipulado en los cálculos de inversión; para la máquina usada se calcula y estima solamente la vida económica que falta. Como "valor de entrada" de la máquina usada se usa su valor de reventa en el momento considerado.

Ejemplo 4:

a. Problema

Un contratista para transporte continuo de madera (transporte menor) en una compañía forestal compró hace cuatro años un tractor forestal nuevo. El último año aumentaron considerablemente los costos de reparación y al mismo tiempo encuentra en el mercado un tractor nuevo más eficiente y con el cual se puede aumentar el rendimiento por hora efectiva.

En virtud de experiencias disponibles (el contratista tenía muchos datos y un buen control de los costos para la máquina) se ha obtenido la siguiente información:

Tractor existente	\$
Precio de compra hace 4 años	40 000
Valor de reventa ahora	15 000
Valor de reventa dentro de 1 año	8 000
Costos de operación durante el 5o. año	20/horas
Garage, impuestos, seguros, otros por año	1 000
Ingresos	30/horas
Tiempo de trabajo	2 000 horas/año

Tractor nuevo

Precio de inversión	60 000
Vida económica-5 años	
Valor de reventa después de 5 años	10 000
Costos de operación (costo promedio)	17/horas
Garage, seguros, impuestos	1 000
Ingresos	40/horas
Tiempo de trabajo	2 000 horas/año

El contratista puede obtener un préstamo favorable de la compañía a una tasa de interés de 8 % y para el tractor existente hay todavía una deuda de \$ 18 000, la cual se va a amortizar dentro de 3 años a una tasa de interés del 8 %.

Se desea saber si es más económico para el contratista cambiar la máquina usada por la máquina nueva.

b. Sugerencia para resolver el problema

Se compara el valor neto de la máquina usada, en el 5o. año (último año) con el valor neto promedio de la máquina nueva durante toda la vida útil.

c. Cálculo

1) Tractor existente:

-- Ingresos	30 x 2 000	60 000\$/año
-- Costos		
Costos de operación	20 x 2 000 =	40 000\$/año
Depreciación	15 000 - 8 000 =	7 000\$/año
Costo de interés	$\frac{8(15\,000+8\,000)}{100 \times 2} =$	920\$/año
Garage, otros		1 000\$/año
<u>Suma de costos</u>		<u>48 920\$/año</u>
Beneficio neto al 5o. año		<u>11 080\$/año</u>

2) Tractor nuevo:

-- Ingresos	40 x 2 000	<u>80 000\$/año</u>
-- Costos		
Costos de operación	17 x 2 000 =	34 000\$/año

Depreciación $\frac{60\ 000-10\ 000}{5}$	= 10 000\$/año
Costos de interés $\frac{8(60\ 000+10\ 000)}{200}$	= 2 800\$/año
Garage, otros	1 000\$/año
<u>Suma costos</u>	<u>47 800\$/año</u>
Beneficio neto promedio	<u>32 200\$/año</u>

d. Comentarios

En el cálculo se usó el método aproximado de anualidad. La máquina nueva tiene un beneficio neto promedio más grande que el beneficio marginal de la máquina existente (diferencia $32\ 200 - 11\ 080 = \$ 21\ 120$). También se estima que la máquina nueva va a producir más por hora; en consecuencia es económico cambiar la máquina.

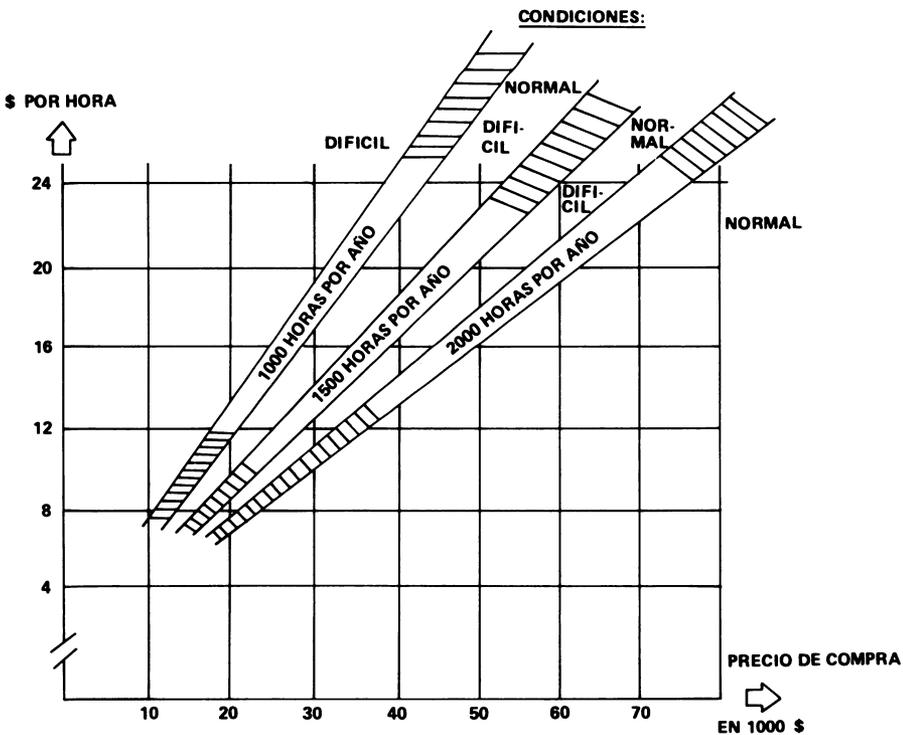


Fig. 48. Costos por hora para tractors, camiones y otra maquinaria pesada.

BIBLIOGRAFIA

1. ANAYA, H. y CHRISTIANSEN, P. Análisis de costos en el transporte forestal. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Sección de Publicaciones, 1972. 235 p.
2. CAMPOS, R. y CHRISTIANSEN, P. Estudio comparativo de tres métodos en el corte y trozado de árboles con relación al grado de dureza. *Revista Forestal del Perú*, 1(2):18. 1967.
3. CATERPILLAR COMPANY. Rendimiento de los productos *Caterpillar*. Peoria, Illinois, 1971. 20 p.
4. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. La explotación maderera y el transporte de trozas en el monte alto tropical. Roma, 1974. 97 p.
5. ————. Logging and Log transport in man-made forest in developing countries. Roma, 1974. 134 p.
6. IRESON, W. y GRANT, E. Principles of engineering economy. New York, Ronald, 1964. 574 p.
7. LOGGING RESEARCH FOUNDATION. Tidsbegrepp for madkinarbeten. (Conceptos de tiempos en trabajo con maquinaria) Estocolmo, Logging Research Foundation, 1975. 20 p.
8. NILSSON, B. Kalylera mera-Besluta battre (Calcular más — decidir mejor). Estocolmo, Logging Research Foundation, 1963. 15 p.

9. SAMSET, L. y STROMNES, R. Time studies of felling operations. Vollebeck, Noruega, Norske Skogsforsoksvesen, 1968. 40 p.
10. SUNDBERG, U. Skogsteknisk Driftsekonomi. Estocolmo, Royal University of Forestry, 1960. 180 p.
11. _____ . Skogsteknisk Driftsekonomi. II. Estocolmo, Royal University of forestry, 1966. 170 p.

CAPITULO 5

PRODUCCION Y COSTOS DE APROVECHAMIENTO FORESTAL

5.1 CONCEPTO GENERAL

En el capítulo anterior fueron analizados los costos de maquinaria usada en el aprovechamiento y en el transporte forestal. Hay otros factores importantes de costos (*input factors*), por ejemplo mano de obra, capital y administración, los cuales deben ser considerados junto con la maquinaria, bajo un solo criterio, con el fin de que se refleje en un costo bajo para la madera transportada. Por lo tanto, en la planificación de las operaciones de transporte hay necesidad de informaciones básicas para poder tomar mejores decisiones con respecto a métodos, equipo y organización del trabajo. Es evidente que tal información influye en los costos.

En los bosques tropicales se ha llegado a la situación en que no se justifica económicamente usar métodos manuales en el transporte menor (*out off road transport*). Las razones para esta afirmación son:

- a. la distancia promedio de transporte menor desde el tocón hasta la terminal de procesamiento o el cargadero (al lado del río o de la carre-

tera) aumenta cada año; en regiones donde los costos para construcción de caminos son muy altos, se estima esta distancia en un promedio inferior a 5 kilómetros;

- b. la unidad promedio de madera rolliza es muy pesada, factor éste combinado con terreno a menudo muy accidentado o inundado.

Sin embargo, el costo de mano de obra es todavía relativamente bajo en América Latina, como en la mayoría de los países tropicales; esta condición permite una contribución alta de mano de obra en ciertas fases del aprovechamiento, por ejemplo en el apeo y en las operaciones terminales del transporte (cargue y descargue). No obstante, un desarrollo técnico de métodos mecanizados exige mano de obra especializada y bien adiestrada.

Para llegar a un mejor uso de maquinaria costosa es necesario establecer un sistema adecuado de pago, por ejemplo por bonificación. Según experiencias, los costos de mano de obra aumentan mucho más rápido después de la especialización y también se incrementan más que los costos para los medios técnicos. Dicha tendencia va a causar un aumento en el grado de mecanización, es decir, que los costos por unidad de tiempo para mano de obra van a bajar en relación a los costos totales por unidad de tiempo en un cierto sistema de aprovechamiento o transporte.

Ejemplo 1

En la Fig. 49 se muestra esquemáticamente siete métodos diferentes para apeo y transporte de madera. Los tres sistemas básicos tienen cada uno un método convencional y un método mecanizado. En el último todo el personal trabaja en máquinas y no se mueve sobre el suelo, lo cual implica un grado de mecanización muy alto para los métodos A2, B2 y C2, es decir que el costo relativo de mano de obra es muy bajo.

El método A2 tiene el grado de mecanización más alto, 33 %, mientras que el método convencional B1 para transporte de fustes (un método de mecanización muy común en los bosques tropicales) tiene un grado de mecanización relativamente bajo, 63 %.

En los bosques tropicales las dimensiones de los fustes son normalmente muy grandes; existe una dimensión económicamente óptima para el método B1, probablemente para fustes entre 3 y 10 m³ para las máquinas empleadas hoy. Por eso este método de transporte es adecuado en una gran parte de América Latina, bajo el supuesto de que se use para transportar madera sobre distancias económicas, normalmente 500-2 000 metros (ver Fig. 50).

El método C, en el cual se transportan los árboles enteros hasta un cargadero o terminal de procesamiento, no es adecuado para árboles grandes. Este método normalmente es limitado para bosques de coníferas en países donde el costo de mano de obra es muy elevado y necesita también una organización detallada en la terminal donde se efectúen el trozado y descortezado. Si existen distintas especies con diferentes tamaños aumenta considerablemente el problema.

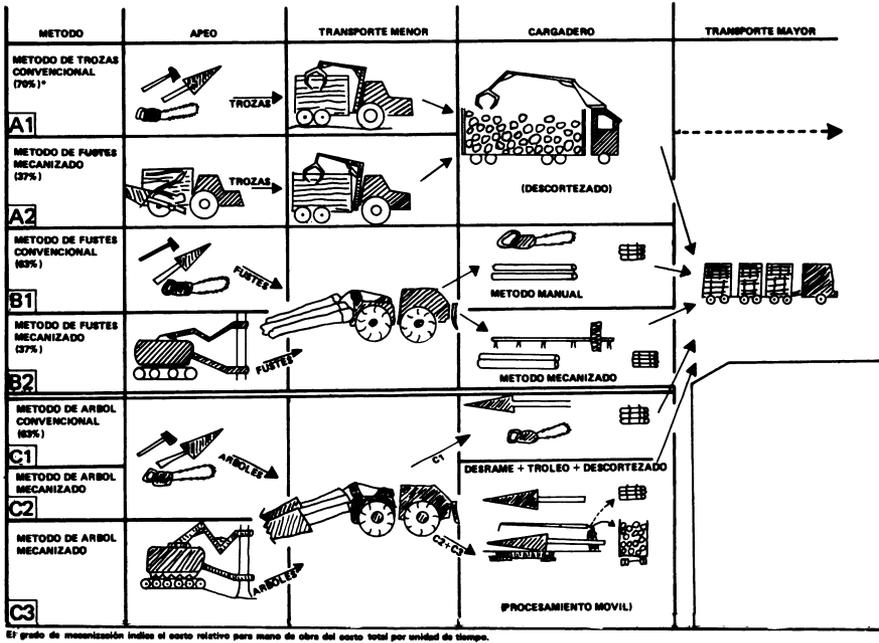


Fig. 49. Métodos de apeo y transporte con maquinaria con distinto grado de mecanización.

El grado de mecanización más adecuado para cada caso depende de los costos para mano de obra.

En el cálculo de estos **costos unitarios** se usa análisis similares en distintos países del mundo, basados en la siguiente información:

- 1) el costo por unidad de tiempo para cada factor de consumo (el costo por unidad de tiempo utilizado);
- 2) el rendimiento o la producción (*out put* por unidad de tiempo).

Es necesario buscar un sistema de información adecuado que dé datos correctos de la operación para obtener datos razonables en los resultados. Los factores de costos o consumo (máquinas, capital,

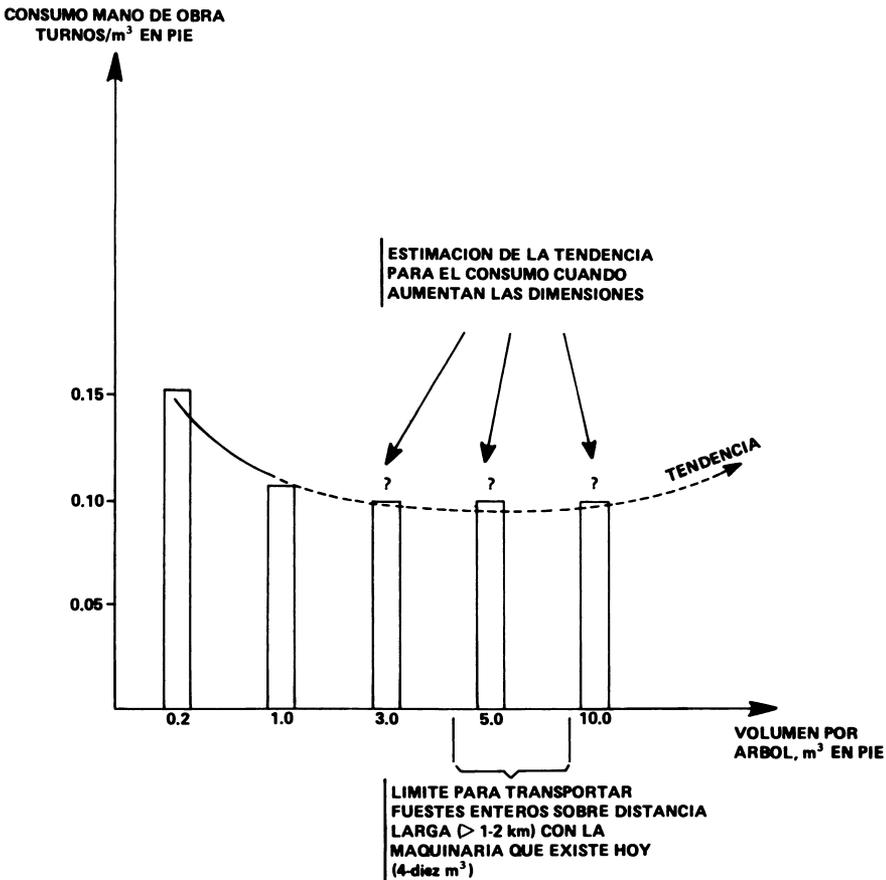


Fig. 50. Estimación de la tendencia para el consumo cuando aumenta el volumen por árbol (método B1:a).

mano de obra) se calculan por **unidad de tiempo** (año, turno u hora). La madera en bruto se mide en **unidades de volumen** (m^3 , pies³, cunit, pie tablar) o en **unidades de peso** (tonelada). Es necesario saber la **producción de madera por unidad de tiempo** (*out put*) para **comparar los ingresos con los costos de producción**, es decir los costos para la madera transportada al lugar de venta o procesado.

Estas informaciones pueden ser usadas con el fin de llegar al costo total por unidad, para un método conocido, de la siguiente manera (según Bendz y Jarvholm¹):

Los cálculos de costos terminan al sumar los costos para las diferentes fases de la operación. En muchos de los análisis hechos hoy en el apeo y transporte de madera en los bosques tropicales se parte de un costo más o menos verídico, a menudo no relacionado con las condiciones locales, el cual es posible descomponer en varios elementos. El método aquí discutido comienza, por el contrario, con las fases de la operación, relacionadas a las condiciones locales, y se

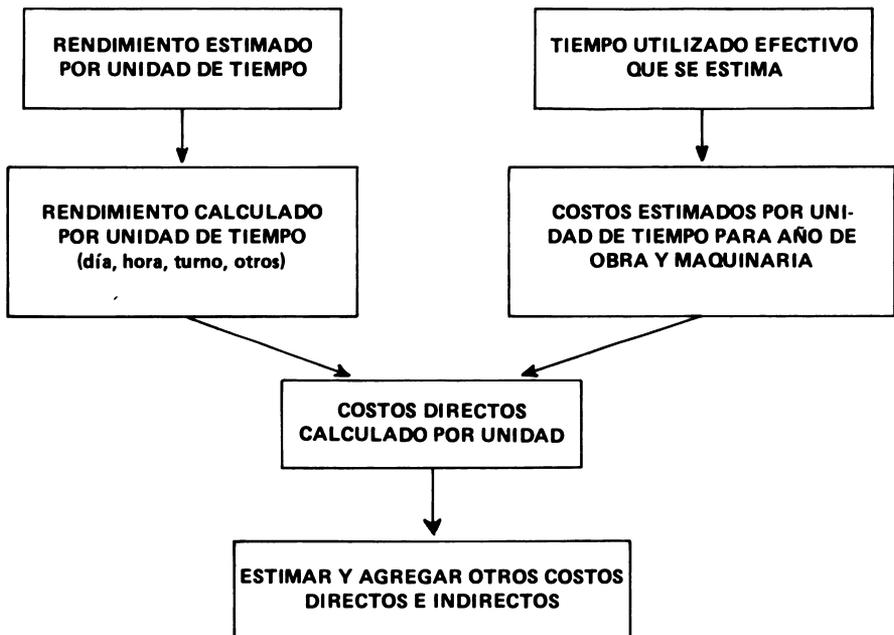


Fig. 51. Esquema guía para los cálculos.

compone de etapas sucesivas hasta llegar al costo final. Usando este procedimiento, la posibilidad de cambiar las suposiciones hace significativos los análisis y los pronósticos.

5.2 RENDIMIENTO POR UNIDAD DE TIEMPO

Se ha mencionado que es necesario saber la producción por unidad de tiempo (normalmente por hora o turno) para cada fase u operación en el sistema de aprovechamiento forestal. Es fácil conseguir una información más o menos detallada de esta producción, por ejemplo estableciendo ciertas rutinas de control y registro de datos en el trabajo.

Normalmente se puede influir en la producción hasta cierto grado, ya que existen varios factores o variables que afectan el rendimiento y, en consecuencia, los costos de operación. Hay un grupo de estas variables sobre las cuales se puede ejercer algunas influencias y existe otro sobre el cual es más difícil o imposible lograrlo para mejorar la producción.

Los factores o variables más importantes son:

- | | |
|----------------------------|--|
| 1) Los factores forestales | a) Arbol
b) Rodal
c) Terreno (pendientes)
d) Suelo |
| 2) El clima | a) Temperatura
b) Precipitación
c) Existencia de estaciones |
| 3) La técnica | a) Métodos de trabajo
b) Equipo o maquinaria |
| 4) Los factores sociales | a) Mano de obra (habilidad, experiencia, motivación, otros)
b) Situación de empleo
c) Distancias a la civilización o a las comodidades sociales. |

Todos los factores mencionados influyen en la producción o en el rendimiento; algunos tienen gran impacto, otros juegan un papel secundario. El diámetro o el volumen por árbol tiene por ejemplo

una gran influencia en el rendimiento (ver Fig. 51), mientras que la distancia entre árboles no afecta mucho la producción de apeo, siempre que esta distancia varíe entre ciertos límites. Algunas de las variables son fáciles de medir, en otras ello es casi imposible o muy costosos.

“La complicación es, que la selección final de variables que se considera como principales e importantes, debe ser un compromiso entre la precisión de los resultados y la simplicidad de ejecución”. (Bendz-Järholm³).

La interacción de importancia y simplicidad para medir las variables que influyen en la producción se da en los siguientes grupos:

- a) **factores que son tanto importantes como fáciles de medir:** diámetro del árbol, volumen de madera por hectárea, distancia de transporte, tamaño de las trozas y equipo y maquinaria en uso, juegan un papel dominante para la producción en todas las localidades existentes;
- b) **factores importantes pero difíciles o costosos de medir:** la condición del terreno, calidad de los árboles, entre otros. A menudo es preferible estimar estos factores subjetivamente;
- c) **factores muy difíciles de medir:** muchas de las variables sociales. Estos factores según distintos estudios, influyen muy poco en la producción y pueden ser omitidos en la práctica, pero debe mencionarse bajo qué condiciones sociales se realizó el estudio. Se debe considerar estas variables en análisis o estudios científicos.

A continuación se discutirá la influencia de los factores del grupo a) en el rendimiento, es decir las variables importantes y fáciles de medir en el orden siguiente:

- i) tamaño del árbol
- ii) volumen aprovechable por hectárea
- iii) tamaño de la concesión o del área de aprovechamiento
- iv) uniformidad del trabajo y utilización de la maquinaria
- v) la distancia de transporte

5.2.1 El tamaño del árbol

El tamaño se expresa generalmente por el diámetro a la altura del pecho = d.a.p.

La influencia del tamaño del árbol en los costos y la producción es especialmente considerable cuando el d.a.p. varía entre 0 y 12 pulgadas, o sea diámetros que normalmente existen en bosques artificiales (plantaciones). Esta circunstancia es muy importante y debe tener gran impacto en el programa de la producción primaria, es decir en el cálculo económico de densidad de plantas por hectárea y en el programa de manejo de bosques (número y época de entresacas, tiempo para la fertilización y corte final).

En este aspecto es muy importante manejar la producción primaria de tal manera que la distribución del d.a.p. alrededor del diámetro medio sea lo más cerca posible, especialmente cuando se va a usar métodos mecanizados para el apeo y el transporte. Esto se debe a que cada máquina (por ejemplo una máquina descortezadora o una grúa hidráulica) tiene su rendimiento máximo para un cierto diámetro. Si varían mucho los diámetros la producción va a bajar notablemente.

Las Figs. 52 y 53 muestran de qué manera el d.a.p. afecta los costos al usar distintos métodos de apeo. Se ha puesto un costo relativo de 100 cuando d.a.p. = 20 cm para los tres métodos, solamente para poder comparar directamente los costos.

En el estudio, según las Figs. 52 y 53 se ha supuesto que el volumen total es muy grande y que el volumen aprovechable por hectárea es 50 m^3 en pie (la operación es entresaca). La curva de costos para el método mecanizado (M) representa solamente d.a.p. menores de 20 cm, porque el uso de este método está restringido para rodales con un d.a.p. máximo de 25 cm.

En las Figs. 52, 53 y 54 se indica que en el bosque tropical (Perú) el uso de la motosierra tiene un gran impacto en el rendimiento en comparación a los métodos manuales y también que si se incrementa la eficiencia o habilidad de los operarios, aumenta el rendimiento más rápido cuando se usa la motosierra. La Fig. 55 muestra también que cuando sube el jornal del obrero por turno aumentan los costos para los métodos manuales (hacha y serruchón) considerablemente más que para el apeo con motosierra.

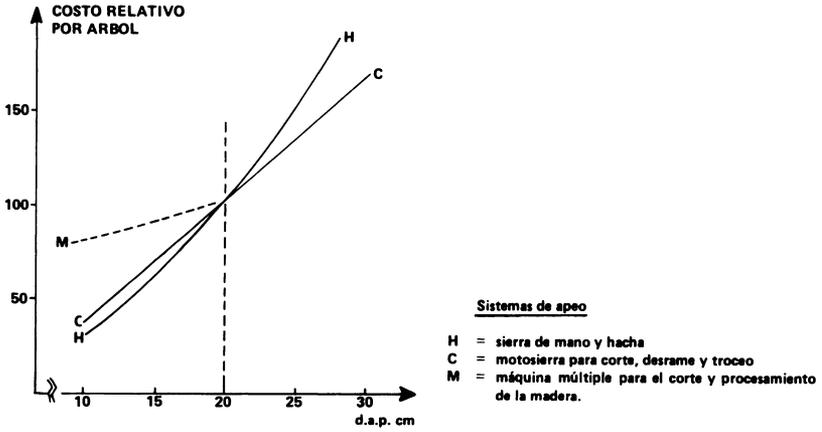
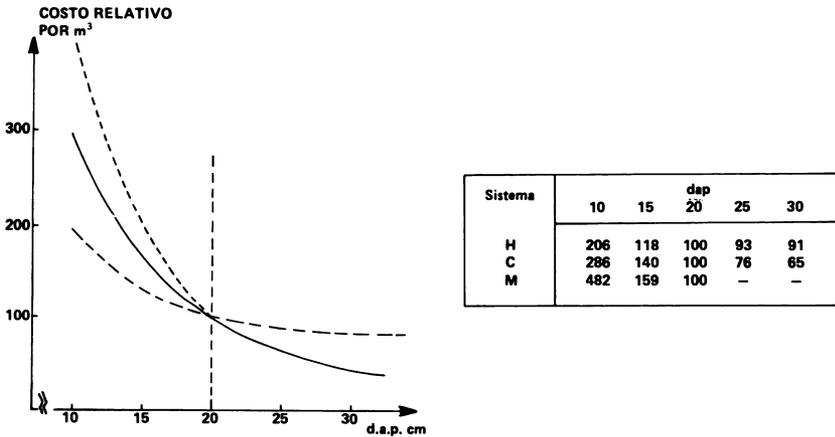


Fig. 52. Costo relativo por árbol cuando varía el d.a.p. en el corte, desrame, el troceo y apilado. (Bosque de *Pinus silvestre*).



FUENTE: IUFRO MEETING. 1969. SUECIA - G. AGER.

Fig. 53. Costo relativo por m^3 (volumen sólido con corteza) cuando varía el d.a.p. para corte, desrame, el troceo y apilado. (Bosque de *Pinus silvestre*).

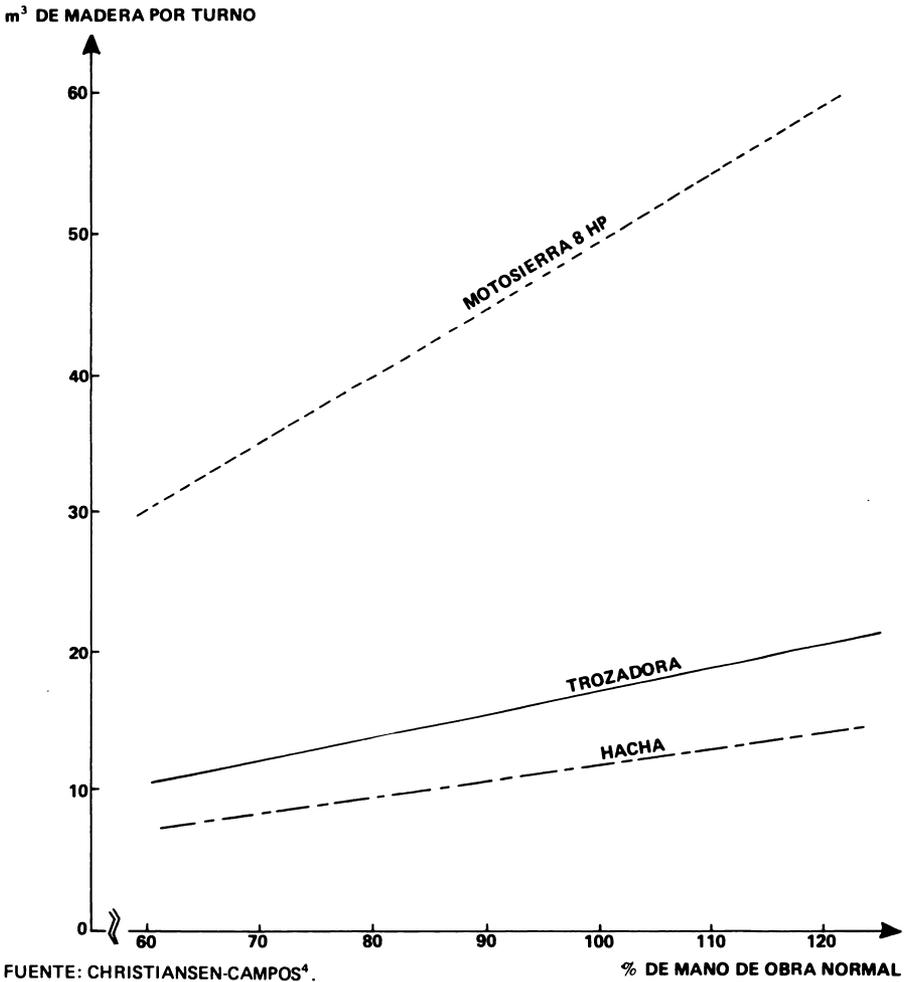


Fig. 54. Rendimientos por turno de 8 horas para tres métodos en el corte y trozado de árboles (bosque tropical, d.a.p. 20-25 pulgadas) en relación a la eficiencia de la mano de obra.

La introducción de la motosierra en el apeo ha reducido considerablemente la influencia del tamaño del árbol en el consumo de tiempo y en los costos, especialmente para árboles grandes.

La variación de rendimientos y costos para el transporte menor cuando varía el d.a.p. depende mucho del método de transporte, la organización y la planificación para este transporte. Si se va a cargar,

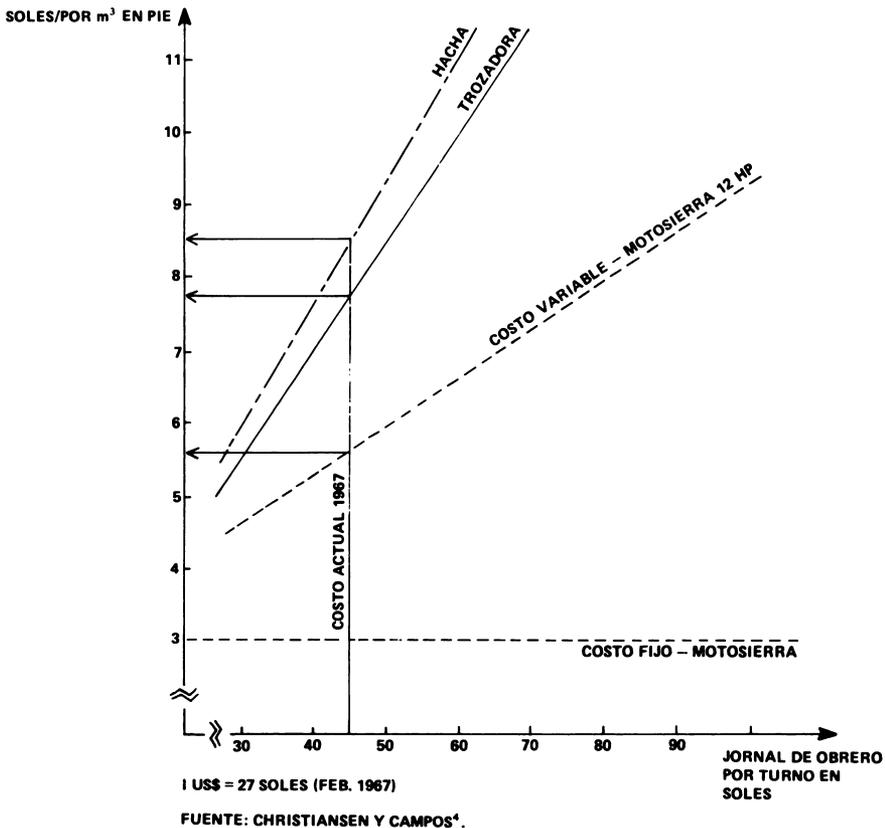


Fig. 55. Costos por m^3 de madera para tres métodos en el corte y trozado de árboles (dap 20–25 pulgadas) cuando varía el valor de mano de obra.

por ejemplo, trozas en un trailer, aumenta considerablemente el rendimiento con el diámetro de las trozas hasta cierto límite, dependiendo del método de carga; pero si se va a organizar las trozas en pilas de un tamaño adecuado para el método de carga influye muy poco el diámetro en la producción.

El descortezado es otra operación en la que el diámetro influye notablemente en el rendimiento. La corteza en m^2 está relacionada con el volumen de madera como 4 al diámetro (aproximadamente). Normalmente la producción (descortezado) en m^2 de corteza por unidad de tiempo aumenta un poco con el diámetro. La Fig. 56 muestra teóricamente lo dicho, y en la Fig. 57 se presenta los costos relativos para descortezar madera con tres métodos distintos según estudios en Suecia.

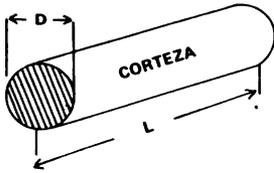
5.2.2 Volumen aprovechable por hectárea

La densidad de madera o el volumen de madera aprovechable por hectárea influye en los costos de planificación, apeo y transporte menor, debido a que al aumentar el volumen de madera aprovechable por hectárea disminuyen los costos calculados por volumen para mover personal, herramientas y equipo de un árbol a otro. También disminuyen los costos para reunir y apilar la madera cortada en el transporte menor.

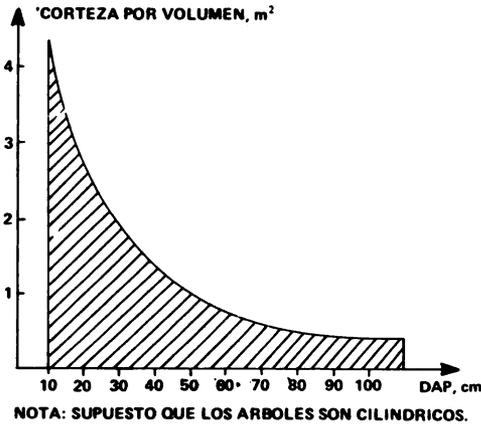
Además, una densidad alta de madera por hectárea justifica económicamente una red de caminos más densa y de mejor calidad con el fin de reducir costos tanto para el transporte menor como para el mayor.

La densidad de madera por hectárea tiene una importancia decisiva cuando se planea utilizar métodos de transporte menor con equipo que requiere costos altos de instalación (sistema *Wyssen*, sistema *High Lead* con equipo pesado, como se usa en la costa pacífica de Estados Unidos, globos, otros).

Lo dicho es un problema en los bosques tropicales, donde normalmente la densidad de madera comercial por hectárea es muy baja ($10-70 m^3$ en América Latina), y el volumen es repartido entre varias especies. De este análisis se deduce que para hacer más económico el



$$\frac{\text{CORTEZA}}{\text{VOLUMEN DE MADERA}} = \frac{D \pi L}{\frac{D^2 \pi L}{4}} = \frac{4}{D}$$



Teóricamente sigue la curva del rendimiento para descortezado la curva de corteza por volumen. Sin embargo, en la práctica la producción en m² de la corteza por unidad de tiempo aumenta cuando aumenta el d.a.p. a cierto grado.

Fig. 56. La influencia del dap en el descortezado.

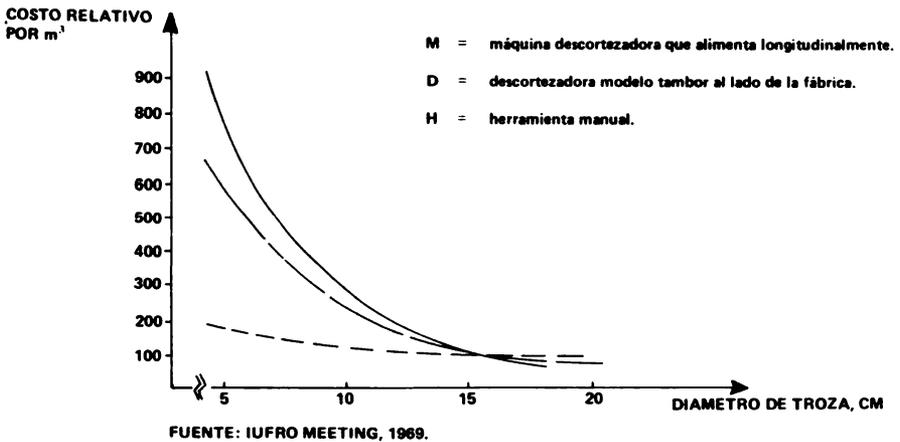


Fig. 57. Costos para descortezado cuando varía el tamaño de las trozas.

aprovechamiento de los bosques tropicales se debe tender hacia el manejo de plantaciones que garanticen suficiente madera por hectárea en cada entresaca y preferiblemente dejando el mayor porcentaje posible de la producción para la corta final.

Las operaciones que influyen más en los costos cuando varía el volumen de madera cortada por hectárea son apeo y transporte menor.

5.2.3 Tamaño del área aprovechable

Dentro de una concesión o un área de explotación forestal hay que construir campamentos, caminos de transporte para personal, equipos y alimentos, organización de suministros y otros, lo cual debe durar hasta el fin de las operaciones dentro del área. Estos costos son fijos y calculados por volumen de madera disminuyen cuando aumenta el tamaño del área.

Otro efecto que influye en los costos cuando aumenta el área aprovechable es la experiencia, ya que el rendimiento por hombre hora va a aumentar sucesivamente cuando continúa un trabajo en el mismo lugar (hasta cierto límite de tiempo). Esto depende probablemente de que los obreros mejoran su producción cuando conocen en su área cada vez más el terreno, el tamaño de los árboles, las especies, entre otros.

5.2.4 La uniformidad del trabajo y la utilización de la maquinaria

El capital invertido en adiestramiento de obreros, maquinaria, disposiciones de campamentos, y otros, para llevar a cabo las operaciones de transporte de madera retribuye beneficios y cuanto más se les use para producir tanto más aumenta la ganancia porque disminuyen los costos calculados por unidad de madera producida.

Por lo tanto el costo por unidad para realizar un cierto trabajo depende esencialmente del rendimiento y del uso anual del capital invertido.

Se puede mejorar la economía de una máquina al utilizarla cuanto más sea posible durante el año; existen hoy máquinas que se deben utilizar 2 a 3 turnos por día, para justificarlas económicamente.

El ingreso de un turno mecanizado es directamente proporcional al rendimiento. Esto se ilustra en las Figs. 58 y 59, que da un ejemplo del uso de una máquina 100 y 200 días por año respectivamente. Obsérvese las variaciones del rendimiento: la Fig. 58a muestra el costo para una máquina por m^3 de madera transportada cuando varía el rendimiento y bajo un uso de la máquina de 100 a 200 días por año respectivamente. Estos datos pueden ser traducidos a otro diagrama (ver Fig. 59) donde el costo o ingreso por turno está en función del rendimiento.

Si por ejemplo se usa la máquina 200 turnos por año y el rendimiento promedio es $50 m^3$ por día, la operación resulta en una ganancia de \$ 6 por turno (la diferencia entre la curva de ingreso y la curva de costo).

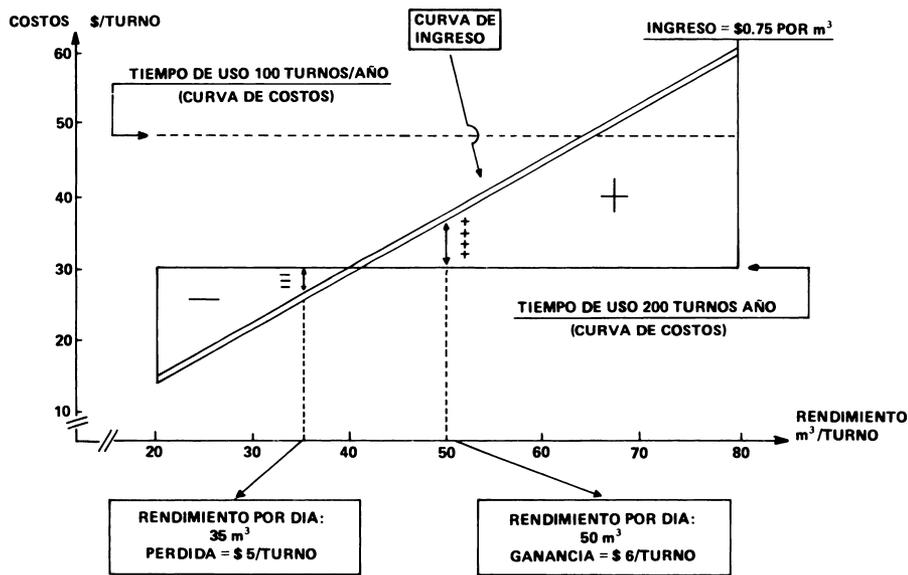
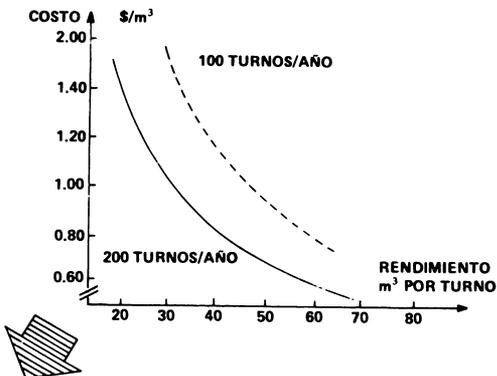
En este aspecto es importante, antes de la inversión en una máquina, calcular su producción máxima supuesta, el mejor uso y el mejor rendimiento por año; después se debe comparar esta producción anual, por ejemplo, en volumen de madera con la producción planificada o factible. Si esta producción es limitada a un cierto volumen conocido por falta de madera, se debe invertir en una máquina que completamente utilizada pueda hacer un trabajo que corresponda a dicha producción.

Para justificar la inversión en una máquina se debe procurar:

- a. alto grado de utilización
- b. alto rendimiento.

Entre distintos trabajos para la misma máquina, ésta debe usarse donde se obtenga la entrada más alta por encima de los costos variables de operación. Si esta entrada no cubre plenamente los costos fijos cada año, y sin embargo da una cuota, se debe de todos modos utilizar la máquina. Si no la pérdida va a aumentar, lo que quiere decir que es preferible elegir una cuota pequeña que absolutamente nada.

El costo adicional al utilizar una máquina un turno o algunos turnos más, incluye costo variable más una cuota que cubre el desgaste, el cual disminuye el valor actual de la máquina. Este costo marginal es más bajo que aquel costo medio, el que se ha calculado para el año entero de trabajo.



FUENTE: CHRISTIANSEN ANAYA³.

Figs. 58-59. Estas figuras ilustran que el valor de un turno con una máquina es directamente proporcional al rendimiento.

5.2.5 La distancia de transporte

La distancia de transporte es un factor o variable que tiene un impacto decisivo en el rendimiento. Los costos para trasladar personal, equipo y combustible aumentan casi proporcionalmente a la distancia del transporte. La distancia afecta principalmente a los costos de transporte menor y transporte mayor.

Si se indica los costos totales por la letra C , los costos por unidad de distancia con y , los costos por unidad de volumen de madera con c , la distancia de transporte con d , el costo constante fijo con k y la cantidad de madera transportable con Q , se puede expresar el valor de los costos totales por la fórmula:

$$C = Q(k + cd)$$

esto es, que los costos totales del transporte son una función directa de la distancia, o sea:

$$C = f(d)$$

Se puede utilizar la siguiente terminología para los costos de transporte (Sundberg⁸):

COSTOS DE TRANSPORTE POR VOLUMEN

	Abreviatura
a. Costos directos para el transporte:	
1) costos de traslado (costos para trasladar madera entre dos puntos);	dctr
2) costos terminales (costos para carga y descarga);	dct
3) pérdidas de madera (se refiere a las pérdidas por flotación o por daños mecánicos o biológicos durante el transporte)	dp

b. Costos indirectos para el transporte:	Abreviatura
1) costos para las vías de transporte (costos indirectos para trasladar madera);	ictr
2) costos para establecer los sitios terminales.	ict

COSTOS GENERALES PARA EL TRANSPORTE

- a. administración, dirección de la obra, otros;
- b. construcciones, garages e instalaciones para reparación y mantenimiento (costos que no están en función directa a la distancia).

Según esta nomenclatura, los costos variables en función de la distancia son *dctr* e *ictr*, los cuales dependen de la distancia de transporte, y los costos fijos son *dct* e *ict*, los que no varían con la distancia de transporte.

Ejemplo 2:

Para la elección entre distancias alternativas de transporte es necesario tener en cuenta lo hasta aquí analizado. Un método B, por ejemplo, requiere una buena línea de transporte (*ictr*), costos altos para cargar y descargar (*dctr*), mientras que otro método A requiere un costo para vías muy bajo (*ictr*), costos bajos para cargar y descargar (*dct*), pero costos altos para trasladar la madera (ver Fig. 60). Suponiendo que el método A corresponde a un transporte por camión y el método B corresponde al transporte menor con tractor de orugas, es factible combinar estos dos métodos de tal manera que reduzca la suma de los costos de los dos métodos. Para hacer esto es necesario conocer los siguientes factores:

- 1) costo por hora para A y B,
- 2) volumen promedio de carga para cada método,
- 3) velocidad promedio con y sin carga para A y B,
- 4) tiempo necesario de carga y descarga para A y B,
- 5) costos de camino o vía por unidad de longitud para ambos métodos.

En este ejemplo se supone que las condiciones (por ejemplo las pendientes, el suelo y la precipitación) permiten la construcción de

caminos. En muchas regiones de América Latina, por ejemplo en los bosques tropicales de Colombia, no es factible construir caminos para transporte forestal con camiones. Las condiciones son muy difíciles precipitación alta, a menudo pendientes fuertes y suelos arcillosos, además escasez de material grueso para hacer dicha construcción. Por eso, en estas zonas generalmente se transporta la madera rolliza desde el tocón directamente hasta la orilla de los ríos y en consecuencia los costos de transporte menor aumentan con la distancia a los ríos hasta un cierto límite donde no se justifica económicamente aprovechar el bosque con los métodos existentes. A este respecto la distancia es el factor que influye más en que todavía existan grandes áreas de bosques no económicamente aprovechables; la Fig. 61 muestra esquemáticamente esta situación. Para el futuro es necesario investigar métodos de transporte que no necesiten caminos y además originen costos variables muy bajos ($dctr$ e $ictr$) para poder utilizar económicamente áreas más grandes en los bosques tropicales.

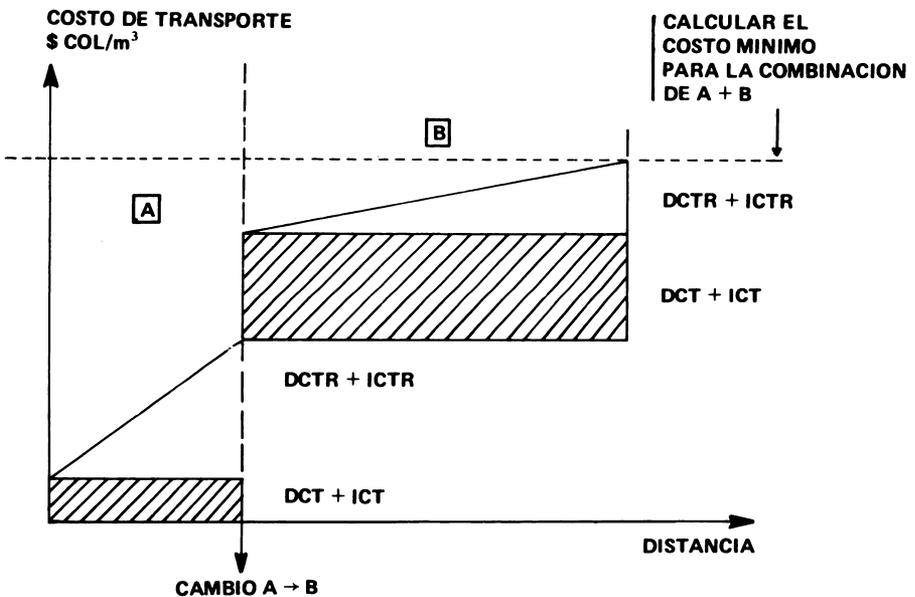


Fig. 60. Combinación óptima de dos métodos de transporte según el ejemplo 7.

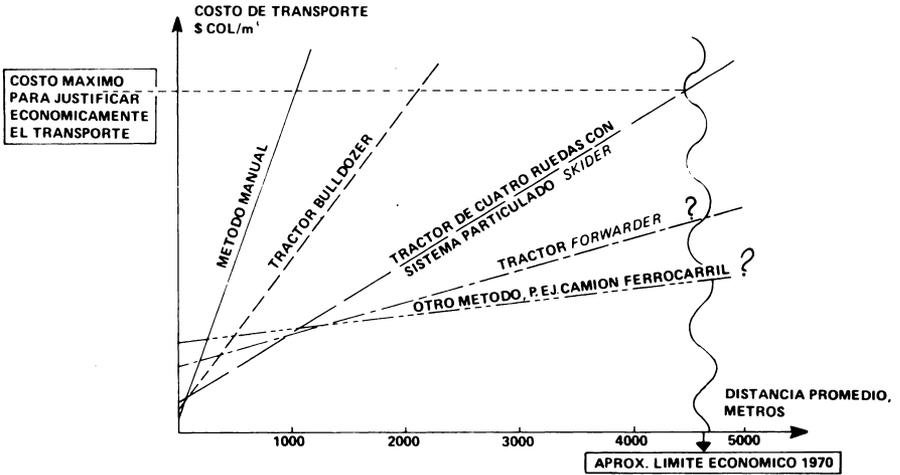


Fig. 61. El problema principal para el transporte menor en los bosques tropicales, en Colombia.

5.3 RENDIMIENTOS Y COSTOS EN TRANSPORTE DE MADERA EN BOSQUES TROPICALES

En los países tropicales hay todavía muy pocos datos sobre el rendimiento de los varios medios técnicos en uso. Sin embargo, durante los últimos años se ha publicado algunos estudios hechos principalmente en Gabón, Africa, en India (varias investigaciones cortas) y otros realizados por FAO. Esta organización realizó un estudio mundial, en 1967-1968 sobre *Logging and Transport in Tropical High Forest*, el cual incluyó 17 países tropicales con visitas a más de 200 áreas de aprovechamiento forestal. Este trabajo, publicado por Bendz-Järholm¹ en 1970 presenta nomogramas interesantes de rendimiento para distintas fases en la cadena de transporte de madera rolliza. Los nomogramas son de carácter general y por ello no deben ser aplicados en un área limitada o para una cierta empresa sin hacer correcciones o modificaciones a los datos concernientes al bosque considerado. Si no hay datos locales estos nomogramas pueden dar una idea o servir de base aproximada en la planificación o para decisiones de inversión, entre otros.

5.3.1 Operaciones de apeo

Condiciones

Los bosques tropicales vírgenes tienen características peculiares, comparados con los bosques cultivados, que influyen marcadamente en el método y en el rendimiento de apeo y transporte. Principales características:

- árboles grandes con un d.a.p. promedio entre 70 a 150 cm, las trozas tienen normalmente un diámetro de 50 a 100 cm. Muchas especies tienen “aletas de apoyo”, lo cual complica tanto la planificación como el corte;
- el fuste o la parte comercial del árbol representa a veces menor del 50 % de la altura total. Normalmente se corta el fuste donde comienzan las ramas grandes;
- la densidad de madera por hectárea es baja. En la región pacífica de Colombia, el volumen comercial (1970) medio por hectárea oscila entre 30 y 70 m³ en pie con algunas excepciones, por ejemplo en los bosques de Cativos (80-140 m³);

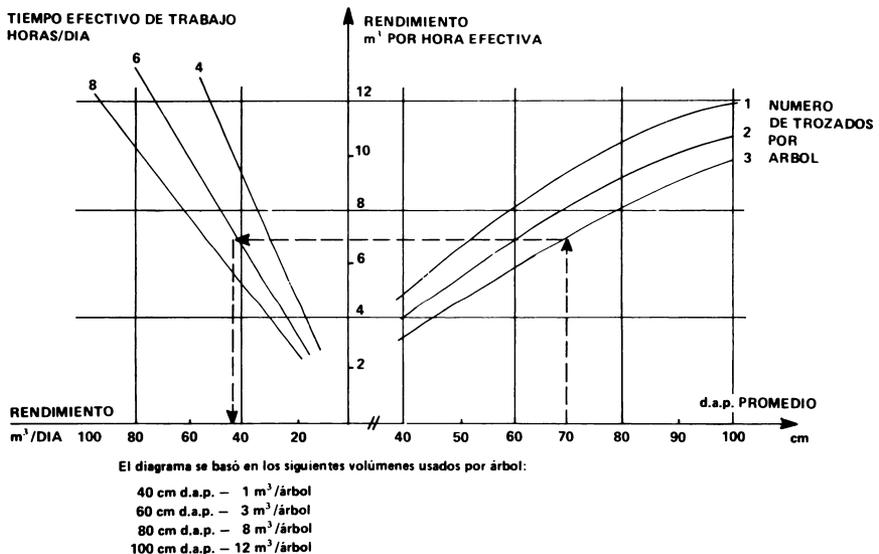


Fig. 62. Gráfica sobre el rendimiento de corte y troceo con motosierra en el Bosque tropical (1 operador + 1 ayudante).

CUADRO No. 7. Operaciones de apeo alrededor del tocón.

Método	Rendimiento normal en m ³ por día	Tamaño de cuadrilla
Hacha	3 – 7	1 obrero
Motosierra de dos operadores	11 – 17	2 operadores
Motosierra	25 – 60	1 operador + 1 ayudante

Comentarios: se debe utilizar los siguientes factores de corrección en cuanto varían las condiciones del rodal y del terreno.

Terreno difícil	– 0.9 – 0.6	dependiente del tipo y los daños de los árboles
Terreno normal	– 1.2 – 0.8	dependiente del tipo y los daños de los árboles
Terreno fácil	– 1.5 – 1.0	dependiente del tipo y los daños de los árboles

Fuente: Estudio de FAO 1967.

- d. existen muchos obstáculos para el trabajo de apeo. El suelo está cubierto de maleza, los bejucos impiden a menudo la caída de los árboles y especialmente afectan la dirección de caída; insectos y serpientes causan interrupción en el trabajo, tiempo perdido que muchas veces debe ser incluido en el cálculo y que afecta el rendimiento (Christiansen y Campos⁴).

En los últimos años la motosierra ha empezado a reemplazar a las herramientas manuales en el apeo (el corte y el troceo) en los países tropicales; varios estudios han mostrado que el apeo con motosierra es más económico (si se usa personal adiestrado) que el apeo con hacha y trozadora, a pesar de que los jornales sean bajos (ver Fig. 56).

Rendimiento

La Fig. 62 presenta el rendimiento por hora o día en el corte y el troceo con motosierra de un hombre (un operador más un ayudante). Los factores seleccionados son: el diámetro del árbol a la altura del corte o a la altura del pecho (d.a.p. para los árboles sin aletas), el volumen promedio utilizado por árbol, el número de trozas por árbol y el número de horas efectivas de trabajo por turno.

Si por ejemplo se va a cortar un árbol con d.a.p. de 70 cm y el fuste va a ser dividido en tres trozas, el rendimiento resulta aproximadamente en 7 m³ por hora efectiva ó 42 m³ por turno, si el tiempo efectivo por turno es 6 horas.

El Cuadro No. 7 según la Fig. 62 da una información concentrada (de acuerdo con el mismo estudio) sobre métodos y rendimientos en el apeo y troceo bajo condiciones normales en el bosque tropical. Se ha añadido unos factores de corrección para la variación en el tipo y grado de daños de los árboles y para la variación en el tipo de terreno.

5.3.2 Operaciones de transporte menor

En el transporte menor, es decir el transporte del tocón a un depósito a la orilla de un río o de un camino, se usa normalmente tractores de arrastre (tractor de oruga y tractores de cuatro ruedas grandes con sistema articulado para dirección) en el bosque tropical. En distancias muy cortas (100-500 metros) es más económico usar el tractor de oruga. Si el terreno es poco ondulado y los suelos son firmes, el tractor de ruedas es una alternativa más adecuada, especialmente en distancias superiores a 500 metros. No obstante, una combinación de los dos tipos de tractores es más común todavía en los países tropicales, y en este caso es muy importante combinar las máquinas de tal manera que se llegue a un rendimiento óptimo.

En Colombia, donde las condiciones son muy difíciles, se transporta la madera usando esta combinación de máquinas, es decir el tractor de oruga saca el fuste o las trozas desde el tocón a un depósito interior y después continúa el transporte por medio de tractores de ruedas que pueden trasladarse a una velocidad más alta, pero que en cambio necesitan una vía de arrastre para alcanzar tal velocidad.

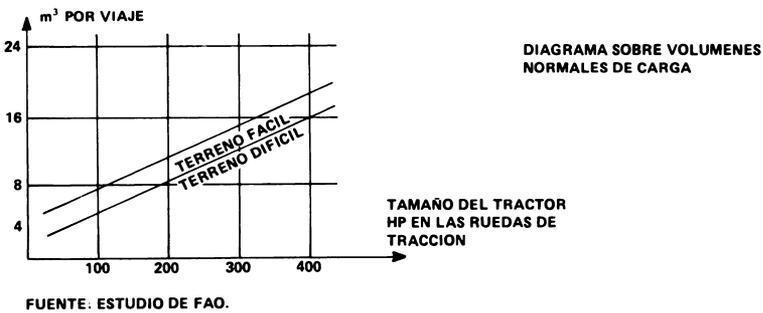
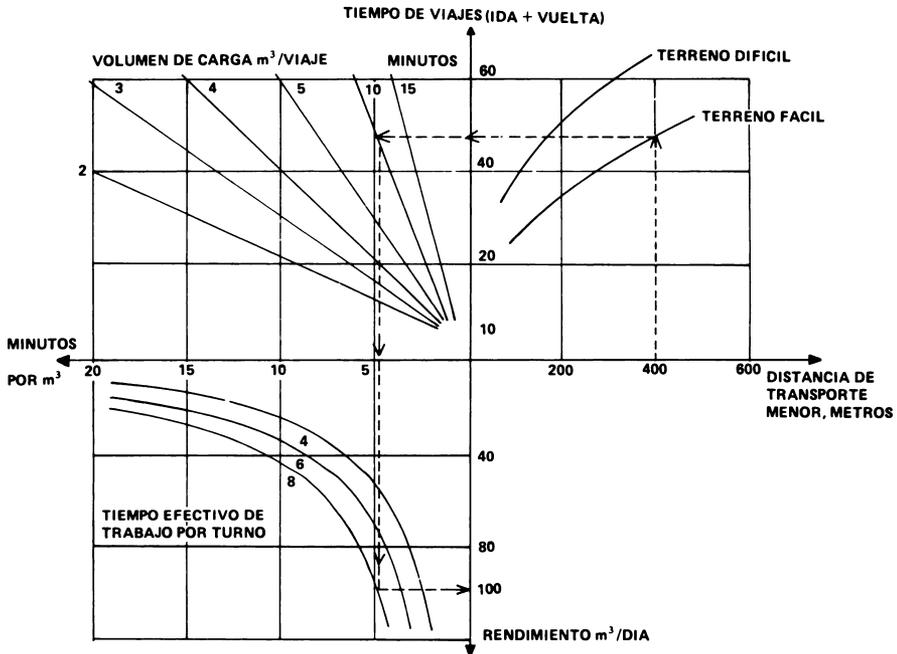


Fig. 63. Gráfica sobre el rendimiento de arrastre con un tractor topador tipo Bulldozer bajo condiciones tropicales.

Rendimiento del tractor de oruga

La Fig. 63 muestra el rendimiento en el transporte menor con tractores de oruga en el bosque tropical. La gráfica se refiere a la producción por turno efectivo de trabajo en la estación seca. Durante la lluvia el rendimiento baja considerablemente comparado con los datos del gráfico; los siguientes datos de producción por turno efectivo pueden dar una idea más precisa sobre lo indicado:

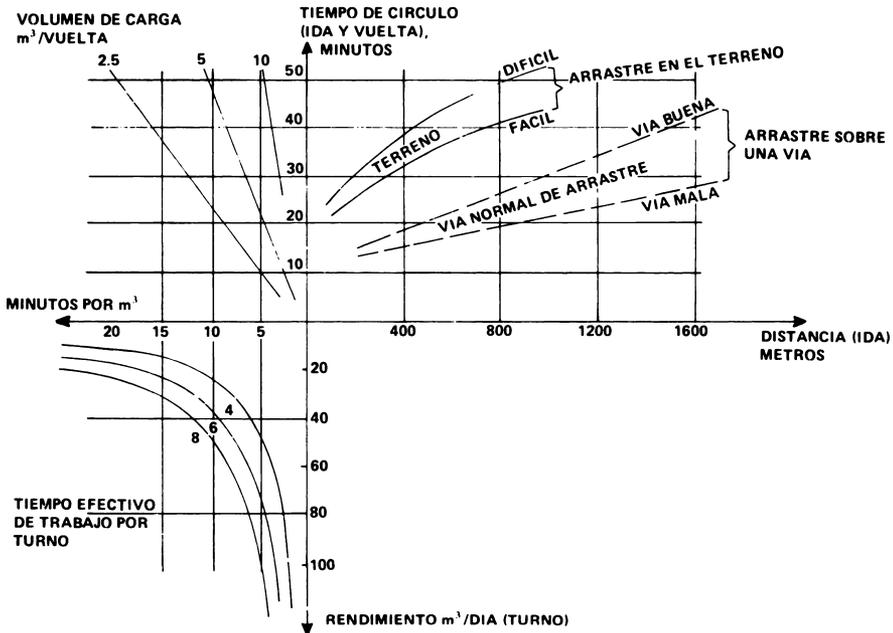
Producción por día efectivo en la estación favorable (seca)	45 m ³
Producción por día efectivo en la estación desfavorable (lluviosa)	30 m ³

Esta información se basa en datos tomados de tractores tipo CAT D7 e indican que el rendimiento por día en la época de alta precipitación es aproximadamente 70 % del rendimiento durante la época seca.

La experiencia muestra también que en el ambiente tropical se pierde muchos días efectivos por estancamientos (reparaciones, mantenimiento, mal tiempo, espera, otros) y por eso se usa un tractor solamente de 50-70 % de los días disponibles; se estima un promedio de 250 días por año. Si la distancia de transporte (ida) es 400 metros, el terreno es fácil y el volumen medio de carga 10 m³ por viaje, el rendimiento resulta en 5 minutos por m³, o casi 100 m³ por día, si el tiempo efectivo de trabajo por turno es 8 horas. La Fig. 63 da una idea sobre los volúmenes típicos de la carga por viaje, cuando varía el tamaño del tractor de oruga.

Rendimiento de un tractor de ruedas con doble tracción y sistema articulado (*Whell skidder*).

Las ventajas de estos tipos de tractores son: fáciles de maniobrar, velocidad alta e inversión baja comparadas con el tractor de oruga del mismo tamaño. Las desventajas son: menos fuerza de tiro y menos posibilidad de agarre en el suelo en comparación con el tractor de oruga. La Fig. 64 ilustra el rendimiento de un tractor de rueda con doble tracción (arrastador). Hay dos tipos distintos de operación incluidos en la figura:



Comentario: Una carga consiste normalmente de una troza; el volumen de carga depende del tamaño de las trozas pero no excede 8 toneladas (10 - 12 m³).

FUENTE: ESTUDIO DE FAO¹.

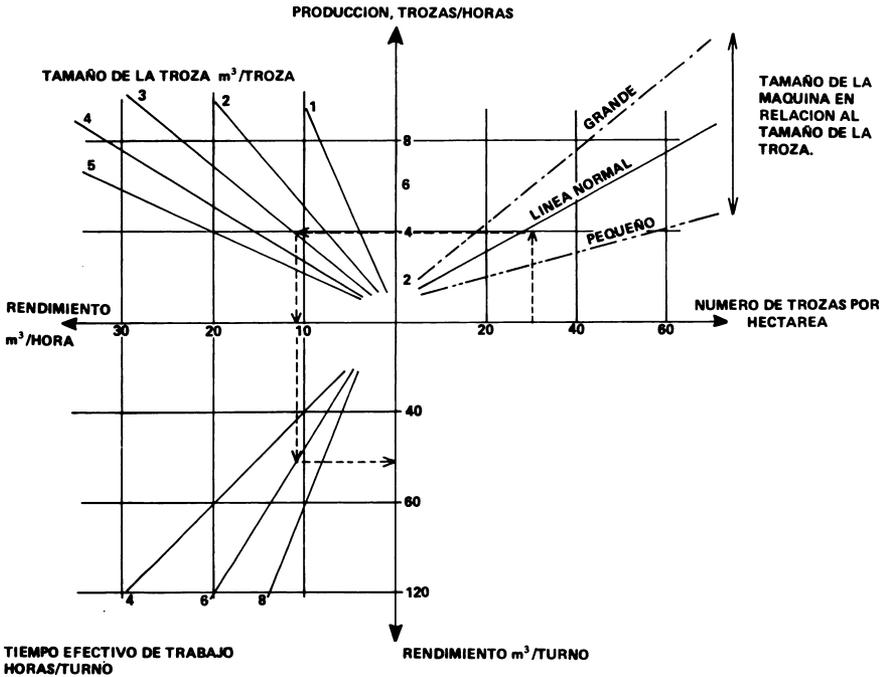
Fig. 64. Gráfica sobre arrastre con tractor de ruedas de doble tracción y sistema articulado de dirección bajo condiciones tropicales.

- a. arrastre sin vía o directamente sobre el terreno natural;
- b. arrastre sobre una vía preparada, que indica que se usa tractor de oruga para sacar la madera del tocón hasta esta vías.

Sobre el eje horizontal a la izquierda se puede leer el rendimiento en tiempo efectivo por m³, que incluye el carguío, el descarguío, el traslado con y sin madera. Si se sabe o estima el tiempo efectivo de trabajo por día se puede leer la producción en m³ por día en el eje vertical.

Rendimiento de un sistema de cables

Entre los sistemas de cables existentes, *High Lead* es común en el bosque tropical. Este sistema se justifica económicamente sólo en terrenos muy pendientes o en terrenos muy pantanosos, donde existe un gran volumen de madera comercial por hectárea. El método se usa para distancias cortas (100-500 metros) y es muy común en el suroeste de Asia; en Colombia se usa en terreno pantanoso. La organización de un sistema *High Lead* en el bosque tropical consiste normalmente de 16 obreros más un capataz, pero esta organización puede variar mucho de un lugar a otro dependiendo de las condiciones, el grado de técnica utilizado, el adiestramiento del personal, entre otros.



Comentarios: 1. El rendimiento en la gráfica incluye la instalación del sistema.

2. En la gráfica existe una "línea normal", que se basa en un rendimiento bajo condiciones normales. Sin embargo, en la realidad hay una divulgación grande alrededor de esta línea como se indica en la gráfica.

FUENTE: ESTUDIO DE FAO 67-68.

Fig. 65. Transporte menor con cable — Sistema *High lead*.

La Fig. 65 muestra el rendimiento para el sistema *High Lead*. Los siguientes factores influyen considerablemente en la producción:

- a. tamaño de trozas;
- b. tiempo efectivo de trabajo por turno;
- c. tamaño de la maquinaria (*varder*) comparado con el tamaño de las trozas.

El volumen de madera por hectárea (número de trozas x el tamaño de las trozas) es un factor muy importante porque indica la producción de madera por cada instalación del sistema *High Lead*. Cada instalación cubre un área de 3-5 hectáreas y cuando aumenta el volumen por hectárea aumenta el rendimiento por instalación. Se necesita entre 2 y 6 horas para instalar el sistema dependiendo de las condiciones, del personal y otros.

El rendimiento calculado según la figura está basado en datos bajo condiciones normales. Como muestra la figura, existe una gran variación en la producción. En el eje vertical se puede leer el número de trozas transportadas por hora; estimando el tamaño medio de la troza y el tiempo efectivo de trabajo por día, se puede leer el rendimiento en m^3 transportado por turno. En el rendimiento está incluido el tiempo para instalar el sistema.



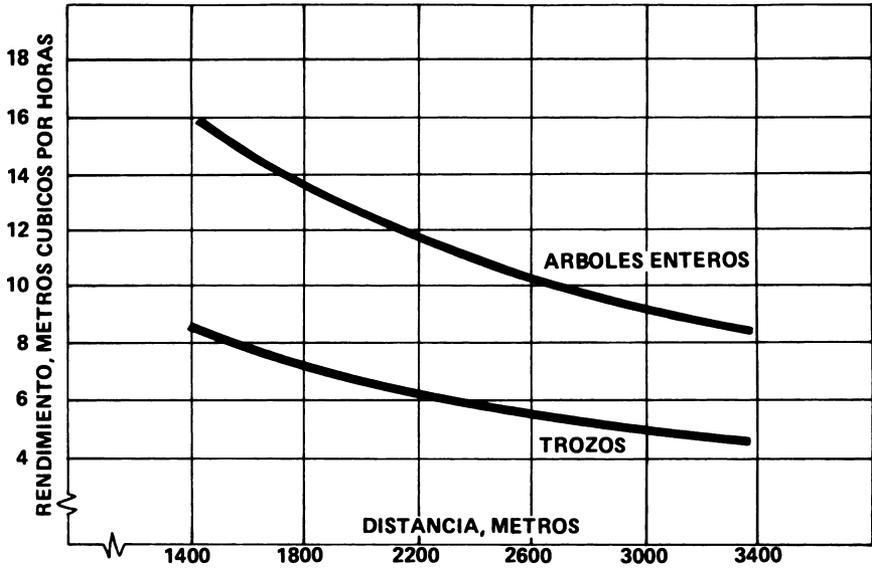
Fig. 66. La mecanización en el apeo disminuye las pérdidas de madera, aumenta el rendimiento y baja los costos de producción. (Foto P. Christiansen).



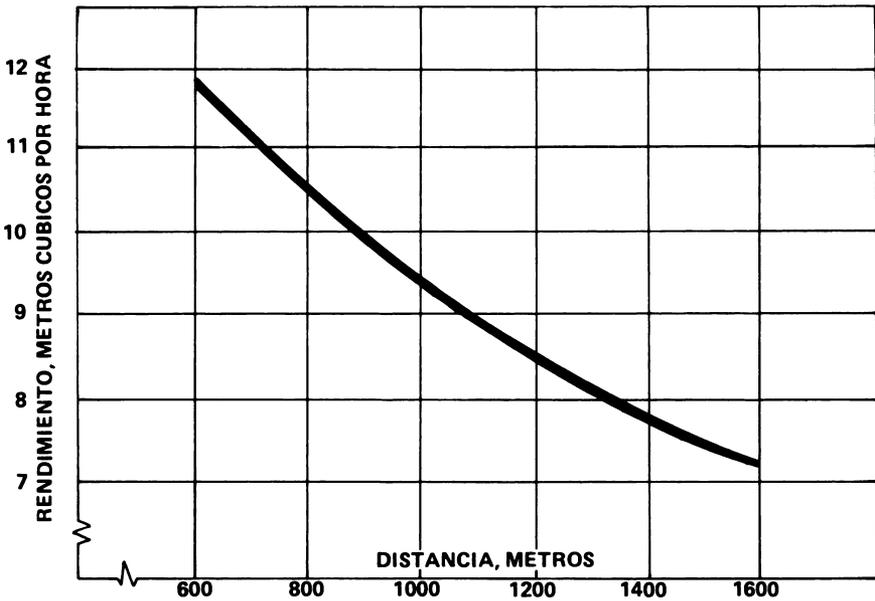
Fig. 67. El DAP, volumen por hectárea, y tamaño de las trozas influyen significativamente en la producción y costos de aprovechamiento.



Fig. 68. El transporte forestal por agua es fundamental en los bosques húmedos tropicales.



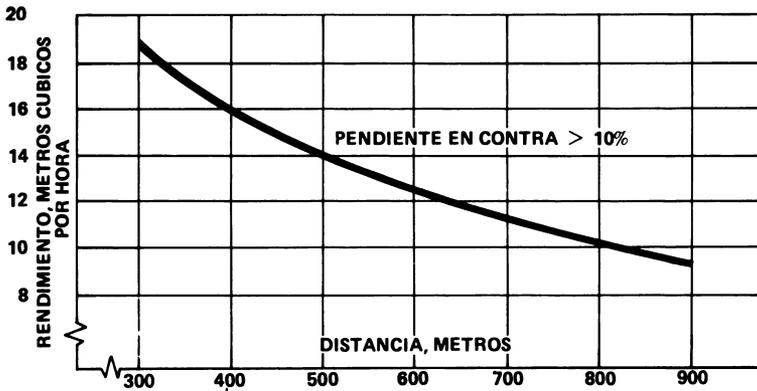
a) Fundo "Arquilue". Provincia de Valdivia.



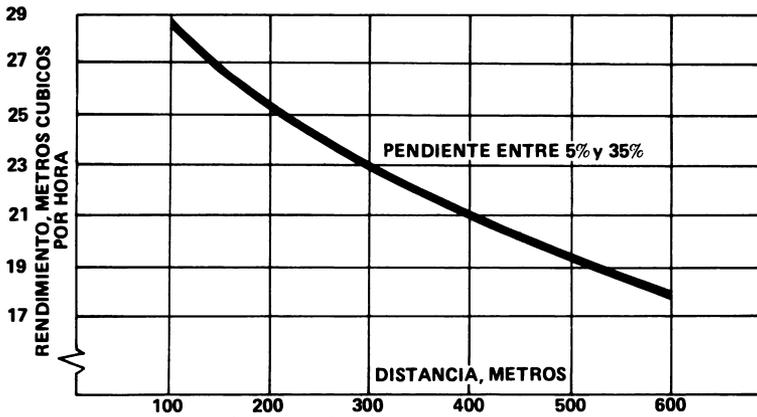
b) Fundo "Monte Alto". Provincia de Magallanes.

FUENTE: GUELL ⁷.

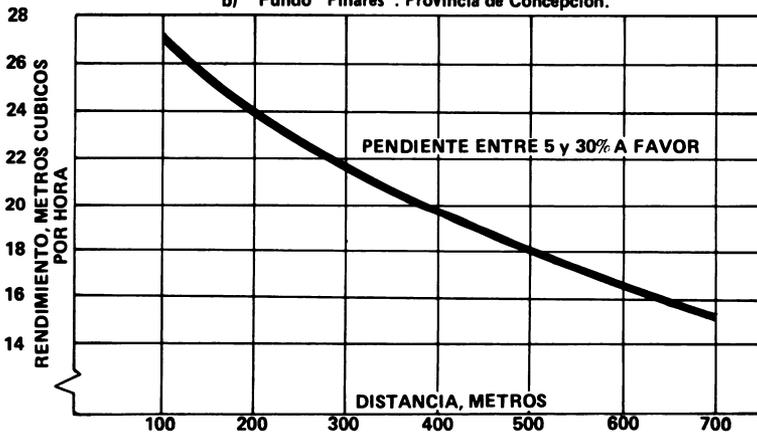
Fig. 69. Rendimiento de transporte con tractores forestales articulados en bosque nativo en dos fundos de Chile.



a) Fundo "La Araucana". Provincia de Arauco.



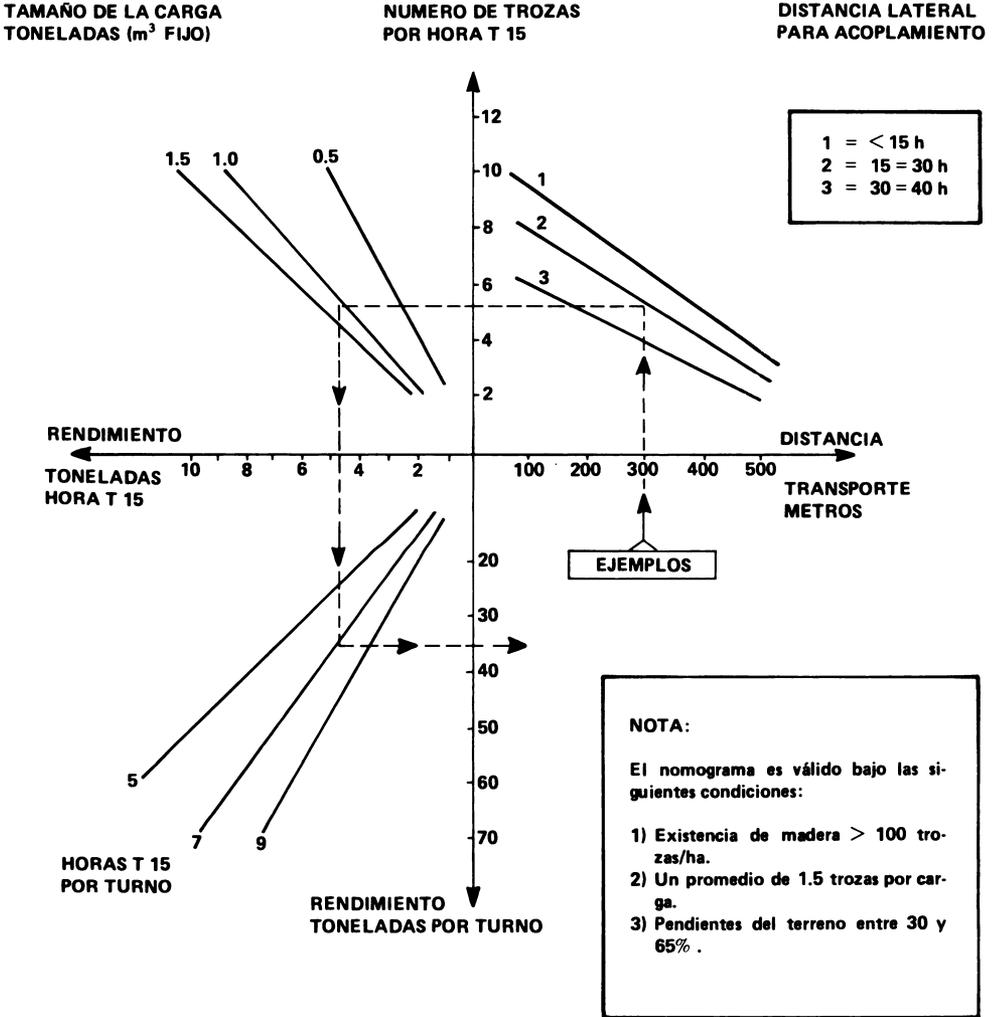
b) Fundo "Pinares". Provincia de Concepción.



c) Fundo "Pishuenco". Valdivia.

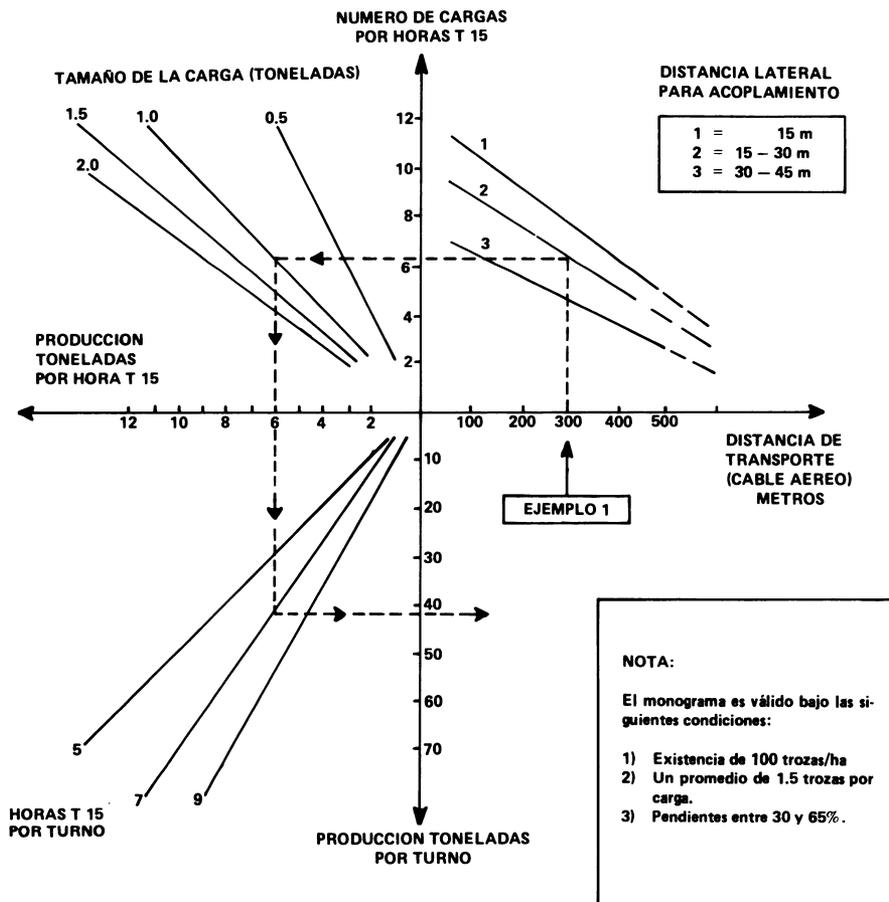
FUENTE: GUELL⁷.

Fig. 70. Rendimiento de transporte de árboles enteros con tractores forestales articulados en plantaciones de pino insigne en tres fundos de Chile.



FUENTE. FAO. FORTALECIMIENTO DEL SECTOR FORESTAL⁶.

Fig. 71. Rendimiento en transporte hacia arriba del sistema cable áreo *High land Trailer Alp* en bosque de coníferas, finca nacional San Jerónimo, Departamento de Baja Verapaz, Guatemala.



FUENTE. FAO. FORTALECIMIENTO DEL SECTOR FORESTAL⁶.

Fig. 72. Rendimiento en transporte hacia abajo del sistema cable aéreo *High Land Trailer Alp* en bosque de coníferas, finca nacional San Jerónimo, Departamento de Baja Verapaz, Guatemala.

BIBLIOGRAFIA

1. BENDZ, M. y HARBHOLM, A. Logging and transport in tropical high forests. Roma, Italy, 1970. 97 p.
2. CHRISTIANSEN, P. y ANAYA, H. Transporte Forestal con tractores. Medellín, Colombia. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional. 1971. 141 p.
3. _____ y _____. Análisis de costos en transporte forestal. Medellín, Colombia, Centro de Publicaciones, Universidad Nacional, 1973. 235 p.
4. _____, y CAMPOS, R. Estudio comparativo de tres métodos en el corte y troceo de árboles con relación al grado de dureza. Lima-Perú. Revista Forestal del Perú. 1(2):18. 1967.
5. FAO/SIDA. El transporte de la madera en países de América Latina. México, 1975. 451 p.
6. _____. Fortalecimiento del sector forestal, Guatemala, 1977. 42 p.
7. GUEL, F. Informe técnico 40. Anle, Instituto Forestal, 1972. 40 p.
8. LONNER, G. A system for short-term planning of logging, Storing and transportation of wood. Estocolmo, Suecia. Logging Research Foundation, 1968. 110 p.

9. LUSSIER, L.J. Planning and control of logging operations. Quebec, Canadá. Laval University Research Foundation, 1961. 135 p.

10. SUNDBERG, U. Skogsteknisk Driftsekonomi (Análisis económicos en el Aprovechamiento forestal) Parte II. Estocolmo, Suecia. The Royal University of Forestry, 1966. 170 p.

CAPITULO 6

ANALISIS DE MODELOS

6.1 ANALISIS DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO

Para definir el método adecuado de aprovechamiento forestal bajo condiciones conocidas es necesario analizar primero las diversas operaciones que forman la cadena del transporte desde el tocón hasta el lugar de venta o procesado. Tal estudio para determinar el sistema de transporte puede ser denominado **análisis del sistema**, y tiene por objeto fundamental eliminar en cuanto sea posible los costos terminales.

Se puede racionalizar el trabajo de un sistema de transporte eliminando un eslabón en la cadena; en este caso se acoplan las dos operaciones o eslabones de transporte localizadas a ambos lados de la operación eliminada, suprimiendo los costos terminales.

Esta eliminación se justifica económicamente cuando los costos terminales que se quiere eliminar son superiores al encarecimiento causado por el aumento de los costos de las operaciones inmediatas, cuando se prolonga el transporte sobre la sección del camino considerado.

En el siguiente ejemplo se ilustra este tipo de cálculo.

Ejemplo 1

En una región de bosques tropicales se transporta madera rolliza con un tractor de ruedas a una distancia promedio de 2 km hasta un camino para camiones que termina en un río, por donde se transportará la madera hasta la fábrica. Según los datos dados se puede calcular hasta qué distancia es económicamente preferible seguir el transporte de madera con el tractor hasta el río, sin utilizar camiones, y también se puede calcular la distancia mínima necesaria para usar camiones (la Fig. 73 muestra ambas alternativas).

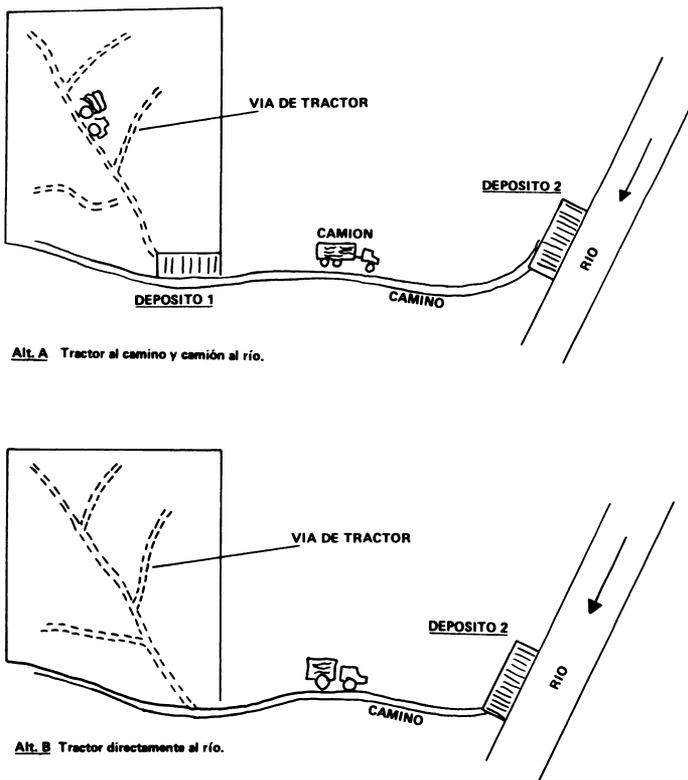


Fig. 73. Alternativas de transporte según el Ejemplo 1.

Si la diferencia de costos de la alternativa b con respecto a la alternativa a (distancia $d + x$) es muy pequeña, pq, puede ser más económico realizar otra inversión del capital asignado al camión y emplear la alternativa b.

Si la distancia del camino es $(d + x)$ km, se justifica económicamente elegir la alternativa a en caso de que haya camiones en la misma empresa o la posibilidad de conseguir contratistas. En cambio si la alternativa a implica la inversión en un camión, teóricamente se debe calcular la diferencia de costos entre las dos alternativas cuando la distancia es $(d + x)$ y después calcular la tasa interna de interés para dicha inversión. Si el capital es limitado y la tasa de interés comparativamente baja, la decisión posiblemente va a resultar en una elección de la alternativa b, y en consecuencia no se compraría el camión.

Cuando se defina el sistema de transporte es necesario planificar cada eslabón en la cadena de transporte con el objeto de obtener un costo total mínimo. Primero se tiene que determinar las distancias óptimas para cada actividad en la operación de transporte, o sea **fixar el espacio** entre las estaciones terminales de los distintos eslabones de la cadena.

Si el derrame de transporte va en una sola dirección, la cantidad de madera aumenta con la distancia en la dirección de transporte, dependiendo de la producción por área, y lógicamente disminuye hacia el tocón.

La segunda fase del análisis detallado consiste en fijar el tipo de línea de transporte (vía o camino) para cada operación, determinando la suma mínima de los costos directos e indirectos para la línea, más el costo para el traslado sobre la vía. Varios autores han tratado estos dos problemas de coordinación en la economía del transporte; el tratamiento analítico de ellos guarda gran consistencia entre los diferentes autores.

6.2 MODELOS TÍPICOS DE TRANSPORTE EN LA INDUSTRIA FORESTAL

Muchas veces se usa el análisis en modelos teóricos para describir o explicar un proceso. **Un modelo teórico es la representación de un proceso para hacer posible una predicción.**

De tal modelo se puede cuantificar aquellos factores y relaciones que influyen en el proceso; con el análisis de varianza se logra poner en claro la importancia de cada factor para la efectividad de dicho proceso.

En los análisis de transporte forestal se forman modelos de la realidad con el fin de simplificar el problema y hacer posible la consideración de más alternativas como bases para una mejor decisión; tales modelos se representan en función matemática con variables o factores de gran importancia, y para aplicarlos a un caso determinado en la práctica se puede convertir el modelo a un plano realista para el proceso considerado, introduciendo factores o coeficientes de modificación.

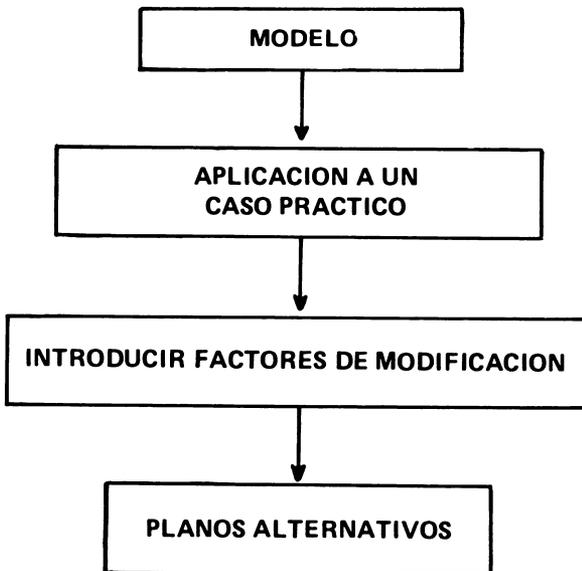


Fig. 75. Desarrollo del modelo.

Estos planos forman una buena base para la decisión sobre el proceso de acción. Desde el punto de vista de la estructura del modelo se puede distinguir los siguientes casos típicos para transporte (según Sundberg¹⁷):

- a. Lineares
- b. Estaciones en líneas
- c. Estaciones para áreas
- d. Red de caminos para la función de longitud y transversal
- e. Modelos de transporte más complejos y combinados con distintas clases de restricciones.

En este capítulo se discutirá algunos conceptos generales y ejemplos sobre estaciones para áreas, red de caminos para la función de longitud y transversal, y cálculos sobre clase óptima de caminos.

6.2.1 Estaciones para áreas. Ejemplo 2

La producción de un área en la industria forestal origina a menudo problemas de planificación, tales como ubicación de campamentos para obreros, taller para mantenimiento de maquinaria, patios intermedios para madera, estaciones para observar y controlar incendios, y otros.

El siguiente ejemplo ilustra un cálculo de modelo de estaciones para áreas cuando se planifica el aprovechamiento de un bosque tropical y se quiere saber la distancia óptima o más económica entre campamentos dentro de una concesión.

Los factores que influyen en tal problema son por una parte los costos originados cuando el personal camina, ida y regreso, entre el campamento y el bosque, costos que se incrementan cuando aumenta la distancia entre los campamentos. Por otra parte, se presentan costos en el traslado e instalación del campamento, los que calculados por unidad de madera (m^3) disminuyen cuando aumenta la distancia entre dos campamentos, ya que se distribuyen los costos sobre un volumen de madera cada vez más grande (ver Figs. 76 y 77).

De allí que el problema consista en buscar una **combinación óptima** de los costos para trasladar personal y mover campamentos.

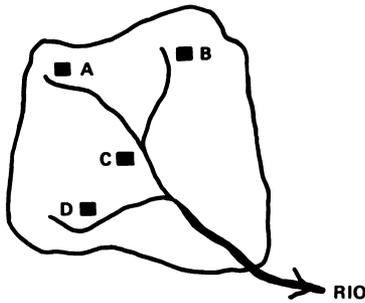


Fig. 76. Ejemplo 2.

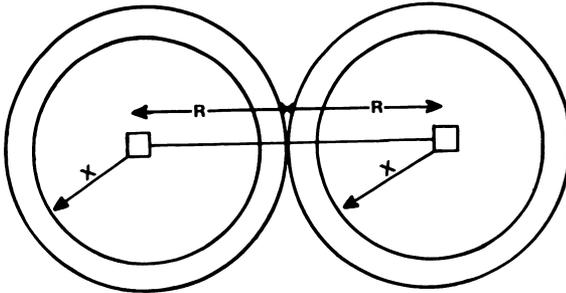


Fig. 77. Ejemplo 2.

Suponiendo que el área aprovechable para una estación o campamento tiene la forma de un círculo, y que el radio óptimo para esta área es \underline{R} centenares de metros. C_m es el costo para mover e instalar el campamento y \underline{V} es el volumen aprovechable por hectárea.

Entonces el costo por m^3 para mover el campamento de un lugar a otro será:

$$\frac{C_m}{\pi \times R^2 \times V} \text{ US\$/m}^3 \quad (1)$$

Suponiendo también que la distancia promedio, de ida y vuelta, que cada obrero debe caminar diariamente hasta que se haya aprovechado toda el área con el radio \underline{R} , corresponde al volumen de madera aprovechado, y que este volumen es repartido igualmente sobre el área, entonces la superficie (círculo) $\pi R^2 =$ a la superficie πx^2 multiplicada por 2.

$$\pi R^2 = 2 \pi x^2$$

$$x^2 = \frac{R^2}{2}; \quad x = R \sqrt{0.5} = \text{aprox. } 0.7R$$

Además se utiliza los siguientes símbolos:

- t = el tiempo en días para caminar 100 metros
 n = el número de obreros en el campamento
 s = salario por turno para un obrero

El costo de traslado resulta (ida y vuelta cada día):

$$2 x t x n x s x 0.7R; \quad (2a)$$

Si se supone también que un turno es h horas y que el rendimiento por obrero es $Q \text{ m}^3$ por hora, entonces se obtiene el número de días necesarios para aprovechar el área con el radio R utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Número de días} = \frac{\Pi R^2 V}{Q h (n-2t n 0.7R)} \quad (2b)$$

En consecuencia, el costo de traslado de personal (caminar) **por m^3** resulta:

$$\frac{(2a) \times (2b)}{V_{\text{total}}}$$

$$\frac{2 t.s.n. 0.7R \Pi R^2 V}{Q h (n-2tn 0.7R) \Pi R^2 V} = \frac{2 t.s. 0.7R}{Q h (1-2t 0.7R)} \quad (2)$$

Se llega al valor óptimo de R cuando la suma de los costos de las expresiones (1) y (2) sea el más bajo posible, es decir el mínimo del costo total por m^3 de madera aprovechable para cambiar el lugar del campamento y trasladar personal.

Para clarificar el procedimiento del cálculo supóngase que el personal consta de 25 obreros, cada uno con un salario de US\$ 4.00 por turno, que la velocidad para caminar es 100 metros por minuto y que los obreros tienen un rendimiento de 0.1 m^3 por hora.

El turno tiene 10 horas, incluido el tiempo para caminar ida y vuelta; el volumen aprovechable por hectárea 100 m^3 y el costo para mover el campamento es US\$ 300.00.

$$\text{Costo total} = (1) + (2) = \frac{C_m}{\pi R^2 V} + \frac{2 t.s. 0.7R}{Q h (1-2t 0.7R)}$$

Para ciertos valores de R se calcula los siguientes costos totales:

R en 100 metros	4	6	8	10	20
Costos de (1) \$/m ³	0.060	0.031	0.015	0.010	0.003
Costos de (2) \$/m ³	0.016	0.028	0.031	0.039	0.080
SUMA DE COSTOS	0.076	0.054	0.046	0.049	0.083

El costo mínimo ocurre cuando el radio es aproximadamente 800 metros, o sea que la distancia entre campamentos es 1 600 metros; esto se muestra también gráficamente para determinar con más exactitud el punto óptimo (ver Fig. 78).

6.2.2 Red de caminos para la función de longitud y transversal. Conceptos Generales

Para calcular costos se puede clasificar los caminos en dos grupos principales:

- a. caminos temporales,
- b. caminos permanentes.

Los caminos temporales son construidos para servir sólo durante una temporada de aprovechamiento forestal. En la mayoría de las regiones de bosque tropical se hace normalmente una sola explotación de madera en el mismo lugar, y luego se abandona o el suelo se dedica a otros usos. En este caso se debe construir caminos temporales cuyos costos se calculan como un costo directo por metro cúbico de madera aprovechada.

Los caminos permanentes son por lo general más comunes en la industria forestal, considerándoseles como una inversión a largo plazo (n años), o sea que se calcula los costos anuales directos e indirectos (amortización, interés y mantenimiento) para el camino considerado.

En el siguiente modelo de cada grupo de caminos se analiza los costos y la distancia óptima entre caminos forestales o vías de saca.

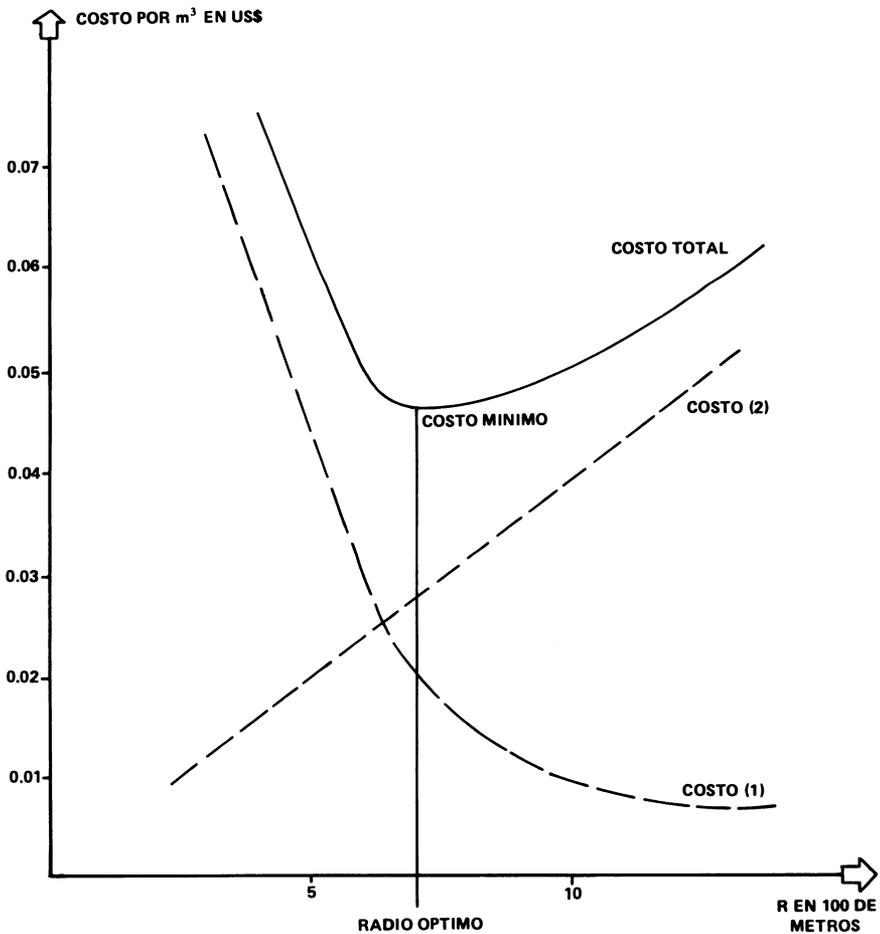


Fig. 78. Gráfico sobre el costo mínimo, según ejemplo 2.

Caminos temporales

Con los siguientes datos se puede describir un modelo en forma de una función matemática para determinar la distancia óptima entre dos caminos paralelos.

D = distancia óptima promedio entre caminos en cientos de metros,

V = volumen a ser aprovechado en m^3 por hectárea,

C = costo de la construcción del camino en US\$ por km,

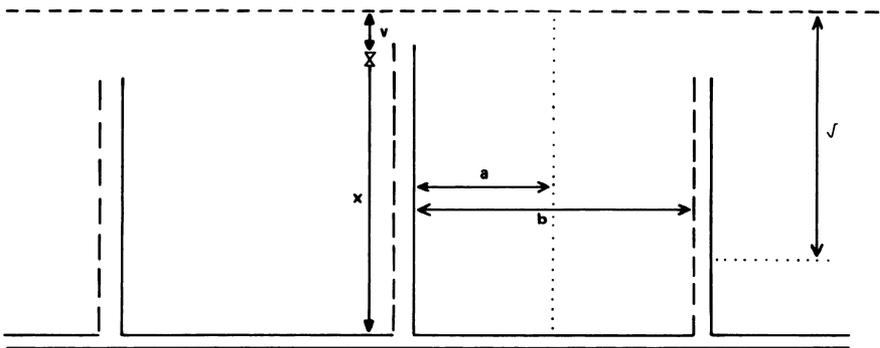
t_r = costo de traslado (arrastre) en el terreno en US\$ por cientos de metros y por m^3 .

El costo fijo promedio por m^3 de madera transportada = $\frac{C}{V \times D \times 10}$

El costo variable por m^3 transportado = $\frac{t_r \times D}{4}$

$D/4$ = Distancia promedio de transporte menor (arrastre), según el modelo (= $b/4$ según Fig. 79).

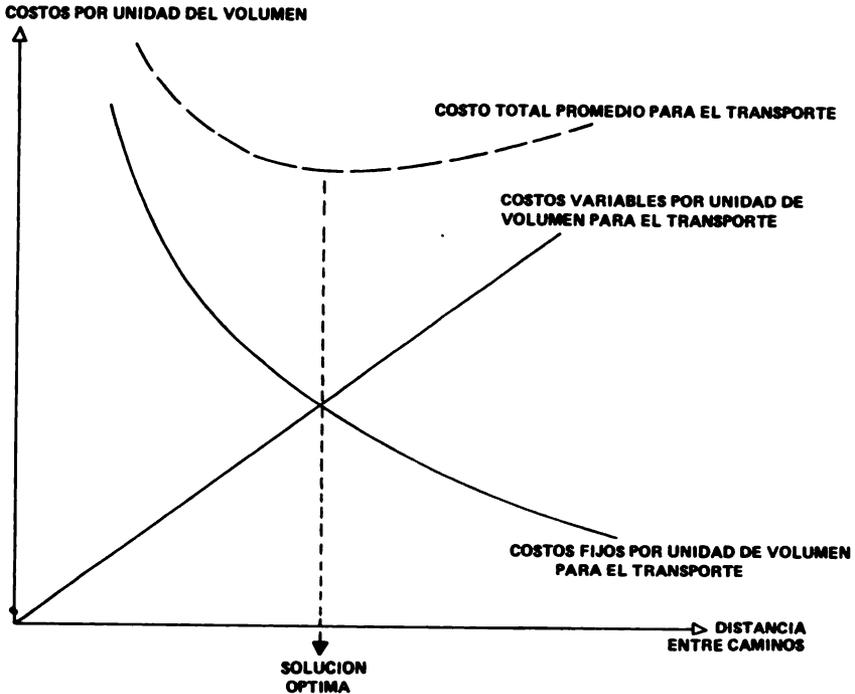
Cuando un costo variable aumenta en forma rectilínea al incrementarse la distancia, el costo total mínimo por unidad de volumen se obtiene en el punto de intersección entre la curva de los costos fijos y la curva de los costos variables (Fig. 80).



Caminos Permanentes:

- b = distancia entre dos caminos paralelos,
- a = $b/2$ = distancia máxima de transporte menor,
- V_1 = reducción económica del camino.

Fig. 79. Modelo de una red de caminos.



Costos fijos promedios = Costo de construcción.
 Costos variables = Costo de traslado de la madera.

Fig. 80. El diagrama muestra la distancia óptima entre caminos temporales cuando el costo fijo = costo variable.

De este razonamiento se obtiene la distancia óptima entre caminos cuando el **costo variable = costo fijo**.

$$\frac{C}{V \times D \times 10} = \frac{t_r \times D}{4} \qquad D = \sqrt{\frac{C \cdot 4}{10 \times V \times t_r}}$$

$$b = 2 \sqrt{\frac{C}{10 V tr}}$$

Caminos permanentes

- b** = distancia entre dos caminos paralelos,
- a** = b/2 = distancia máxima de transporte menor,
- V₁** = reducción económica del camino.

Los costos totales por m^3 en pie para carga y descarga en el bosque, traslado en el bosque, carga y descarga de camiones, traslado sobre el camino y construcción y mantenimiento del camino, son:

$$K = tf + a/2 \cdot tr + L + x/2 \cdot z + y(2pa) \quad (1)$$

Donde:

tf = costos fijos independientes de la distancia de transporte menor (carga y descarga),

$a/2 \cdot tr$ = costo de transporte menor, arrastre
= costos variables de traslado en el bosque por m^3 en pie.

L = costo por m^3 de carga y descarga de camiones (fijo)

$x/2 \cdot z$ = costos de transporte mayor, o movimiento sobre los caminos (fijo)

y = Costo anual por metro de camino = costo por metro \times fam.

$$Fam = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \text{Factor de amortización; (n = período de amortización), (i = tasa de interés)}$$

P = producción en m^3 en pie por m^2 y por año. La madera se transporta por año, durante el período de amortización,

$y/(2p \cdot a)$ = costo anual por metro de camino por metro cúbico (variable).

Ahora se buscará la distancia entre los caminos que dé un K mínimo.

La distancia máxima de transporte menor a , es decir la distancia óptima entre dos caminos, se obtiene derivando la fórmula de los costos con respecto a a e igualando a cero la derivada.

$$dK/da = tr/2 - y/2pa^2 = 0$$

$$a^2 = y/ptr; a = \sqrt{y/ptr} \quad b = 2 \sqrt{y/(p \cdot tr)} \quad (2)$$

Esta deducción, según G. Larsson está en principio de acuerdo con aquella en la cual U. Sundberg¹⁷ ha basado sus cálculos para la

distancia óptima entre caminos con la diferencia de que tr en la fórmula aquí explicada incluye también los costos para traslados personales.

Si se toma los valores de las dos componentes variables de la fórmula (1) se tiene que:

$$K = a/2 \cdot tr + y/2pa = \text{costo total por metro cúbico}$$

Ejemplo 3

Si en un ejemplo hipotético se computa las dos componentes separadamente para varios valores de b (distancia entre caminos) y luego se suman para obtener el costo total, se obtendrá la siguiente tabla de costos para varios espaciamientos de caminos:

CUADRO No. 8. Costos para varios espaciamientos de caminos.

Espaciamiento entre caminos en metros= b ($a=b/2$)	Costo variable de transporte menor $a/2 \cdot tr = b/4 tr$ $a/2 \times 0.02 = 0.01a$ US\$	Costo anual de camino por metro cúbico $y/2 p a =$ $4/2 \times 0.001 \times a$ $= 2000/a$ US\$	Costo total por metro cúbico en pesos $a/2 tr + y/2 p a = 0.01a + 2000/a$ US\$
200	1	20	21
400	2	10	12
600	3	6.6	9.6
800	4	5	9
1 000	5	4	9
1 200	6	3.0	9.3
1 400	7	2.0	9.3
1 600	8	2.5	10.5
1 200	9	2.2	11.2
2 000	10	2	12

En esta tabla sólo están incluidos los costos de extracción que varían con la densidad de caminos. De modo que los costos de mover el producto sobre los caminos y los costos de carga y descarga antes y después del arrastre son considerados como constantes para un sistema de extracción dado, independientes de la densidad de caminos.

Según este análisis la distancia óptima de caminos es de 900 metros, ya que a esta distancia se obtiene el costo total mínimo, que es US\$ 9.00 por metro cúbico. La Fig. 81 ilustra gráficamente este análisis.

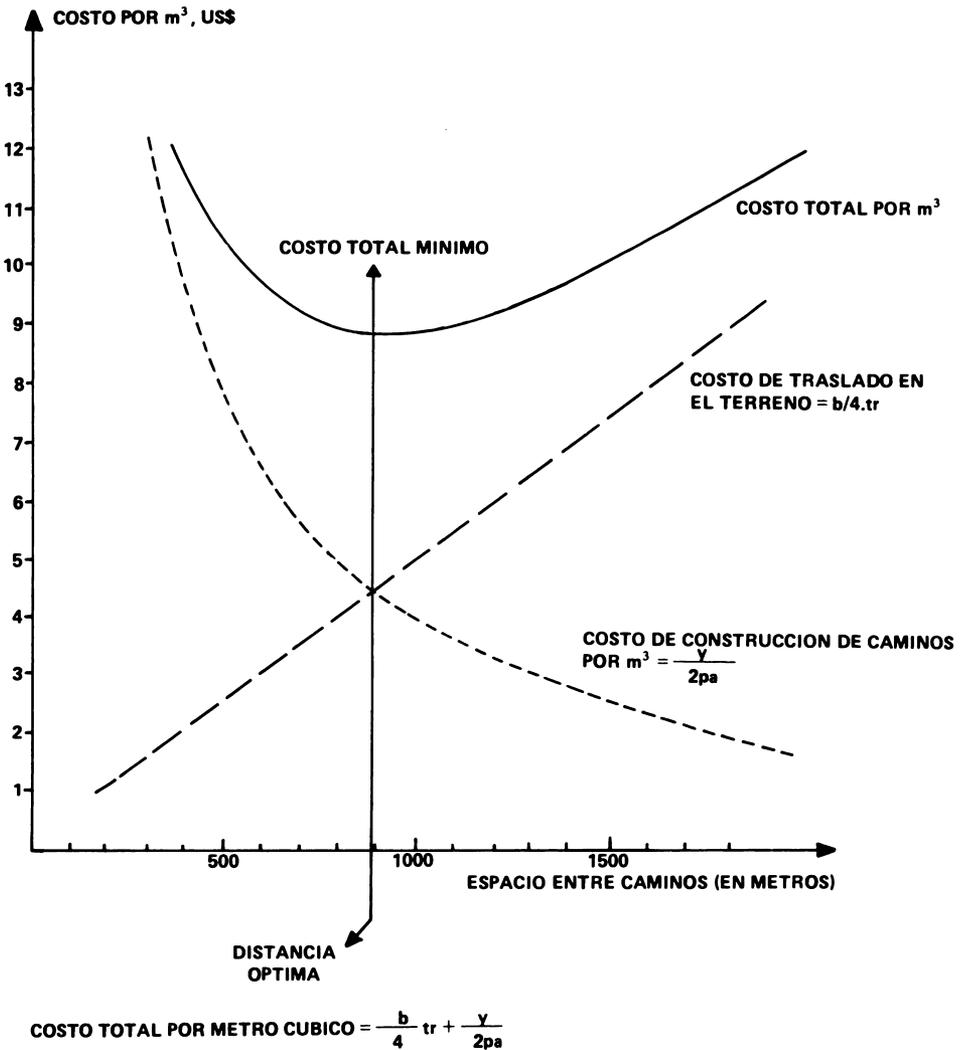


Fig. 81. Diagrama de distancias entre caminos forestales.

Empleando la fórmula (2), con los datos del ejemplo se tiene:

$$a = \sqrt{y/p \times tr} = \sqrt{4/0.002 \cdot 0.01}$$

$$a = 200 \times \sqrt{5} = 448 \text{ metros}$$

$$b = 2 \times 448 = 896 \text{ o sea } \sim 900 \text{ m}$$

Con los dos sistemas se llega al mismo resultado, siendo mucho más abreviado el empleo de la fórmula (2).

Con respecto al gráfico (Fig. 81), se observa cómo los costos de arrastre y construcción de caminos cambian cuando se altera la distancia entre caminos. El punto mínimo del costo total coincide con la intersección de las curvas de costo de arrastre y construcción de caminos. La razón para esto es que a medida que se aumenta el espacio, el costo de construcción por metro cúbico decrece más rápidamente que el ascenso de los costos de arrastre, hasta que se alcanza un espacio de 900 m y luego cae menos rápidamente que el ascenso en el costo de arrastre.

En este ejemplo se nota que la respuesta dada por la fórmula es específica y que el costo mínimo teórico es conseguido cuando los caminos estén espaciados cada 900 m, habiendo todavía considerable rango permisible en la localización real de los caminos.

Cualquier espacio entre 800 y 1 200 metros resultará en costos satisfactorios. La fórmula debe ser considerada como un medio para determinar el rango económico del espaciamiento entre caminos y no como una distancia inflexible a la cual deben espaciarse los caminos.

6.2.3 Modificaciones al modelo para hacerlo más consistente a las condiciones ambientales y administrativas de la industria forestal. Problemas que se presentan cuando se usa el modelo.

Obviamente, el modelo geométrico muy raramente corresponde a la realidad en la industria forestal ya que:

- a. los caminos escasas veces siguen la línea recta, tanto en el plano horizontal como en el vertical,

- b. los caminos raras veces son paralelos,
- c. en un sistema de caminos éstos se encuentran en empalmes,
- d. el área forestal no es topográficamente homogénea,
- e. el transporte menor desde un punto en el terreno hasta el camino pocas veces sigue la línea recta más corta.

Hay muchas otras divergencias entre el modelo y la realidad, pero como la mayoría de estas divergencias no tiene un carácter general, no serán discutidas en este capítulo.

Ciertos investigadores han sugerido algunas modificaciones al modelo, con el fin de presentar en una mejor forma las situaciones reales. Los problemas especiales han sido investigados por Von Segebaden¹⁹ y las modificaciones que él ha propuesto parecen ser prácticas y útiles; se presenta un resumen de estos resultados.

Von Segebaden¹⁹ analizó los problemas especiales dividiéndolos en dos categorías:

- a. aquellos en que hay una desviación en el modelo original en el aspecto de caminos rectos, paralelos y espaciados abiertamente (literales a, b y c);
- b. aquellos en los que hay una desviación del supuesto de que el transporte menor sigue la línea recta más corta desde el bosque hasta el camino (literales d y e).

Las desviaciones de la primera categoría se suman para formar un factor llamado **Factor de corrección para la red de caminos** y que se denominará con la letra **V**. Las desviaciones de la segunda categoría se incluyen en el denominado **Factor de corrección para transporte menor en el terreno**, que se denotará con la letra **T**.

Si se usa estos factores de corrección se obtendrá, según la fórmula (2), la distancia óptima corregida entre dos caminos = d.

$$d = 2 \sqrt{\frac{V. \quad y}{T. \quad p. \quad tr}} \quad (3)$$

La distancia óptima promedio para el transporte en el terreno será entonces:

$$d_{tr} = \sqrt{\frac{V \cdot y}{4 T \cdot p \cdot tr}} \quad (4)$$

Si "T" y "V" son iguales a 1.0 entonces se tiene que \underline{d} en la fórmula (3) será igual a \underline{b} en la fórmula (2).

Puede decirse también que el factor de corrección V es un coeficiente inverso del efecto del camino ya que indica la manera cómo los caminos sirven, buena y malamente, a las áreas forestales. En el modelo original los caminos son paralelos con "V" igual a 1.0; pero si se construye los caminos en otra forma la distancia media puede aumentar hasta $V = 1.33$. Con un modelo para sistema de caminos con caminos rectos dispersados al azar se puede obtener un $V = 2.0$.

Debe mencionarse que al variar el espacio entre los caminos en diferentes partes del área se aumenta el valor de V. Por ejemplo, si la mitad del área en una región tiene doble espacio que la otra mitad y $V = 1.0$ (caminos paralelos) para cada área, resultaría para toda la región un valor $V = 1.12$.

Von Segebaden¹⁹ ha estudiado las redes de caminos que existen y están planificadas en Suecia para las regiones forestales, y observó que los valores de V variaban entre 1.35 y 2.00

Para regiones forestales con una red de caminos bien planificada es posible obtener un valor para V igual a 1.40 donde predomina un transporte en una sola dirección, cuando el terreno es poco ondulado. Cuando se usa los caminos para otros fines (agricultura, otras comunicaciones), el transporte corre en dos direcciones y el valor de V subirá normalmente hasta 1.60-1.70.

Von Segebaden ha propuesto también un método para determinar V por medio de un sistema de puntos repartidos al azar sobre un mapa de área forestal, desde los cuales se puede medir las distancias en línea recta hasta el camino más cercano. También se debe medir la longitud de los caminos dentro del área (Fig. 82).

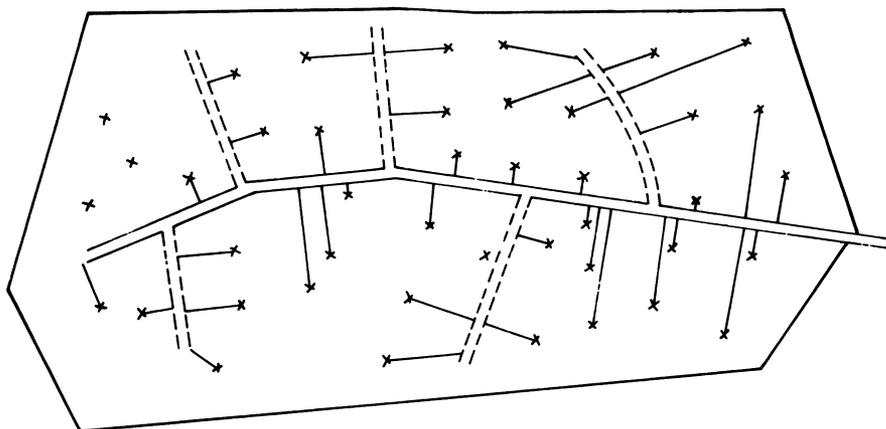


Fig. 82. Longitud de los caminos dentro del área.

El valor empírico de V se determina por la fórmula:

$$\text{Distancia promedio medida} = \frac{2.5 \times y}{\text{Longitud del camino por unidad de área}} \quad (5)$$

$$V = \frac{\text{distancia promedio medida} \times \text{longitud camino} \times \text{unidad área}}{2.5}$$

El factor de corrección "T" está definido por la fórmula:

$$T = \frac{\text{Distancia promedio verdadera para transporte menor}}{\text{Distancia recta promedio para transporte menor}} \quad (6)$$

El factor T incluye la influencia de las tres siguientes desviaciones entre el modelo teórico y la práctica:

- a. el transporte no siempre se lleva al camino más cercano;
- b. normalmente el transporte termina (o comienza) en cargaderos o depósitos de madera;
- c. el transporte en el terreno normalmente sigue la línea recta.

Naturalmente, el valor de “T” depende de la tecnología del sistema de transporte. El valor real de “T”, puede determinarse midiendo la distancia real y la distancia recta para el transporte menor desde un gran número de puntos dispersos sobre el mapa, como lo muestra la Fig. 82.

Por ejemplo en un terreno típico en Suecia (poco ondulado pero con pantanos y bloques) para transporte con tractores y caballos, el valor de T normalmente sube a 1.35, con una tendencia a aumentar un poco para distancias menores de 0.5 kilómetros.

En terreno montañoso el valor de T aumentará considerablemente ya que el transporte no sigue el camino más corto, como lo muestra la Fig. 83.

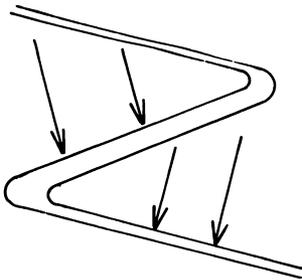


Fig. 83. Modelo de camino en ser-penteo en terreno monta- ñoso.

$$“V” = 1.33, \quad “T” = 2.31$$

(Estos coeficientes aumentan al aumentar los obstáculos en el terreno).

Con base en una estimación de V y T se tiene la correlación entre la distancia de transporte y la densidad de camino.

$$\text{Distancia verdadera pro-} = \frac{2.5 \times V \times T}{\text{Densidad de caminos (en metros} \quad (7)$$

medio para transporte menor (km) por hectárea)

6.2.4 Variaciones estructurales en el modelo

El modelo en que está basada la fórmula para el espaciamiento de caminos se aplica en cada caso a un sistema específico de explotación forestal. Varios autores han sugerido ciertas modificaciones al

modelo que corresponde a los diferentes sistemas. Un número de modelos más complicados, elaborados todos con base en la misma teoría básica, se encuentra disponible para el uso práctico en cada sistema de explotación forestal.

De mayor interés es la contribución hecha por Larsson³ en 1959, quien declara que el espaciamiento de los caminos está determinado por la clase de camino en los diferentes puntos del sistema. Ha hecho un modelo en el cual se han optimizado simultáneamente el espaciamiento y la clase de camino (ver Fig. 84).

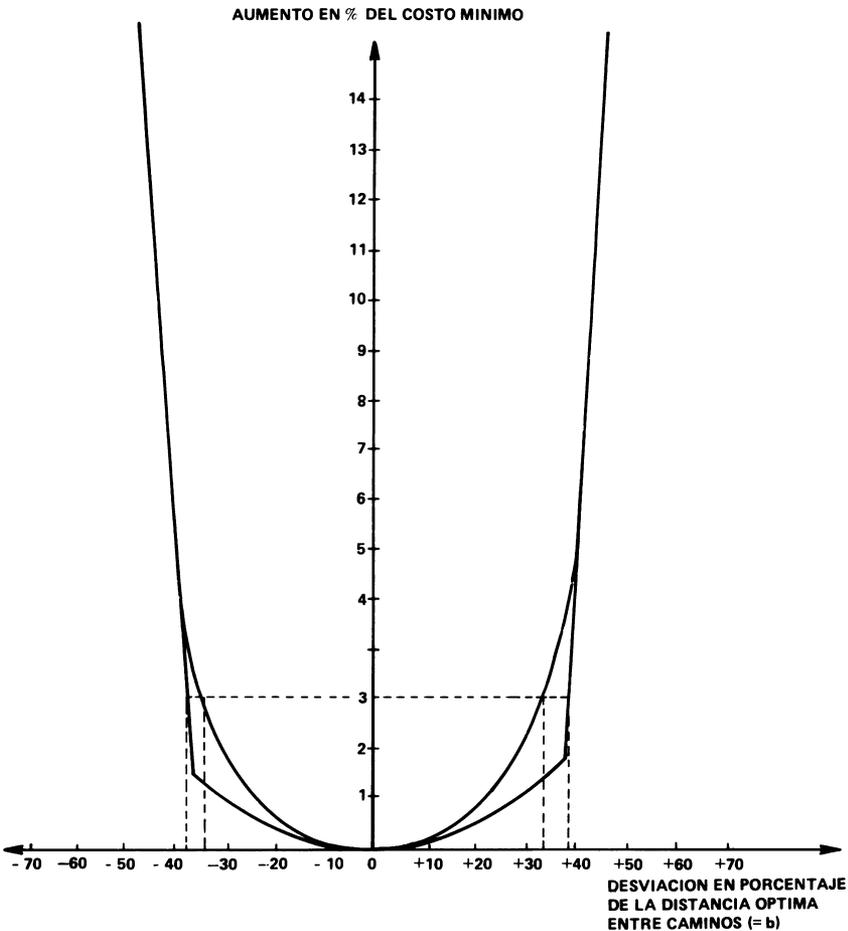


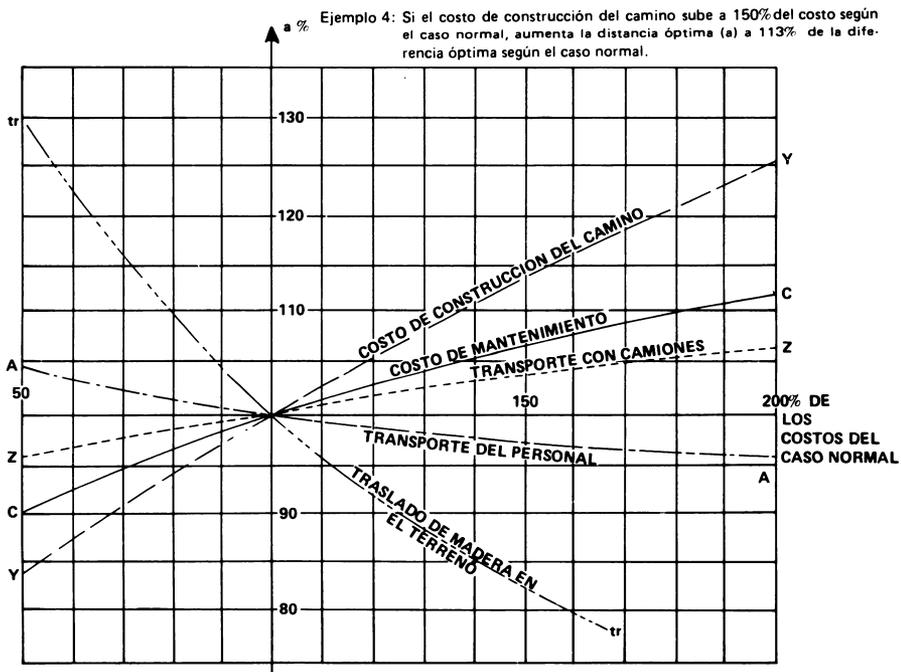
Fig. 84. Pérdida económica cuando se altera la equidistancia en relación a la distancia óptima.

Al hacer el análisis de varianza, Larsson establece que:

- 1) un sistema óptimo de caminos tiene un alto grado de estabilidad respecto a los cambios en relación con los diferentes factores de costo;
- 2) normalmente hay un espacio (alcance) considerable alrededor del espaciamiento óptimo (aproximadamente - 20 % a + 30 %), límites dentro de los cuales el costo total (o el beneficio total) diferirá muy poco.

La Fig. 84 muestra que la pérdida económica, cuando se altera la equidistancia en un 30 % de la óptima, es solamente 3-4 %, pero cuando se usa una equidistancia mayor del 30 % de la óptima, los errores económicos que se comete son muy grandes.

Larsson y Rydstern² han hecho también un análisis minucioso de varianza con respecto a la influencia que tiene un cambio eventual o error de estimación de los distintos factores de costos sobre el sistema de caminos y el resultado final. Las conclusiones de este análisis de varianza se muestran en la Fig. 85. Lo que se ve del análisis



FUENTE: U. SUNDBERG, ESTOCOLMO.

Fig. 85. Cambio de la Distancia Óptima de Transporte Menor (a) cuando se cambia uno de los costos indicados en el diagrama.

son solamente los costos para construcción de caminos y traslado en el terreno (transporte menor), cuyos cambios imprevistos tienen una gran influencia en la distancia óptima a .

Ejemplo 4:

Si el costo de construcción del camino sube a 150 % del costo según el caso normal, aumenta la distancia óptima (a) a 113 % de la diferencia óptima según el caso normal.

Estas conclusiones tienen suma importancia práctica ya que permiten un gran ajuste del plano óptimo de espaciamiento por restricciones topográficas, o de otra índole, sin implicar costos adicionales de mucha importancia.

Ejemplo 5:

Se quiere construir caminos paralelos, desde uno principal hasta una división de aguas (como indica la Fig. 86).

Se calcula que la producción promedio por año es $4 \text{ m}^3/\text{ha}$, y la longitud L del camino desde la carretera principal a la divisoria de aguas es 6 km.

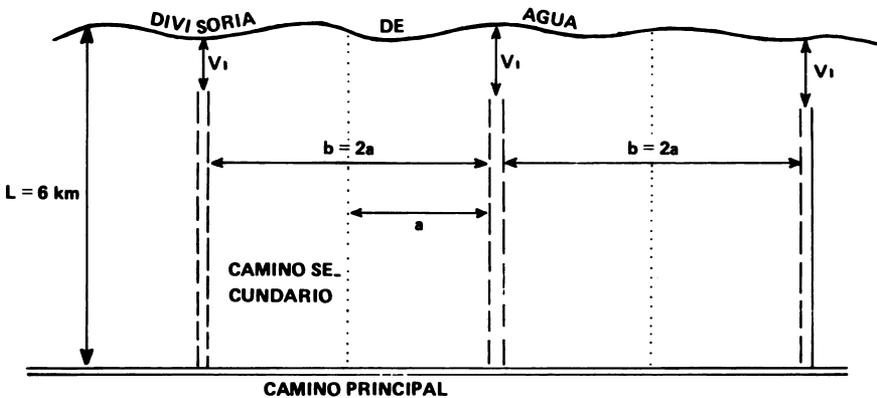


Fig. 86. Reducción de la longitud de camino.

El ábaco, según Larsson³, Fig. 87, permite obtener espaciamientos óptimos y clases de caminos, de acuerdo a la longitud del camino y a la producción promedio por hectárea.

Siguiendo con el ejemplo, para una longitud de 6 km y una producción promedio de 4 m³, el arrastre máximo será: $a = 0.9$; o sea, el espaciamiento entre dos caminos secundarios será: $b = 2a \times 0.9 = 1.8$ km.

En el otro ábaco, Fig. 88 se da la reducción óptima de la longitud del camino; en el caso del ejemplo el camino debe terminar 0.9 km antes de la divisoria.

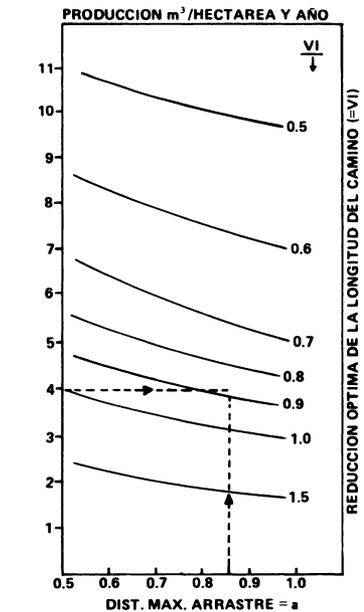
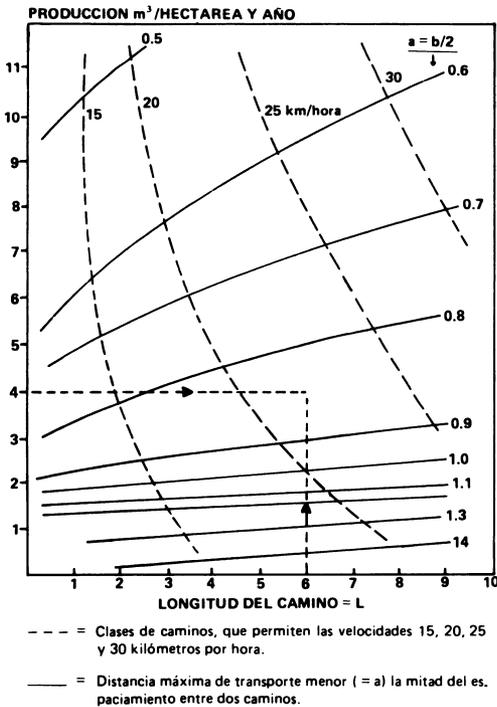


Fig. 88. Reducción óptima de la longitud del camino.

Fig. 87. Espaciamiento óptimo y clases de caminos de acuerdo a la longitud del camino y a la producción promedio por hectárea.

6.3 CALCULO SOBRE CLASE OPTIMA DE CAMINOS

En la clase de camino se define la velocidad promedio y la carga promedio de un camión sobre el camino considerado. Los siguientes costos determinan la clase de camino;

- a. costo de construcción y mantenimiento,
- b. costos de traslado sobre el camino.

Cuando aumenta el volumen de madera transportada se justifica económicamente mejorar la calidad del camino, es decir aumentar los costos de construcción y mantenimiento. Si el volumen de madera sube hacia la dirección de transporte se debe teóricamente mejorar la calidad del camino sucesivamente con la distancia.

Desde el punto de vista práctico se divide el camino en un número de secciones, cada una con su clase o costo de construcción. Se debe incluir estas distintas clases en el cálculo como clases de costos.

El problema en el cálculo será buscar el punto del camino donde haya suficiente madera para justificar económicamente un cambio de la calidad de una clase inferior a una clase superior.

Ejemplo sobre límites teóricamente económicos para distintas clases de caminos:

Ejemplo 6:

Considérese tres distintas clases de caminos. Los costos incluyen costos de capital más los de mantenimiento para las tres clases consideradas.

El costo de transportar madera en camiones sobre los distintos caminos se obtiene del costo por hora para el camión más la carga promedio en cada viaje y la velocidad promedio.

Ahora se puede calcular el costo total más bajo posible para el transporte y buscar los volúmenes óptimos de madera que corresponden a cada clase de camino. Según el cuadro anterior si se cambia de clase 3 a 2 sube el costo para el camino en $1\,500 - 1\,000 = \text{US\$ } 500$, mientras los costos de traslado disminuyen en $0.15 - 0.10 = 0.05 \text{ US\$/m}^3$ y km de camino.

t_{r_1} y t_{r_2} = costo de transporte sobre los caminos Cl_1 y Cl_2 por m^3 y km.

Los distintos costos son:

Clases de caminos	Costo anual por km para el camino US\$	Costo de traslado (dctr) sobre el camino por m ³ y km US\$	
1	2 000	0.075	
2	1 500	0.10	
3	1 000	0.15	
No. camino	—	2.00	Costo de traslado en el terreno

En el punto donde el incremento en costos de camino sea igual a la disminución en costos de traslado se justifica económicamente cambiar la clase de camino de 3 a 2. En este punto el volumen de madera será Qm³/año.

$$Q \times 0.05 = 500$$

$$Q = 10\,000 \text{ m}^3$$

De la misma manera se puede calcular los límites económicos para las otras clases de caminos. La Fig. 89 muestra gráficamente la solución del problema.

Se puede generalizar el ejemplo utilizando la siguiente función:

$$Q = \frac{Y_1 - Y_2}{t_{r_2} - t_{r_1}} \quad (8)$$

donde:

Q = volumen anual transportado en el punto de cambio entre dos clases de caminos,

Cl₁ y Cl₂ = clases de camino, de clase superior e inferior

Y₁ y Y₂ = costos de los caminos Cl₁ y Cl₂ por km y año,

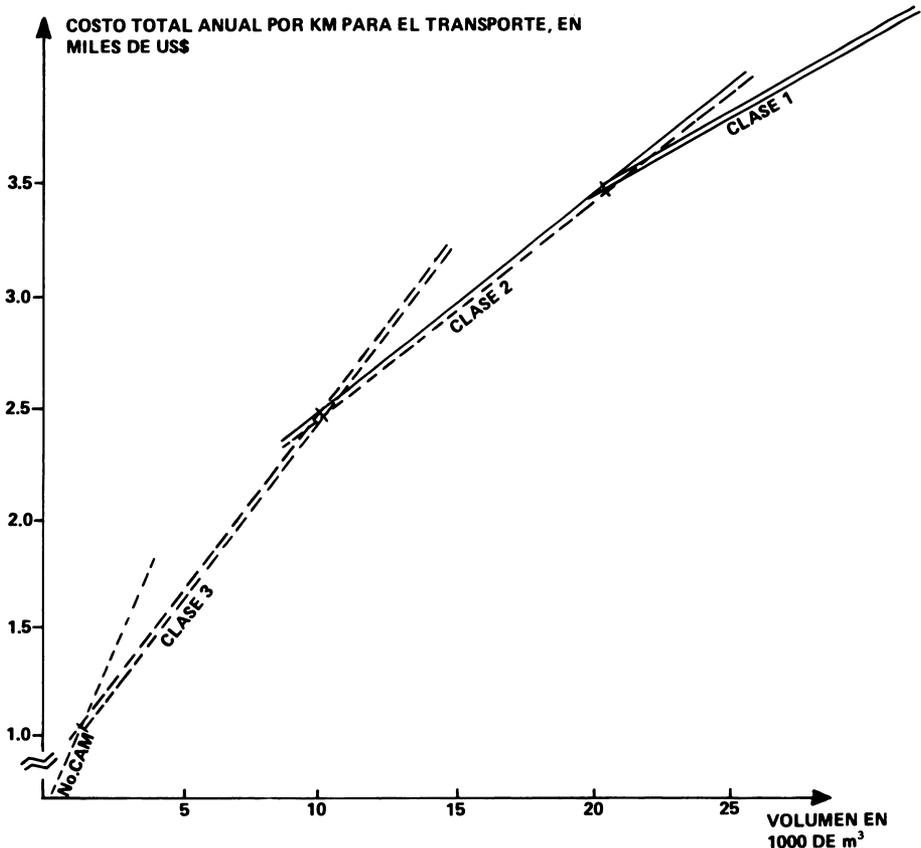


Fig. 89. Límites económicos para distintas clases de caminos.

Para determinar el volumen de madera que justifique una u otra clase de camino se puede también calcular el volumen anual “ V_c ”, donde los costos de dos alternativas (dos clases de caminos) sean iguales (punto de equilibrio). Si el volumen anual es mayor que el “ V_c ” calculado se justifica la mejor clase de camino, y si es menor que el “ V_c ” calculado es más económico emplear la clase inferior de camino. Esta afirmación obedece al siguiente análisis:

Alternativa 1: $A_1 = R_1 + I_1 + M_1 + q_1 V$
 clase superior

Alternativa 2: $A_2 = R_2 + I_2 + M_2 + q_2 V$
 clase inferior

Los símbolos están definidos en el Capítulo 2.

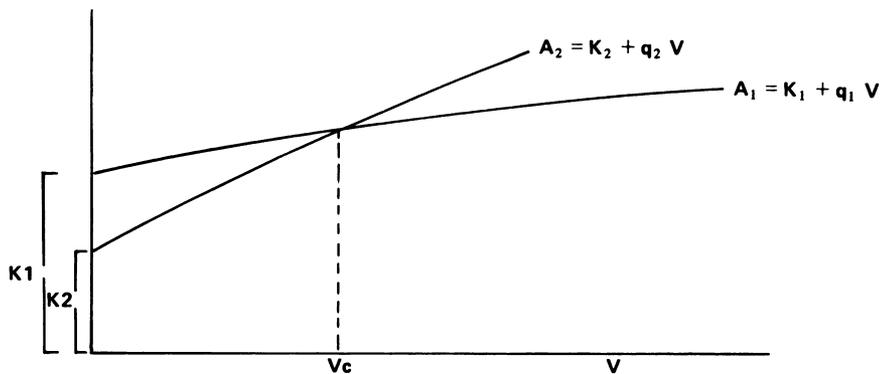


Fig. 90. Representación de las alternativas.

“ V_c ” se obtiene cuando $A_1 = A_2$, entonces:

$$R_1 + I_1 + M_1 + q_1 V = R_2 + I_2 + M_2 + q_2 V$$

$$V_c = \frac{R_1 + I_1 + M_1 - (R_2 + I_2 + M_2)}{q_2 - q_1} \quad (9)$$

Ejemplo 7:

Usando los mismos costos del Ejemplo 1 del Capítulo 2, si se comparan la clase II y la clase III de camino, calcular ¿qué volumen anual mínimo justifica la clase II?

Aplicando la fórmula (9) se tiene:

$$V_c = \frac{1\,600 + 3\,600 + 40 - (1\,200 + 2\,700 + 50)}{0.4 - 0.3}$$

$$V_c = 12\,900 \text{ m}^3$$

Es decir, que la clase II se justificaría si existiera un volumen mínimo de $12\,900 \text{ m}^3$ de madera.

Este mismo resultado se obtiene si se emplea la función de la fórmula (8), o sea:

$$(0.4 - 0.3) V_c = 5\,240 - 3\,950$$

$$V_c = 12\,900 \text{ m}^3$$

Si hay alguna diferencia de longitud en los dos caminos se multiplica el costo por kilómetro por el número de kilómetros en cada clase de camino y se usa estos datos en la fórmula (9).

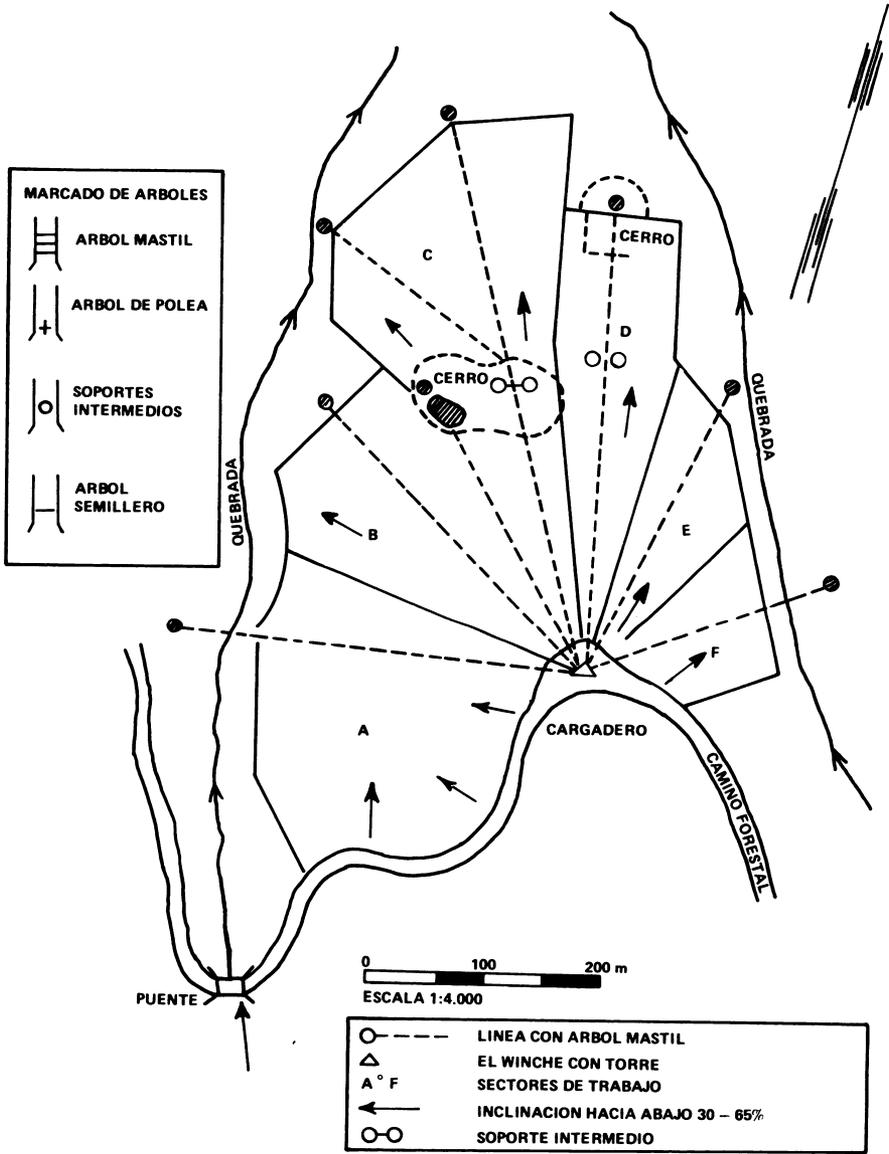


Fig. 91. Planificación del sistema cable aéreo *High Land Trailer Alp* en bosque de coníferas, finca nacional de San Jerónimo, Departamento de Baja Verapaz, Guatemala.

BIBLIOGRAFIA

1. ANAYA, H. y CHRISTIANSEN, P. Transporte forestal con cables. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Centro de Publicaciones, 1971. 107 p. (Mimeo).
2. ANDERSON, S. Skogsteknisk Driftsekonomi Parte 3. Estocolmo, Royal College of Forestry, 1966. 40 p. (Mimeo).
3. BENDZ, M. y JARVHOLM, A. Logging and transport in tropical high forests. Observation on methods, production and costs in the late 1960s, Estocolmo, Royal College of Forestry, 1970. 29 p.
4. BHALLA, B. y SVANQUIST, N. Optimising logging costs. Dehra Dun, India, Forestry Department, 1968. 103 p.
5. CAMPOS, R. y CHRISTIANSEN, P. Estudio comparativo de tres métodos en el corte y trozado de árboles con relación al grado de dureza. Revista Forestal del Perú, 1(2):18. 1967.
6. CHRISTIANSEN, P. y LOPEZ, O. Informe sobre la visita a los bosques de PULPAPEL, S.A. en el Bajo Calima (Buenaventura), Colombia. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Centro de Publicaciones, 1970. 15 p.
7. _____ y _____. Planificación e Ingeniería de Caminos Forestales. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Centro de Publicaciones, 1970. 126 p.
8. CHURCHMAN, C., ACKOFF, R. y ARNOFF, L. Introduction to operation research. London, Wiley, 1957. 210 p.
9. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Fortalecimiento del sector forestal. Guatemala, 1977. p. .

10. GERMAK, F. y LLOYD, A. El transporte de madera apeada en los trópicos. FAO, Unasylva 16(3):138-160.
11. KILANDER, K. Basic principles in the analysis of logging costs. Estocolmo, Logging Research Foundation, 1962. 30 p.
12. ————. Logging and timber transportation cost in developing countries. Analysis of methodology, Suecia, 1966. 35 p. (Mimeo).
13. KLEMENCIC, I.A. Special economic aspects in connection with road networks. The economic road standard, spacing and related questions. Symposium on the planning of Forest Communication Networks. Vol. 2. Ginebra, (FAO/ECE/LOG/149). 352 p.
14. LONNER, G. A system for short-term planning of logging, storing and transportation of wood. Estocolmo, Logging Research Foundation, 1968. 110 p.
15. LUSSIER, L.J. Planning and control of logging operations. Quebec, Laval University Research Found, 1961. 135 p.
16. OREGON, PORTLAND SERVICE CENTER. Logging transportation and contractual costs. U.S. Dept. of the Interior. Bureau of Land Management, Schedule 16, 1970. 80 p.
17. SEGEBADEN, VON. Studies of cross-country transport distances and road net extension. Estocolmo, Skogshogskeolan, 1964. 69 p.
18. SUNDBERG, U. Skogsteknisk Driftsekonomi I. Estocolmo, Royal College of Forestry, 1960. 180 p. (Mimeo).
19. ————. Skogsteknisk Driftsekonomi II. Estocolmo, Royal College of Forestry, 1966. 170 p. (Mimeo).

CAPITULO 7

CIENCIA DEL TRABAJO

En este capítulo se trata los estudios de trabajo caracterizados por movimientos, métodos y consumo de tiempo, que sirven como medios para cálculos económicos en la racionalización de un sistema de aprovechamiento forestal.

7.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

7.1.1 Productividad

La productividad es la relación entre la producción obtenida y los recursos utilizados para obtenerla, o sea:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Beneficio (output)}}{\text{Inversión (input)}} \text{ p.e. m}^3/\text{hombre}$$

Los recursos de producción son la tierra, materia prima, el capital (instalaciones, maquinaria y herramientas) y los servicios del hombre. Los costos para estos recursos son los intereses de la tierra, de los materiales y del capital real más el salario para los servicios del hombre. La importancia que se atribuye a cada uno de los recursos depende de la empresa, de la industria y posiblemente del país.

El aumento de la productividad de la mano de obra puede deberse:

- a. a una mejor planificación del trabajo por parte de la dirección (estudio de los métodos, adiestramiento, otros);
- b. a la instalación de nueva maquinaria.

El aumento de la productividad de los equipos puede obedecer a la mayor eficiencia de los obreros, el mejoramiento de los planes, otros.

En la práctica hay varios factores que influyen en una reducción de la productividad. Los más comunes en la industria forestal son los siguientes:

- a. mal diseño (de factores de producción);
- b. la falta de normalización (ejemplo, longitud de las trozas);
- c. la fijación incorrecta de normas de calidad (ejemplo en el transporte, en la venta);
- d. un mal diseño implica aumento en pérdidas de materia prima;
- e. utilización de maquinaria inadecuada;
- f. proceso mal ejecutado (o ejecutado bajo condiciones desfavorables);
- g. utilización de herramientas inadecuadas;
- h. mala disposición (causante de movimientos innecesarios);
- i. método de trabajo deficiente por parte de los operarios (ejemplo, por falta de adiestramiento).

El Cuadro No. 19 muestra distintos medios directos para aumentar la productividad; describe también los costos y la rapidez para obtener los resultados para cada tipo de mejora. Una mejora de la dirección de los trabajos resulta siempre en costos más reducidos comparada con inversiones en maquinaria y equipo.

CUADRO No. 19. Medios de aumentar la productividad.

Método	Tipo de mejora	Medios	Costo	Rapidez de obtención de los resultados	Papel del estudio de trabajo
INVERSION	1) Desarrollar nuevos procedimientos básicos (o mejorar los existentes)	Investigación básica Investigación aplicada Investigación experimental	Elevado	Generalmente varios años	Estudio de métodos para facilitar el funcionamiento y la conversión en la fase inicial.
	2) Instalar maquinaria o equipo más moderno o de mayor capacidad productora	Adquisiciones Investigación del proceso	Elevado	Inmediatamente después de la instalación	Estudio de métodos para mejorar la disposición de los locales y el funcionamiento.
	3) Reducir el trabajo para obtener una determinada cantidad de producto.	Investigación del Producto Desarrollo del Producto Mejoramiento de los métodos de dirección Estudio de métodos Investigación del proceso. Instalación experimental.	Comparado con el 1 y 2, no muy grande	Generalmente varios meses	Estudio de métodos para mejorar los diseños que facilitan la producción
MEJOR DIRECCION	4) Reducir el trabajo del proceso	Planificación del proceso. Estudio de tiempos. Ajustamiento de los operarios. Medida del trabajo Política de ventas Normalización Desarrollo del producto	Reducido	Inmediatamente	Estudio de métodos para reducir el desperdicio de tiempo y estrechando el proceso sustruyendo los movimientos innecesarios
	5) Reducir el tiempo improductivo de instalaciones y operarios	Planificación y control de la producción Control de materiales Preservación planificada. Política de personal. Mejoramiento de las condiciones de trabajo. Ajustamiento de los operarios. Remuneración por rendimiento.	Reducido	Pueden ser lentos al principio, pero su efecto crece rápidamente	Medida del trabajo para investigar las prácticas existentes, localizar el tiempo improductivo y fijar normas de rendimiento para: a. Planificar y controlar la producción b. Utilizar las instalaciones c. Controlar el costo de la mano de obra d. Determinar el sistema de remuneración por rendimiento.

7.2 LA CIENCIA DEL TRABAJO

Cuando la medición de la productividad se refiere al trabajo, se habla de la ciencia del trabajo. Este trabajo puede ser directo o manual, o indirecto por medio de capital (máquinas, instalaciones, otros).

7.2.1 Objeto de la ciencia del trabajo

El objeto de la ciencia del trabajo es estudiar:

- a. el trabajo mismo:
 - 1) movimientos en detalles;
 - 2) el método de trabajo total;
 - 3) el consumo del tiempo;
- b. el hombre en el trabajo, o sea el hombre desde el punto de vista físico, fisiológico y psicológico;
- c. el hombre en el ambiente del trabajo, como socio de un grupo, una empresa o la comunidad;
- d. las máquinas, las herramientas y otros recursos de capital como medio en el trabajo;
- e. la relación entre estos recursos y su coordinación óptima.

7.2.2 Métodos de medir en el campo

Los métodos de observación usados para registrar movimientos y consumo de tiempo son:

- a. observaciones directas, dibujos simples y diagramas;
- b. medición del consumo de tiempo (por medio de reloj, cronómetro, otros) para diferentes momentos de trabajo. La precisión en la medición depende del problema que se quiere estudiar. En ciertos casos, por ejemplo en estudios de transporte, normalmente es suficiente tener una estadística en unidades de cinco o diez minutos; para otros fines, en cambio, se tiene que precisar en centésimas de minutos, por ejemplo cuando se estudian los tiempos en el apeo;

- c. estudio de frecuencia, que consiste en tomar observaciones sobre lo que está haciendo cada obrero a ciertos intervalos dados de tiempo;
- d. medición de pulso, para observaciones fisiológicas;
- e. películas.

Todas las mediciones y análisis de los datos deben efectuarse en forma completamente objetiva.

Antes de estudiar el consumo de tiempo es necesario estudiar y mejorar el método de trabajo, lo cual incluye un estudio detallado de los movimientos (micromovimientos y macromovimientos). Estos tres estudios se resumen en una descripción del trabajo.

7.2.3 Conceptos del tiempo

El tiempo total en un trabajo se puede dividir o descomponer en varios tiempos dependientes del tipo de actividad. Si el objeto del estudio es un ser humano se tienen horas-hombre, si es una máquina se tienen horas-máquina.

En la Fig. 92 se divide el tiempo total de la operación en un tiempo productivo o utilizado, y un tiempo improductivo o no utilizado.

El primero incluye un tiempo productivo básico de trabajo más los tiempos complementarios (A y B) debidos a deficiencias en el diseño o en la especificación del producto (ejemplo, el tamaño de la madera no es adecuado para las operaciones de transporte) y a métodos ineficaces de producción o de funcionamiento (ejemplo, por falta de normalización o porque el método usado exige mucho mantenimiento).

El tiempo improductivo total (tiempo no utilizado) se divide en dos grupos: por una parte el tiempo improductivo debido a deficiencias de la dirección durante el cual el hombre o la máquina permanecen inactivos; por otra parte el tiempo improductivo imputable al trabajador debido a falta de capacitación, sistema de pago no adecuado, falta de interés, otros.

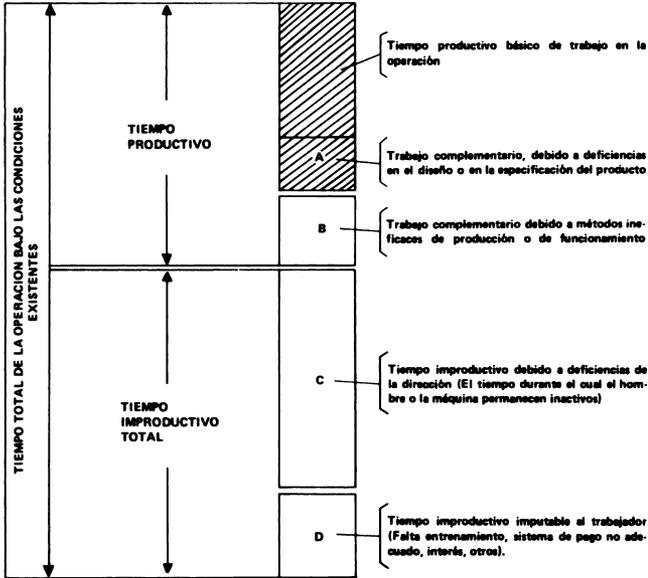


Fig. 92. Distribución del tiempo total invertido en un trabajo.

7.3 ESTUDIOS DE TRABAJO EN DIFERENTES OPERACIONES FORESTALES

A continuación se discutirá dos casos distintos para medir y analizar trabajos de campo:

- a. estudio del trabajo en el apeo;
- b. estudio del trabajo en el transporte menor.

7.3.1 Estudio del trabajo en el apeo

Los objetivos más importantes del estudio y medición de tiempos en el apeo son:

- a. estudio del apeo propiamente dicho;
- b. estudio del ser humano trabajando;
- c. estudio de las herramientas.

En este capítulo se limita la discusión solamente al objetivo a).

En el apeo se compara distintos métodos con respecto a rendimiento y costos, lo cual sirve de base para hacer cálculos económicos y tomar mejores decisiones en el futuro.

Se pretende también obtener datos de rendimientos y costos bajo distintas condiciones empleando un mismo método; condiciones importantes pueden ser el tamaño del árbol, la especie, el terreno, cantidad y diámetro de ramas por árbol, entre otros.

Estos datos además de servir para calcular los costos y necesidades de recursos (ejemplo, motosierras y mano de obra) en el futuro, se emplean como una base para calcular un sistema justo de pago y definir las posibilidades de trabajo por estímulo (destajo, bonificación, otros).

Para hacer un estudio del apeo, en la práctica se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) definir el objeto de estudio;
- 2) limitar el estudio (por ejemplo, DAP, método, especie, otros);
- 3) elegir objetivamente el lugar (los lugares) del estudio;
- 4) usar un número suficiente de repeticiones si el estudio comprende una comparación entre distintos métodos;
- 5) describir el lugar de trabajo;
- 6) elegir obreros con capacidad y bien adiestrados para el método considerado. Esta elección muchas veces es la más difícil pero la más importante en todo el estudio (los obreros generalmente tienen buena experiencia en un método de trabajo pero no tienen experiencia en otros. La capacidad entre obreros también varía mucho; por eso se recomienda emplear varios operarios para cada método);
- 7) clasificar el tiempo de trabajo, por ejemplo el tiempo total, tiempo por árbol, **tiempos utilizados efectivos** (el camino al árbol, la tumba, la caída del árbol, el desrame, la medición, el tronco y el apilado), **tiempos utilizados no efectivos** o tiempos adicionales (descansos razonables, mantenimiento necesario, afilado, otros) y **tiempos no utilizados** o tiempos perdidos (descanso no necesario, demoras debido a descuido, mala organización de trabajo, otros; ver Fig. 93);

- 8) calcular el número adecuado de árboles. Se debe también definir la posibilidad o la ventaja de hacer un estudio continuo, o solamente realizar mediciones ciertos días por semana, o por mes;
- 9) definir la longitud de las trozas, el diámetro mínimo, otros;
- 10) diseñar un formulario en el cual se incluya todos los datos necesarios. En la Fig. 93 se muestra un ejemplo de formulario para un estudio hecho en apeo con motosierra y hacha en bosques de ciprés en Colombia, 1970. El formulario está codificado y dividido en VI bloques para poder perforar los datos de cada árbol en tres tarjetas, con el fin de emplear un computador electrónico para los cálculos;

Tarjeta 1: Bloques II, III, y IV

Tarjeta 2: Bloques II, III, y V

Tarjeta 3: Bloques II y VI

- 11) elaborar una lista detallada de instrucciones para el trabajo de campo, preferiblemente con dibujo para describir cada detalle y el orden en cada método considerado;
- 12) capacitar el personal y verificar el sistema empleado para el estudio.

En este tipo de estudios se requiere en general mucha exactitud, especialmente cuando se va a comparar varios métodos, por lo que el método normal de estudio es medir centiminutos. Esta precisión es necesaria no solamente para saber cual método es mejor, sino también para determinar las causas por las cuales uno de los métodos es mejor que otros.

Es muy importante planificar los estudios de manera que se pueda comparar los métodos bajo condiciones lo más iguales posibles. Los puntos de vista más importantes para eliminar la diferencia en las condiciones son:

- a. seleccionar un número suficiente de lugares de trabajo que representen las distintas condiciones respecto al terreno; y
- b. estudiar los métodos lo más cerca posible uno del otro respecto al tiempo (preferiblemente alternado el uno con el otro) los

cuales varían considerablemente con el tiempo dentro de un turno, y el turno dentro de una semana de trabajo.

7.3.2 Estudio del trabajo en el transporte menor

7.3.2.1 Generalidades

Cuando se estudia la producción y los costos de un sistema de transporte se recomienda concentrar el estudio en el recurso (los recursos) de producción más costosa. Si existe distintos recursos para el transporte, por ejemplo tractores y mano de obra, se debe concentrar el estudio en las máquinas.

A continuación se tratará solamente estudios de trabajo basados en maquinaria para mejorar la utilización y la combinación de máquinas con el fin de aumentar el rendimiento.

7.3.2.2 Fin de los estudios de producción

Los resultados de los estudios de trabajo con maquinaria proporcionan las bases para:

- a. fijar los pagos por destajo;
- b. planificar la mecanización en las empresas, por ejemplo comparaciones entre máquinas o sistemas de maquinaria;
- c. obtener parte de los pronósticos en las rutinas de control en la empresa;
- d. realizar cambios en la organización del trabajo;
- e. a largo plazo, adquirir una parte de la estadística necesaria de tiempo y rendimiento para distintas máquinas;
- f. analizar la influencia que tiene el terreno en el tránsito y en el rendimiento para distintas máquinas.

Los resultados pueden ser presentados para diferentes actividades de trabajo. Si, por ejemplo, se quiere analizar los métodos, se trata cada actividad separadamente; en cambio si el objeto es una planificación a largo plazo, será suficiente un resultado total para el trabajo, sin tener en cuenta sus actividades particulares.

A continuación un ejemplo donde se divide la operación en actividades; la operación consiste en el transporte menor, con tractores, del tocón hasta un patio de almacenamiento de trozas.

Ejemplo 1:

Actividades de trabajo	Viaje I		Viaje II		Viaje III	
	Min	%	Min	%	Min	%
1) Traslado sin carga						
2) Tomar posición (para cargar)						
3) Carguío o acoplamiento						
4) Traslado con carga						
5) Traslado en el patio de almacenamiento						
6) Desacoplamiento del cable principal						
7) Coger estrobos						
8) Otras: a) empujar madera b) recoger ramas c) otros						
9) Espera en el patio						
10) Espera en el bosque						
SUMA TIEMPO POR VIAJE						

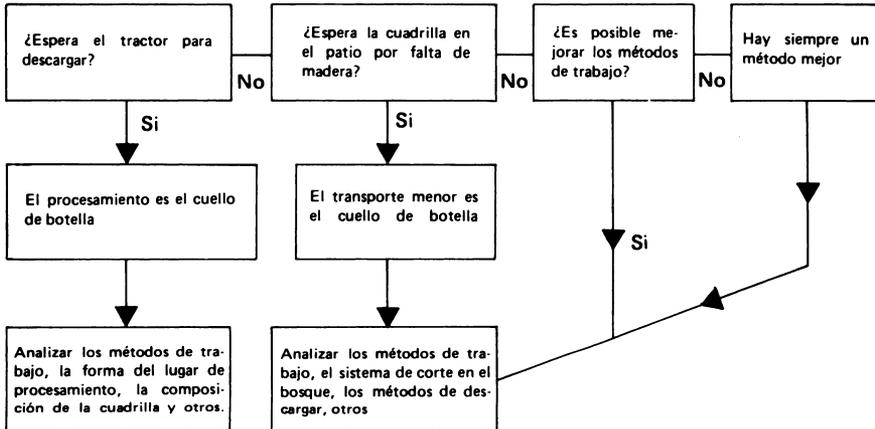
En este tipo de estudios muchas veces es suficiente usar la exactitud de tiempos en unidades de minutos. En los estudios de tiempo en el transporte influyen varios factores, como el clima, el terreno, rendimiento, características de los árboles, entre otras. Las desviaciones entre los tiempos registrados son generalmente grandes, por lo que para obtener un resultado real o con errores aceptables se debe lograr suficiente número de observaciones.

7.3.2.3 Análisis de los estudios

Hay técnicas sistemáticas para mejorar este análisis. En el siguiente esquema se da un ejemplo de una técnica de análisis en forma

de preguntas, en que se estudia el transporte de fustes enteros con un tractor (*skidder*) hasta un patio donde los fustes se cortan en trozas y se descortezan.

Ejemplo 2:



Se puede ampliar o elaborar éstas u otras preguntas más detalladas (ver Mattson Marn¹²). En el ejemplo 4 de este capítulo se da el resumen de un estudio hecho en el Perú, en 1967, sobre análisis de métodos y costos en un sistema mecanizado de aprovechamiento forestal.

7.4 ESTUDIOS DE COORDINACION ENTRE LAS OPERACIONES EN EL TRANSPORTE (*Teamwork*)

7.4.1 Generalidades

El aprovechamiento forestal más mecanizado implica que algunas operaciones van a ser más interdependientes, lo cual causa un aumento en los problemas de coordinación.

A continuación se describe un método para estudiar operaciones de transporte en las que intervienen varios recursos interdependientes.

7.4.2 Problemas de coordinación

Por “trabajos de coordinación” (*teamwork*) se entiende la interdependencia de las actividades de un número de unidades de producción (máquinas y personal) dentro de un área limitada y durante el mismo tiempo.

Existe dos clases de problemas de coordinación:

- a. coordinación **entre** fases separadas de la producción, que están estrechamente interdependientes con relación al tiempo.
- b. coordinación dentro de fases de producción.

En ambos casos puede haber cuellos de botella en la producción, los que limitarán la capacidad de todo el sistema. Por lo tanto, para mejorar la eficiencia de estos tipos de trabajo, lo fundamental es, en primer lugar, localizar el cuello de botella y eliminarlo.

Generalmente no es suficiente hacer inspecciones al azar al lugar de trabajo para obtener una imagen real sobre la “coordinación” entre las distintas operaciones o fases de transporte, ya que es muy difícil de esta manera obtener una visión completa de las actividades. Por lo tanto, el control tiene que ser sistematizado, lo que puede efectuarse por medio de una rutina especial. A continuación se discute un tipo de rutina que utiliza el centro de investigaciones *Logging Research Foundation* en Suecia.

7.4.3 Procedimiento del método “de la rutina”

Las operaciones ejecutadas por el equipo de trabajo (*team*) se registran en un cuadro de “multiactividad” (ver Fig. 94), que indica los tiempos cuando el trabajo está en marcha; el cuadro da una descripción cronológica del trabajo y puede usarse para analizar la actividad del “equipo de trabajo” así como la actividad de cada miembro en dicho equipo.

7.4.4 Definición de las actividades

Antes del estudio es necesario determinar qué operaciones y actividades tienen interés particular en el estudio. Según la experien-

cia en este tipo de estudios no es posible medir tiempos con una exactitud superior a **décimas de minuto**, por lo que la actividad más corta que se puede registrar es de aproximadamente 20 centiminutos (dos décimos de minuto). Se debe elaborar para cada operación la lista de las actividades que se quiere estudiar. En la práctica se recomienda el uso de abreviaturas para las distintas actividades, con el fin de simplificar el trabajo.

Sitio: _____ Fecha: _____

Tractor Skidder 1			Tractor Skidder 2			Tractor Cargador			Trozador 1			Trozador 2		
min.	tiemp.	not.	min.	tiemp.	not.	min.	tiemp.	not.	min.	tiemp.	not.	min.	tiemp.	not.
1	7.9	Espera descarga	1		Desaco.	1		Cargado camiones	1		Desacople los chokers	1		Desacople de chokers
					Trasl. Choken		2.9						3.2	
5			5		Vuelta al bosque	5		Limpiando (el patio)	5	4.2	Revisar el desrame	5		Revisión desrame
							6.7	Cargando		6.1				Troceo
	9.7	Soltar el cable					8.1	Limpiando			Troceo			
10			10			10		Cargar camiones	10	10.9	Arreglo trozas	10		Afilado cadena
		Vuelta al bosque		14.0	Espera descarga		13.1	Cargar camiones		13.6	Echando gasolina en motosierras		13.0	Desacople chokers
5				5			16.4	Cargar camiones	5	16	Ajuste del desrame	5	16.3	Troceo
							Recopilado carga		18.4				19.8	
10			10			10	20.4		10	21.2	Troceo	10		
								Cargar el camión	5	24.8	Arregla trozas	5	22.4	Espera de otra carga
5			5			5	27.0	Limpiar el patio	5		Espera de otra carga	5		

FUENTE: THE LOGGING RESEARCH FOUNDATION, SUECIA.

Fig. 94. Formulario para estudio de *Team-Work* o la coordinación entre distintas operaciones.

7.4.5 Técnica del estudio

Después de definir los recursos para el estudio y las actividades que se quiere registrar, se procede en la forma siguiente:

- a. los recursos encabezan las columnas del formulario (Fig. 94) usando una columna para cada recurso;
- b. colocar el reloj en cero (cronómetro o pulsera);
- c. poner el reloj en marcha y registrar en cada columna las actividades ejecutadas por cada recurso;
- d. tan pronto como un recurso procede a la próxima actividad, registrar la actividad anterior trazando una línea frente del tiempo correspondiente. Anotar el tiempo encima de la línea.

Cuando por ejemplo se analiza el arrastre de fustes enteros con tractores, es suficiente estudiar 2 a 3 horas ó 5 a 7 viajes ida y vuelta de los tractores.

7.4.6 Análisis de los datos obtenidos

El procedimiento para el análisis del trabajo es:

- a. cálculo de consumo de tiempo;
- b. análisis del tiempo de las interrupciones;
- c. análisis del tiempo efectivo.

El tiempo total se puede dividir en **Tiempo básico** (efectivo) y **Tiempo de interrupciones**; este último se divide en:

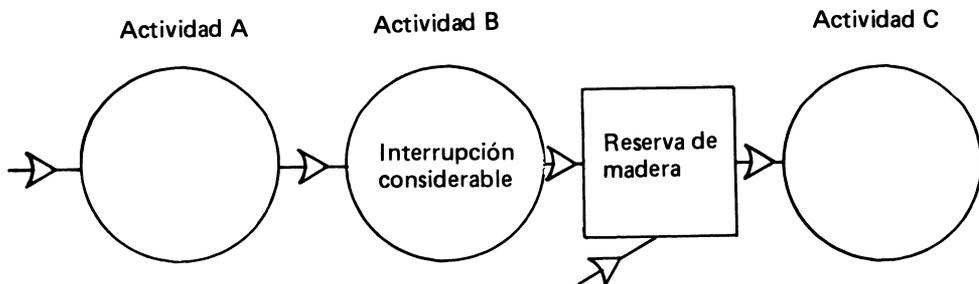
- 1) tiempo de reparaciones;
- 2) tiempo de mantenimiento;
- 3) tiempo de estorbos.

Análisis del tiempo de interrupciones

En el análisis del tiempo de interrupciones es importante diferenciar los distintos tipos de interrupciones:

El tiempo de reparación predomina

Con este tiempo de estudio normalmente no es posible emitir recomendaciones sobre la organización de los servicios de reparación. Sin embargo, si el estudio muestra que el tiempo de reparación de una máquina causa una interrupción considerable alargando la operación en conjunto, se debe considerar la posibilidad de almacenar una reserva entre la actividad donde se está reparando y la siguiente, para evitar una demora en toda la operación.



El tiempo de mantenimiento predomina

Esto demuestra que el recurso (máquina) considerado suponía una gran cantidad de tiempo sin operar. Por eso, en la investigación que sigue se debe tratar el tiempo de mantenimiento como si fuera un estorbo.

El tiempo de estorbo predomina

Cuando se registran los estorbos se debe distinguir: **tiempo de espera** y **estorbos debidos a otras causas**. El tiempo de espera es un síntoma de mala coordinación entre los distintos eslabones en la cadena de producción y debe ser objeto de análisis muy minucioso; se puede diferenciar las tres situaciones siguientes:

- i) Todos los miembros del “equipo” esperan, menos uno. Esto indica que existe un cuello general de botella en el sistema y se debe concentrar los análisis en buscar los medios para eliminarlo.
- ii) Todos los miembros del equipo esperan, pero en distintas horas. Esto es un síntoma de falta de coordinación dentro del “equipo” o grupo de trabajo. Una posible solución es almacenar suficiente reserva entre las actividades para evitar “cuellos de botella”.
- iii) Un miembro del “equipo” espera más que los demás. Si el “equipo” consiste solamente de dos miembros, este caso resulta en un cuello general de botella.

En un “equipo” más grande esta situación indica que se ha repartido desigualmente la carga de trabajo entre los miembros. En este caso se debe concentrar el análisis en estudiar la posibilidad de ejecutar una redistribución de las tareas específicas entre los miembros del grupo.

Análisis del tiempo efectivo

Hay dos razones para analizar el tiempo efectivo (básico): reestructurar las labores, y, mejorar la eficiencia de los recursos individuales de trabajo.

1) Reestructurar las labores

Esto se exige cuando existe un cuello general de botella o cuando no hay equilibrio en la distribución de las cargas de trabajo entre los miembros del grupo. El análisis debe ayudar a buscar la tarea que causa el cuello de botella y asignar esta tarea a otro miembro del grupo.

2) Mejorar la eficiencia de los recursos individuales de trabajo

Se puede considerar este tipo de medida, exista o no, el cuello de botella. Un método adecuado de análisis es comparar el tiempo efectivo registrado para cada recurso (por ejemplo, en minutos por metro cúbico de madera sólida) con datos empíricos para el tiempo correspondiente según métodos de trabajos más racionales.

Sin embargo, muchas veces (por ejemplo en el ambiente tropical) es muy difícil conseguir datos adecuados, por lo que es necesario realizar un análisis detallado en el campo para efectuar dicha comparación.

Ejemplo 3 (ejemplo práctico): para ilustrar la aplicación de la rutina descrita se da el siguiente ejemplo, el cual discute un método convencional de arrastrar fustes con tractores forestales (*Skidders*) hasta un patio intermedio.

Método de trabajo

Dos *Skidders* transportan fustes enteros hasta un patio intermedio donde se procesan los fustes a trozas; éstas se cargan en camiones con semi-trailers.

En el patio trabajan el siguiente personal y equipo:

- i) dos operarios con motosierras para el troceo y para segar las ramas que no fueron cortadas en el bosque;
- ii) un tractor con horquilla cargadora para mover y cargar madera y además limpiar el patio (un operario). La Fig. 95 muestra esquemáticamente el patio intermedio.

Procedimiento

Todo el estudio se efectúa en el patio intermedio y solamente durante un turno; en el formulario de la Fig. 94 se muestran 30 minutos de trabajo y se puede ver la división en recursos para efectuar el estudio.

Análisis de los datos obtenidos

1) Análisis del tiempo de interrupción

El formulario muestra que todos los miembros en el “equipo de trabajo” tenían tiempos de espera, menos el tractor cargador. Entonces, este tractor debe ser el cuello general de botella en el sistema; por eso se necesita un análisis especial del tiempo efectivo de esta máquina.

2) Análisis del tiempo efectivo del tractor cargador

Con base en el formulario se puede analizar el tiempo efectivo para el tractor cargador respecto a:

- i) trasladar algunas tareas del tractor a otros miembros del "equipo de trabajo";
- ii) mejorar la eficiencia en algunas tareas que ejecuta el tractor.

3) Traslado de las tareas a otro miembro

El estudio muestra que (Fig. 94):

- i) el operario del tractor usa cierto tiempo para arreglar y organizar la madera sobre el semitrailer, entre otros;
- ii) los operarios que trozan los fustes pueden, en cambio, realizar este trabajo;
- iii) el tractor cargador emplea un tiempo considerable para juntar la madera trozada. Se puede reducir este tiempo si los operarios trozadores dedican más tiempo para clasificar y apilar la madera.

Mejora de la eficiencia

El formulario del estudio muestra también que el tractor cargador ha dedicado relativamente una gran parte del tiempo a limpiar el patio, sacando desperdicios, barro y otros. Al usar un lugar de procesamiento (troceo) más grande y mejorar el método de mover los desperdicios ha sido posible reducir considerablemente el tiempo para limpiar el patio.

Resultado

Un estudio de 30 minutos pocas veces es suficiente para una evaluación crítica de la organización y de los métodos existentes; sin embargo, sólo unas horas de estudio pueden dar una buena imagen del funcionamiento y coordinación del trabajo para determinar dónde se debe concentrar el análisis, con el fin de mejorar la eficiencia.

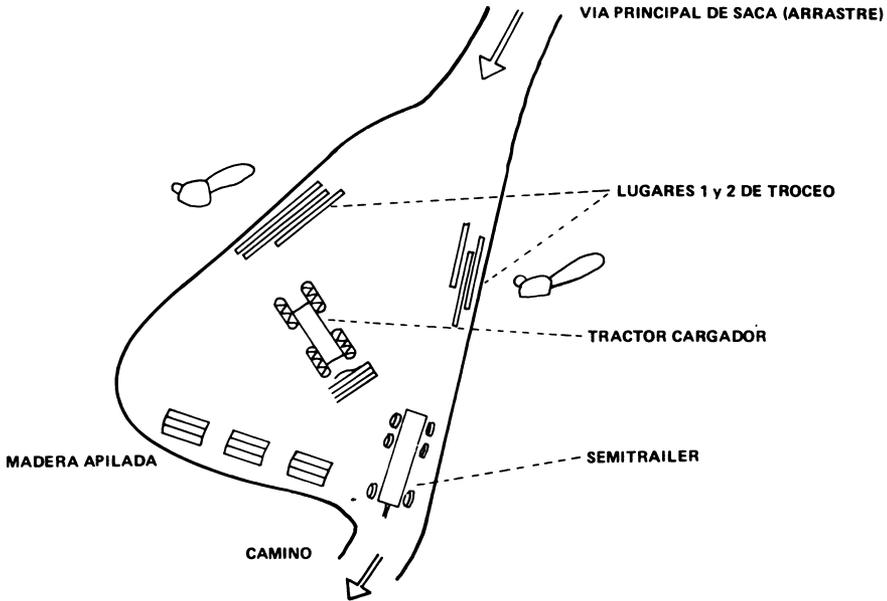


Fig. 95. El patio intermedio de procesamiento.

Ejemplo 4: este ejemplo es un resumen de un estudio práctico ejecutado en el Perú, en 1967 (Christiansen⁶) realizado durante un tiempo corto (8 días en el campo) y cuyo objeto fue obtener una idea sobre la eficiencia del método existente, especialmente en lo relativo a tiempos de espera, y con este conocimiento determinar los principales cuellos de botella en el sistema.

Con los datos se simuló un método alternativo y se probaron ciertas fases suyas en la práctica; la realización del estudio del método existente se basó parte en información proporcionada por la compañía forestal y parte en información obtenida del estudio de tiempos realizado (Estudio de Frecuencia).

Condiciones

El estudio se desarrolló en un período lluvioso (pp. anual 3 000 mm), en un área de 50 hectáreas a 45 km de la planta (fábrica de madera prensada) y 800 msnm, bosque tropical húmedo con gran número de especies, volumen comercial promedio 50 m³ por ha (se utilizó 26 especies), terreno motañoso con muchas áreas pantanosas.

En una visita preliminar al estudio se encontraron los siguientes “síntomas” indicadores de que el método existente presentaba algunas deficiencias:

- a. se utilizaba demasiada maquinaria;
- b. la madera en el patio intermedio estaba mal organizada;
- c. varias máquinas tenían mucho tiempo de espera.

El objeto del estudio era tratar de mejorar el rendimiento y la producción total por día, para lo cual se realizó las siguientes etapas:

- 1) descripción del método existente;
- 2) análisis de este método;
- 3) desarrollo de un método nuevo;
- 4) probar este método en ciertas fases.

Descripción del método existente

En la Fig. 96 se describe esquemáticamente la coordinación de los distintos recursos en el “equipo de trabajo” para el método existente (transporte del tocón hasta el patio intermedio); las máquinas tenían las siguientes funciones:

Máquina (Equipo)	Función
1 Tractor bulldozer tipo CAT D 4	— Construcción de vías de arrastre y transporte del tocón hasta la vía principal.
1 Tractor <i>Skidder</i> tipo <i>Tree-Farmer</i>	— Transporte de la vía principal hasta el patio intermedio (fustes enteros).
1 Tractor cargador tipo Allis Chalmer	— Trasladar trozas descortezadas en el patio del lugar de procesamiento hasta el lugar de carga en camiones.
1 Máquina cargadora con sistema de cables tipo Bantham Crane T 4	— En el patio para cargar los camiones

- 3 Camiones tipo Ford (capacidad de carga 9 toneladas c/u) — Transporte del patio hasta la fábrica (45 km).

El apeo en el bosque se realizaba con hacha, el descortezado en el patio con herramientas manuales (descortezadores con mango largo) y el troceo en el patio con motosierras (marca Dolmar).

Análisis de este método

Para analizar el método se usaron formularios como los mostrados en la Fig. 94, en los que se registró los tiempos de las actividades de los distintos recursos y su dependencia mutua.

De esta manera se obtuvo una buena imagen del trabajo de máquinas y obreros y las causas que originaron el tiempo de espera. Se encontró las siguientes fallas en el sistema:

- 1) el apeo y troceo se realizaron sin planificación alguna;
- 2) hubo muchos daños, y por ellos mucho tiempo de espera para las motosierras. No había una plataforma de trozas delgadas sobre la cual se pudiera realizar el troceo;
- 3) el Allis Chalmer de carga frontal sólo trabaja el 30 % del tiempo útil;
- 4) la grúa Bantham T 4 era muy ineficiente por el largo tiempo para cargar (45 minutos para cargar un camión) y largos períodos de espera para los camiones. El costo para la grúa fue también relativamente alto.

Desarrollo de un método nuevo

La Fig. 96 describe esquemáticamente la coordinación de los recursos del "equipo de trabajo" para el método alternativo; se cuenta con los siguientes recursos de trabajo:

Recurso (equipo)	Función
1 Tractor tipo CAT D 4	Sólo para construir y mantener vías de saca.
2 Tractores tipo <i>Tree-Farmer</i>	Transporte del tocón hasta el patio.

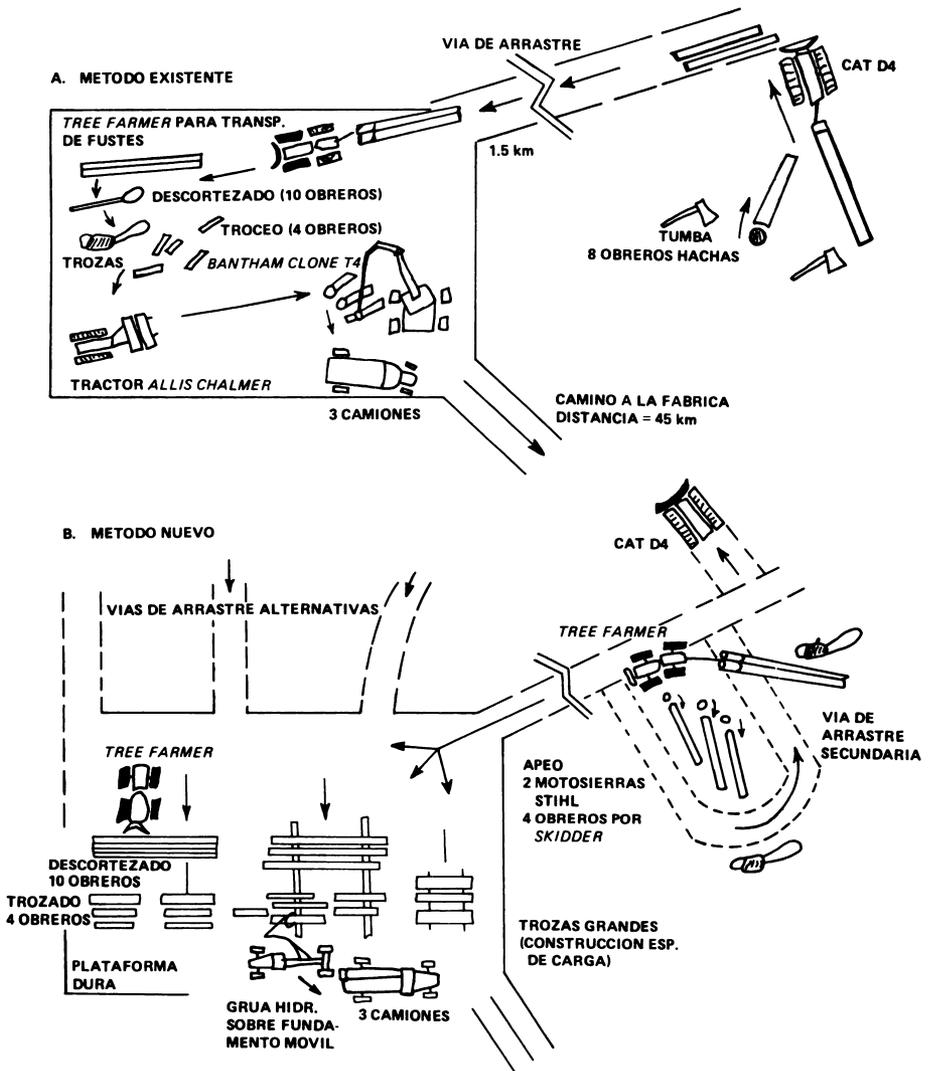


Fig. 96. Representación gráfica del ejemplo 5.

Recurso (equipo)	Función
1 Grúa hidráulica sobre un camión viejo	Cargar los camiones (en vez de la grúa Bantham T 4).
3 Camiones tipo Ford (capacidad de carga, 9 toneladas)	Transporte del cargadero hasta la fábrica.

En el bosque se tuvo dos motosierras y 4 obreros por cada tractor (*Skidder*); los árboles eran apeados hacia la vía para disminuir el tiempo de enganche con el cable. La distancia entre las vías secundarias era de 50 metros; éstas fueron hechas con el CAT D4 antes del apeo.

En el patio intermedio se hizo una plataforma para el troceo y las trozas se organizaron en líneas paralelas. El *Tree-Farmer* empujaba las trozas hacia la plataforma de carga haciendo de esta manera el mismo trabajo que el tractor Allis Chalmer en el método original. Se simuló una grúa hidráulica que hacía el trabajo de carga más rápido y más económico que la grúa Bantham T4. Se estimó que el 15 % del volumen aprovechado tenía que ser cargado por cables (algunas trozas demasiado pesadas para la grúa hidráulica).

Anotaciones sobre el método alternativo

- 1) hubo mucha dificultad para dirigir la caída del árbol hacia la trocha;
- 2) el tractor *Tree-Farmer* transportaba fácilmente desde el tocón hasta el patio;
- 3) debido al cambio de trocha, conservación y reparación de la misma, el tractor *Tree-Farmer* fue capaz de transportar más madera en el mismo período comparado con el método original;
- 4) el tractor CAT D4 se usó todo el tiempo para construir vías y no se necesitó para el trabajo de transporte.

Comparación económica entre los métodos

El Cuadro No. 20 presenta un resumen de los cálculos basados en el tiempo de estudio realizado, la experiencia en otros lugares e

CUADRO No. 20. Comparación económica entre los dos métodos.

METODO EXISTENTE			METODO ALTERNATIVO		
Inversiones, Soles	Rendimiento ton/hora	Costos por ton Soles	Inversiones, Soles	Rendimiento ton/hora	Costos por ton Soles
<i>Power saws</i> (6) 30 000	6	8	<i>Power saws</i> (6) 30 000	9	8
CAT D4 (1) 350 000	6	30	CAT D4 350 000	Constr. de vías	30
<i>Tree Farmer</i> (1) 350 000	6	20	<i>Tree Farmer</i> (1) 350 000	12	40
Allis Chalmer (1)	6	20	<i>Tree Farmer</i> (1) 350 000	—	—
<i>Bantham Crane</i> (1) 950 000 (para cargar)	5-6	40	—	—	—
—	—	—	Grúa Hidráulica montada sobre un fundamento móvil 150 000	9	7
Camiones (3) por contrato	5-6	35	Camiones (3) por contrato	9	35
Obreros (33)	6	32	Obreros (30)	9	20
SUMA Administración	5-6	185 20	SUMA Administración	9	140 20*
SUMA TOTAL (= 40 ton por turno)	5-6	205	SUMA TOTAL (= 60 ton por turno)	9	160

* El costo aumentado depende de la necesidad de un técnico en el bosque para organizar el trabajo.

27 S/ = 1 US\$ (1967)

información de la compañía. Esta tabla indica entre otras cosas que el Allis Chalmer para carga no era necesario y que la grúa Bantham T 4 era muy costosa y, por lo tanto, una inversión inadecuada. Además se ha concluido que el método alternativo es 45 soles más barato por tonelada de madera y un 50 % más de rendimiento (trabajo realizado).

7.5 ESTUDIOS PARA FIJAR SALARIOS

Los estudios de tiempo sirven para adquirir una base objetiva con que establecer salarios. A continuación se aclara los conceptos fundamentales referentes a las formas de pago antes de discutir la manera de emplear los estudios de tiempos para este fin (ver también Mattson Marn¹³).

Formas de pago

Al emplear mano de obra, es decir trabajo directo, hay que pagar salarios. Los salarios en la industria forestal, especialmente en los países tropicales, son un costo relativamente alto en la producción, por lo que se debe buscar formas para disminuir este costo.

El costo de un trabajo efectuado = el consumo de tiempo para realizar el trabajo multiplicado por el valor por unidad de tiempo del medio de producción.

El nivel del salario depende de la oferta y demanda de mano de obra, la exigencia de conocimientos, experiencias y forma de pago. Se puede aumentar la productividad por unidad de tiempo de un trabajo dado por medio de diferentes medidas de racionalización, por ejemplo mecanizando el trabajo.

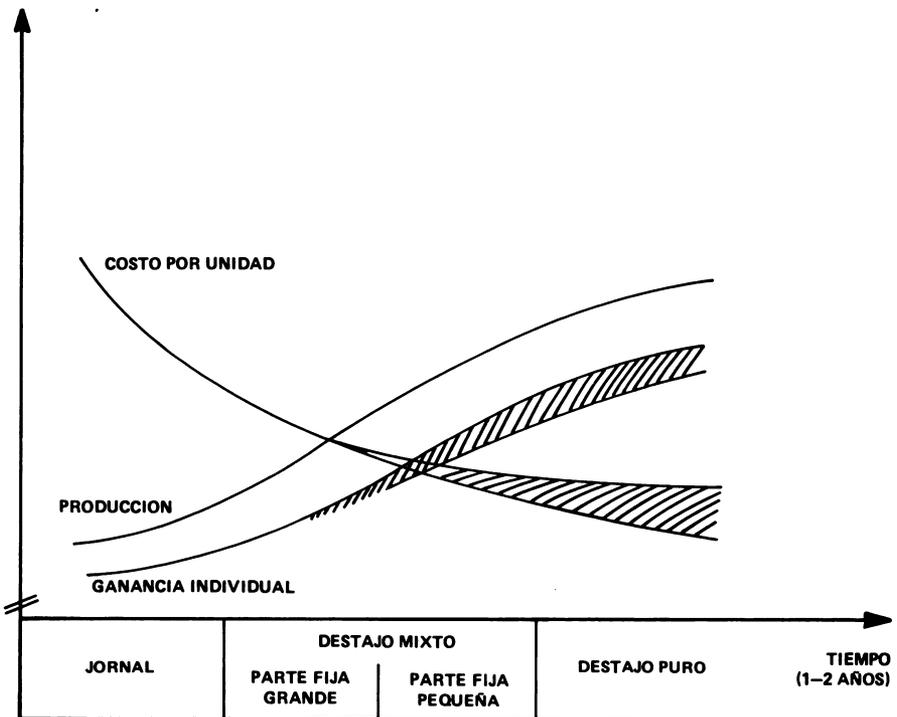
El rendimiento individual varía bastante entre obreros. La intensidad de trabajo varía mucho y una forma inadecuada de pago puede bajar considerablemente la intensidad de trabajo. Por este motivo la **forma de pago es un factor muy importante en todas las actividades.**

Existen distintas formas de pago, que estimulan a los obreros aumentando de esta forma el rendimiento; las más comunes son:

- 1) destajo puro simple o compuesto;
- 2) destajo mixto;
- 3) destajo por bonificación;
- 4) destajo de equipo;
- 5) destajo de grupo.

En este capítulo se limita la discusión al jornal, al destajo mixto y al destajo puro y los pasos consecutivos para introducir las distintas formas de pago en trabajos nuevos.

La Fig. 97 muestra cómo poco a poco se puede obtener un rendimiento más elevado, el cual puede hacer posible no sólo costos más bajos para la empresa sino también una ganancia más alta para los empleados.



Colección sistemática de experiencias en cuanto a costos y producción
Estudio de método y desarrollo técnico

Estudio de tiempo con el fin de explicar
las causas de las variaciones en la
producción

Análisis estadístico del material
del estudio y de los datos de
experiencia.

Fig. 97. Fijación de Salarios.

Fijación de salarios en un trabajo nuevo

Se puede desarrollar el sistema de pago en tres etapas. En la **primera** se paga el salario en forma de jornal porque el trabajo es nuevo tanto para los obreros como para el personal directivo. Durante esta etapa los obreros y directivos necesitan cierto tiempo de adiestramiento en las nuevas técnicas y métodos y en ella también se debe controlar el rendimiento para obtener una estadística sencilla de producción.

En la **segunda etapa**, cuando el método esté un poco estabilizado, se puede emplear una forma de destajo mixto, es decir se paga una parte fija (cierta suma por unidad de tiempo) y otra parte por destajo.

Las estadísticas de la producción sirven como base para establecer la parte de producción por destajo.

Al principio la parte fija debe dominar, pero se puede poco a poco disminuir y aumentar la parte de destajo a medida que aumenta la exactitud en los datos de producción (ver Fig. 97). De esta manera tendrá interés en aumentar su intensidad de trabajo, el rendimiento sube, lo cual disminuye los costos y da posibilidades de mejorar ganancias, tanto para la empresa como para el obrero. El rendimiento se debe controlar continuamente para mejorar la base de fijación de los destajos.

Cuando se haya conseguido la experiencia necesaria para hacer una estimación razonable del rendimiento, se puede cambiar la forma de pago al destajo puro (etapa tres), Fig. 97.

Ahora se tiene a disposición una cantidad de datos que puede dar una base suficiente para la estimación del nivel de producción. Es recomendable completar la estadística describiendo los factores que influyen en la producción y la manera como ellos influyen. Con esto se consigue también una cierta base para diferenciar el destajo cuando varían las condiciones. El tiempo de desarrollo del sistema de pago de la etapa uno a la etapa tres depende fundamentalmente del tipo de trabajo. Es recomendable concentrarse primero en el desarrollo del método. En la práctica las condiciones influyen en el sentido de que hay riesgo al comenzar con la etapa tres (destajo puro) demasiado temprano.



Fig. 98. Arrastre de madera con animales en algunos países de América Latina. (Foto P. Christiansen).

BIBLIOGRAFIA

1. AGER, B. Time formulas for felling operations, Estocolmo, Logging Research Foundation, Informe no. 12, 1967. 30 p.
2. ANAYA, H. y CHRISTIANSEN, P. Análisis de costos de transporte forestal, Medellín, (Mimeo). Centro de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia, 1972. 235 p.
3. ANDERSON, S. Skogstekinisk Driftsekonomi III, Estocolmo, Royal College of Forestry, 1966. 48 p.
4. BENDZ, M. y JARVHOLM, A. Logging and transport in tropical high forests; observation on methods, production and costs in the late 1960s, Estocolmo, Royal College of Forestry. Research note no. 38. 1970. 29 p.
5. CAMPOS, R. y CHRISTIANSEN, P. Estudio comparativo de tres métodos en el corte y trozado de árboles con relación al grado de dureza, Revista Forestal del Perú 1(2):18. 1967.
6. CHRISTIANSEN, P. Estudio de tiempos y costos de métodos de aprovechamiento con tractores modernos cerca de Tingo María, Perú, editorial, 1967. p.
7. _____ y KASTBERG, B. Análisis del transporte forestal con el sistema cable aéreo *Highland Trailer Alp*. Informe Técnico para el Gobierno de Guatemala por FAO. Guatemala, Instituto Nacional Forestal, 1977. 32 p.
8. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO Seminario sobre ocupación forestal en América Latina, Roma, año. 520 p.

9. HANSSON, J.E., LINDHOLM, A. y BIRATH, H. Men and tools in indian logging operations, a pilot study in ergonomics. Research notes, Estocolmo, Royal College of Forestry, 1966. 50 p.
10. HEDRING, O., NILSSON, P.O. y AKESSON, H. Analysis of some logging systems for thinning, Estocolmo, Logging Research Foundation, Reporte no. 4, 1968. 30 p.
11. KILANDER, K. Logging and timber transportation cost in developing countries, analysis of methodology, Estocolmo, s.e., 1966. 35 p. (Mimeo).
12. LUNDGREN, N. Arbetsfysiologi och bioteknologi (Fisiología de trabajo y biotecnología), Estocolmo, NK, 1965. 35 p.
13. MATTSON, H. Estudio de trabajo forestal. Conocoto, Ecuador, Centro de Capacitación Forestal, 1969. 49 p. (Mimeo).
14. SAMSET, L. y STROMNES, R. Time study of felling operations 1966. Vollebeck, Noruega, Norske Skogsforsoksvesen, 1968. 30 p.
15. SUECIA, Logging Research Foundation, Tidsbergrepp for maskinarbeten (Conceptos de tiempos en trabajo con maquinaria) Estocolmo, 1966, 25 p.

CAPITULO 8

TECNICAS DE APROVECHAMIENTO FORESTAL OPTIMO

8.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

El objetivo del presente capítulo es presentar a los ingenieros y estudiantes las herramientas analíticas óptimas, desarrolladas en las últimas décadas, que pueden tener gran aplicación en el manejo, economía y aprovechamiento de los recursos forestales.

Con la llegada de la revolución industrial ocurrió un crecimiento notable en el tamaño y complejidad de las organizaciones, los talleres de pequeños artesanos se convirtieron en los grandes complejos industriales contemporáneos. Una parte integral de este cambio revolucionario ha sido un aumento tremendo en la división y especialización de la mano de obra y segmentación en las responsabilidades de manejo en estas organizaciones. Los resultados han sido espectaculares, pero han creado nuevos problemas, como por ejemplo la creciente dificultad para distribuir de la manera más efectiva los recursos valiosos a las varias actividades de las organizaciones, como un todo.

Este problema de óptima distribución de recursos ha originado lo que hoy

se conoce como “investigación de operaciones”, cuya aplicación en la producción forestal es indiscutible, ya que esta revolución industrial ha invadido también el campo de la industria forestal; originándose la integración horizontal y vertical de los grandes complejos industriales forestales, con el objeto de obtener los máximos beneficios sociales y económicos de los bosques que hoy cubren la superficie terrestre.

La investigación de operaciones puede ser definida como un acercamiento científico a la toma de decisiones que comprendan operaciones de sistemas de organizaciones. En esencia ella concierne la “toma de decisiones” tanto en actividades del gobierno como en negocios, ingeniería, economía, ciencias sociales y naturales, donde se requiere distribuir recursos limitados².

8.2 PROGRAMACION LINEAL EN APROVECHAMIENTO FORESTAL

8.2.1 Alcances y limitaciones de la programación lineal

Los modelos analizados en el Capítulo 6 representan la aplicación de principios generales de la investigación de operaciones en planificación forestal. Esos modelos han sido resueltos por cálculo diferencial; pero en el aprovechamiento óptimo de los bosques tropicales se presentan algunos problemas que merecen atención especial. Estos han sido considerados como problemas de programación. En general las técnicas clásicas de máximo rendimiento suministradas por el cálculo diferencial no contribuyen mucho a su resolución; en consecuencia algunas técnicas de programación lineal pueden ser las herramientas indicadas para la solución de estos problemas especiales, en el aprovechamiento de bosques tropicales.

Antes de estudiar el problema, es esencial definir claramente el concepto de programación lineal:

- a. es una técnica matemática cuyo propósito es determinar la combinación óptima de varias alternativas de producción sometidas a algunas restricciones,
- b. desde un punto de vista estrictamente matemático, puede ser definida como el conjunto de funciones lineales óptimas sujetas a un conjunto de restricciones expresadas por desigualdades lineales³.

8.2.2 Soluciones de problemas de aprovechamiento forestal por programación lineal

Con el objeto de aplicar esta técnica a problemas de aprovechamiento forestal se analiza el siguiente ejemplo:

Condiciones: en un bosque tropical se aprovecharán dos especies A y B, para ser llevadas a un aserradero; se emplea dos motosierras, un tractor forestal de oruga y un camión. El tiempo requerido en horas-máquina por metro cúbico para cada operación y para cada especie está dado en el siguiente Cuadro:

CUADRO No. 21. Tiempo requerido para operación y especie (horas-máquina x m³).

Operación Especie	Apeo (2 motosierras)	Arrastre (1 tractor forestal)	Transporte (1 camión)
A	0.30	0.30	0.17
B	0.40	0.15	0.17

El tiempo efectivo de trabajo por día para las máquinas es:

Apeo	9 horas
Arrastre	6 horas
Transporte	6 horas

La ganancia neta por la venta de las trozas en el aserradero es de 10\$/m³ para la especie A, y 12\$/m³ para la especie B.

Problema: determinar los metros cúbicos X_1 y X_2 de las especies A y B respectivamente que lleven al máximo la ganancia diaria.

Solución: la función objetiva (ecuación de ganancia) al máximo es la siguiente:

$$Z = 10X_1 + 12X_2$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

- . $30X_1 + .40X_2 \leq 9$, apeo
- . $30X_1 + .15X_2 \leq 6$, arrastre
- . $17X_1 + .17X_2 \leq 6$, transporte
- $X_1 \geq 0$, imposible producción negativa
- $X_2 \geq 0$, imposible producción negativa

Este problema se puede representar gráficamente ya que sólo tiene dos variables X_1 y X_2 , es decir se trata de un caso bidimensional. Primero se determina gráficamente la región de restricción (soluciones factibles) de las cinco desigualdades, lo cual se obtiene trazando las rectas correspondientes a estas restricciones conforme se ve en la Fig. 99.

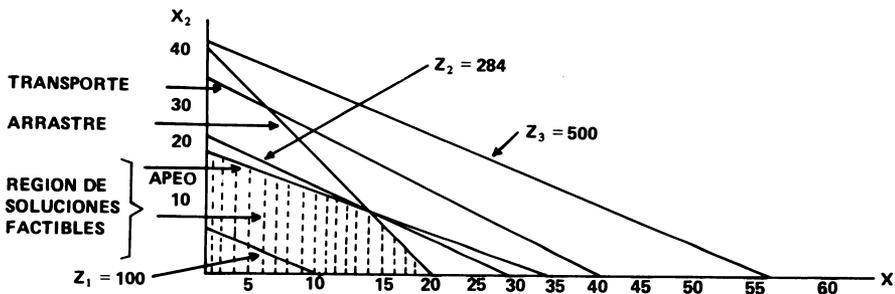


Fig. 99. Diagrama de función objetiva.

El conjunto de puntos que satisface las cinco restricciones, es aquel que se encuentra en la región de la Fig. 99; cualquier punto de esta región es una solución factible y solamente los puntos en esta región son soluciones factibles.

Para solucionar el problema debe encontrarse el punto (o puntos) en la mencionada región que dé el valor máximo de la función objetiva (ecuación de ganancia). Ahora para cualquier valor fijo de Z , la función $Z = 10X_1 + 12X_2$ es una línea recta y en cualquier punto sobre esta línea, Z tendrá el mismo valor. Para cada valor diferente de Z se obtiene una línea diferente. Todas las líneas correspondientes a diferentes valores Z son paralelas, debido a que la pendiente de cualquier línea $Z = C_1 X_1 + C_2 X_2$ es $-\frac{C_1}{C_2}$ y es independiente de Z ; en este caso $C_1 = 10$ y $C_2 = 12$.

La solución consiste en encontrar la línea que dé el máximo valor de Z (ganancia) y que tenga por lo menos un punto en común con la región de soluciones factibles. Las líneas paralelas en la Fig. 99 representan la función objetiva para tres valores diferentes de Z , de los cuales Z_2 es su máximo valor, que tiene un punto en común con la región de soluciones factibles. En consecuencia los valores de las variables X_1 y X_2 , que llevan al máximo la ganancia, se obtienen en la intersección de la recta de apeo con la recta de arrastre.

Resolviendo simultáneamente las ecuaciones de apeo y arrastre se determina los valores de X_1 y X_2 que dan la solución óptima:

$$.30X_1 + .40X_2 = 9 ; X_1 = 14$$

$$.30X_1 + .15X_2 = 6 ; X_2 = 12$$

y la máxima ganancia diaria será:

$$Z = 10 \times 14 + 12 \times 12 = 284 \text{ \$/día}$$

En este problema se observa que son las operaciones de apeo y arrastre las que limitan las ganancias.

Después de su análisis se puede generalizar más los problemas de programación lineal. Es posible resolver aquellos con tres variables, es decir casos tridimensionales aunque la representación geométrica sea más complicada. Cuando los problemas presentan más de tres variables ya no es posible aplicarles solución geométrica, siendo por lo tanto necesario emplear un proceso algebraico del método *simplex* que se acerca progresivamente a lo óptimo a través de un proceso iterativo bien definido, hasta llegar a la mejor solución.

Generalizando el problema resuelto se tiene que en vez de dos especies sean n especies y m operaciones. La ganancia de la especie i es P_i y el programa de producción es el siguiente:

Cuando un problema incluye muchas variables y restricciones, el cálculo manual es muy largo y tedioso, teniéndose en consecuencia que apelar a un computador electrónico para la ejecución de estos cálculos. La IBM ha elaborado un programa estándar (programa orientado) para resolver problemas de este tipo, cuya forma de uso en un Computador IBM-1130 está claramente explicado en el manual correspondiente¹.

8.3 PLANIFICACION DE OPERACIONES TERMINALES EN LA CADENA DE TRANSPORTE FORESTAL

Operación terminal es aquella cuyos costos por unidad de volumen son independientes de la distancia de transporte, p.e. apeo, desrame, troceo, descortezado, cargue y descargue. De estas operaciones solamente a las dos últimas se les puede aplicar ciertos modelos probabilísticos para su planificación.

El siguiente análisis define un modelo para determinar el nivel de servicio de estas operaciones.

Las operaciones de cargue y descargue dentro de la cadena de transporte forestal obedecen a la teoría de colas o líneas de espera (L.E.), presentando en consecuencia una distribución de llegadas *Poisson*, y un tiempo de servicio exponencial. No se intenta ni es el objetivo de este capítulo entrar en el análisis estadístico de las llegadas y tiempos de servicios, ya que sobre estos tópicos se ha hecho profundos estudios científicos a los cuales puede recurrir el lector que tenga interés en profundizar este campo⁵.

Sin entrar entonces a la deducción de las funciones matemáticas que gobiernan la teoría de colas se presenta en la siguiente discusión la aplicación de un modelo simple, con una sola estación de servicio en la planificación de operaciones de carga y descarga de camiones forestales. En la Fig. 100 se ilustra el proceso de una línea de espera.

En el modelo propuesto se emplea los siguientes términos y símbolos:

- N = Número de unidades en la línea de espera en el tiempo t
 P_n = Probabilidad de n unidades en la línea de espera en el tiempo t (o cualquier otro tiempo).

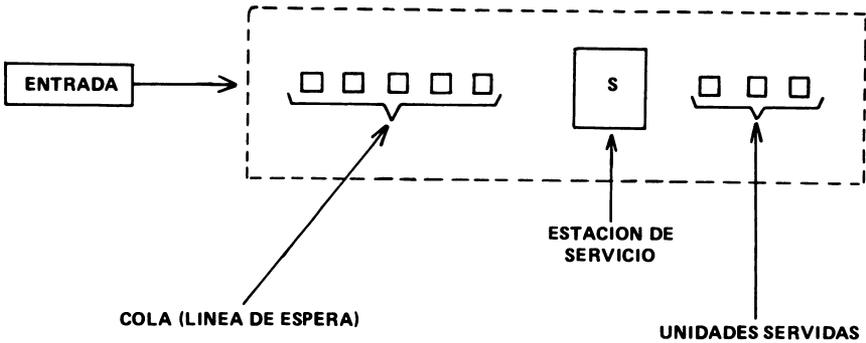


Fig. 100. Línea de espera elemental con una sola estación de servicio (operación de cargue o descargue).

λ = Intensidad de llegada (no. unidades servidas por unidad de tiempo).

μ = Intensidad de servicio (no. unidades servidas por unidad de tiempo).

\bar{t}_w = Tiempo promedio para cada unidad en la línea de espera.

\bar{t}_s = Tiempo promedio de servicio para cada unidad.

\bar{n} = Longitud (no. de unidades) promedio de una línea de espera.

Modelos:

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n (1 - \frac{\lambda}{\mu}) \quad \text{si} \quad \frac{\lambda}{\mu} < 1 \dots\dots (1)$$

$$\bar{n} = \frac{\lambda/\mu}{1 - (\lambda/\mu)} \quad \text{si} \quad \frac{\lambda}{\mu} < 1 \dots\dots (2)$$

$$\bar{t}_w = \frac{\bar{n}}{\lambda} - \bar{t}_s \quad \dots\dots (3)$$

$$\bar{t}_w + \bar{t}_s = \text{tiempo total}$$

$$\bar{t}_w + \bar{t}_s = \frac{\bar{n}}{\lambda} \quad \dots\dots (4)$$

Aplicación del modelo a la planificación de operaciones de descargue de madera:

Condiciones: una fábrica de pulpa recibe madera rolliza en una sola estación, donde se descarga los camiones. El promedio de llegada al azar es de 6 camiones por hora.

Problema: se quiere dar dimensión a la estación o la intensidad de servicio con el fin de conseguir un tiempo promedio de espera para los camiones, que no exceda a 0.1 hora por cada uno.

Datos conocidos:

$$\lambda = 6 \text{ camiones}$$

$$\bar{t}_s = \frac{60}{\mu} = \frac{1}{60} = \frac{1}{\mu}$$

$$\bar{t}_w = 0.1;$$

Se busca: intensidad de servicio

Solución: según la ecuación (2) se tiene:

$$\bar{n} = \frac{6/\mu}{1 - (6/\mu)} = \frac{6}{\mu - 6}$$

Utilizando este valor de \bar{n} en la ecuación (3) se tiene:

$$\bar{t}_w = \frac{6(\mu - 6)}{6} - \frac{1}{\mu} = 0.1$$

$$0.1 \mu^2 - 0.6\mu - 6 = 0$$

$$\mu^2 - 6\mu - 60 = 0$$

$$\mu = 3 \pm \sqrt{9 + 60} \approx 3 (\pm) 8.3 = 11.3$$

Para lograr que cada camión no tenga que esperar en la línea más de 0.1 hora (6 minutos) en promedio, se debe descargar en $60/11.3 = 5.3$ minutos por camión.

Si la compañía establece que el tiempo total promedio para un camión ($\bar{t}_w + \bar{t}_s$) sea de 6 minutos (0.1 hora), de la ecuación (4) se tiene:

$$0.1 = \frac{6 / (\mu - 6)}{6} = \frac{1}{\mu - 6}$$

. . $\mu = 16$ camiones

En consecuencia se debe disponer de una grúa con una capacidad para descargar 16 camiones por hora, o sea que el tiempo medio de servicio debe ser de $60/16 = 3.75$ minutos por cada uno.



Fig. 101. Longitud de la línea de espera dependiente de la proporción de intensidad de llegada a la intensidad de servicio.

Conclusiones del ejemplo:

Se puede concluir de la Fig. 101 que cuando las intensidades de llegada y servicio son aproximadamente iguales, se puede influir considerablemente en la longitud de la línea de espera y, por lo tanto disminuir el tiempo de espera con un aumento relativamente pequeño de la intensidad de servicio.

8.4 FUTURO DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES EN APROVECHAMIENTO FORESTAL

Dada la complejidad en el manejo de los recursos forestales y los altos costos de su aprovechamiento, la investigación de operaciones presenta un gran potencial para resolver muchos de estos problemas. En los países industrializados, las empresas forestales en su mayoría cuentan con departamentos de investigación de operaciones para desarrollar modelos tendientes a lograr actividades forestales óptimas. En resumen, las técnicas de investigación de operaciones tienden a implantarse en diferentes actividades del campo forestal. Un reto para el profesional forestal es determinar cuáles de estas técnicas deben ser usadas. Es cuestión de hacer uso y aplicación inteligente de las herramientas analíticas modernas en el campo del manejo, producción y economía forestales.

Los pasos consecutivos de un estudio típico en la investigación de operaciones para la industria forestal y especialmente el transporte forestal son los siguientes:

- a. formular el problema;
- b. construir un modelo matemático;
- c. deducir una solución del modelo;
- d. verificar el modelo y la solución derivada de él;
- e. establecer controles sobre la solución; y
- f. poner la solución en práctica: ejecución

Las herramientas esenciales para ello se pueden sintetizar así:

- a. matemáticas;
- b. teoría de las probabilidades y estadísticas;
- c. programación lineal;
- d. técnicas de trayectoria crítica;
- e. programación dinámica;
- f. teoría de las líneas de espera (colas);
- g. simulación; y
- h. ciencia de la computación.

Las más utilizadas actualmente para resolver problemas y operaciones complicados de transporte forestal son: programación lineal; técnicas de trayectoria crítica, programación dinámica, teoría de las líneas de espera (problemas de colas) y simulación. A continuación se da dos ejemplos sobre el uso de estas técnicas.

Ejemplo de solución por Programación Lineal:

Un problema de transporte típico de aprovechamiento forestal puede ser descrito como sigue: dadas ciertas cantidades de madera disponibles en cada uno de un cierto número de orígenes (áreas boscosas), se desea transportar cantidades específicas a un cierto número de destinos (fábricas), cuyo costo de transporte es conocido. Asumiendo que es posible llevar madera de cualquier área boscosa a cualquier fábrica interesa determinar su costo mínimo.

Supóngase que hay m orígenes y n destinos. Se toma X_{ij} como el número de unidades enviadas del origen i al destino j . Usando un subíndice doble se simplifica la anotación. Para un i dado (área boscosa) hay n posibles valores de j (fábricas). Por lo tanto se tiene un total de $m \cdot n$ diferentes X_{ij} . Puesto que las cantidades negativas no pueden ser enviadas, se tiene que $X_{ij} \geq 0$ para todos los valores de i, j (9).

Se posee a_i como el número de unidades de madera disponible en el origen i , y b_j como el número de unidades requeridas en el destino j . No se puede transportar más madera de cualquier origen que la disponible en ese origen. Por tanto sumando todos los destinos se obtiene:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = X_{i1} + X_{i2} + \dots + X_{in} \leq a_i, \quad i = 1 \dots m \quad (1-10)$$

Hay m restricciones, una para cada origen, suministrando a cada destino el número de unidades requeridas; por lo tanto:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = X_{1j} + X_{2j} + \dots + X_{mj} = b_j, \quad j = 1 \dots n \quad (1-11)$$

La cantidad total recibida en cualquier destino es la suma total de las cantidades despachadas hacia el mismo. Las necesidades de los destinos pueden ser satisfechas sí y solamente sí:

$$\sum_{i=1}^m a_i \geq \sum_{j=1}^n b_j \dots \dots \dots (1-12)$$

Se asume que este sea el caso.

Si C_{ij} es el costo para enviar una unidad de i a j , entonces el valor total del envío será:

$$Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} X_{ij} = (C_{11} X_{11} + C_{12} X_{12} + \dots + C_{1n} X_{1n}) + (C_{21} X_{21} + C_{22} X_{22} + \dots + C_{2n} X_{2n}) + \dots + (C_{m1} X_{m1} + \dots + C_{mn} X_{mn}) \dots \dots (1-13)$$

El primer término de la expresión a la derecha de la ecuación (1-13) es el costo de envío del origen 1, el segundo es del origen 2, y sucesivamente. Se desea encontrar $X_{ij} \geq 0$, que satisfaga las restricciones (1-10), (1-11) y minimice (1-13).

Ahora se resume el "problema del transporte"¹¹ como sigue:

Encontrar $X_{ij} \geq 0$ que minimice

$$Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} X_{ij} \dots \dots \dots (1-14)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq a_i \quad i = 1, \dots, m \quad (1-15)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j \quad j = 1, \dots, n$$

Este es un problema de programación lineal con $m \cdot n$ variables y con $m + n$ restricciones.

En lugar de escribir todas las ecuaciones involucradas, el modelo usualmente en este tipo de problemas se presenta en forma tabulada y concisa como se ilustra a continuación:

CUADRO No. 23. Costos y demanda* para especificar un problema de transporte.

	Destino			Oferta
	1	2n	
Origen	1	C_{11}	$C_{12} \dots \dots \dots C_{1n}$	a_1
	2	C_{21}	$C_{22} \dots \dots \dots C_{2n}$	a_2

	m	C_{m1}	$C_{m2} \dots \dots \dots C_{mn}$	a_m
Demanda	b_1	b_2	b_n	

(*) Estos son suficientes para especificar completamente un problema de transporte preparatorio a su solución.

CUADRO No. 24. Matriz de transporte.

	Destino				Oferta	
	1	2	n		
Origen	1	X_{11}	X_{12}	$\dots \dots \dots$	X_{1n}	a_1
	2	X_{21}	X_{22}	$\dots \dots \dots$	X_{2n}	a_2

	m	X_{m1}	X_{m2}		X_{mn}	a_m
Demanda	b_1	b_2		b_n		

Estos datos (Cuadros nos. 23 y 24) son a menudo combinados insertando Cij en una esquina de la respectiva celda.

Aplicación del “Problema del transporte” en aprovechamiento forestal:

Condiciones: una empresa forestal tiene cinco concesiones (orígenes) y tres plantas de pulpa (destinos). El volumen en las primeras es igual al necesario para las plantas así:

Concesiones (miles de toneladas)		Plantas (miles de toneladas)	
1:	10	A:	30
2:	25	B:	20
3:	20	C:	50
4:	35		
5:	10		
Suma:	100		100

CUADRO No. 25. Matriz 1. Costos de madera de cada concesión a las plantas (en dólares por tonelada).

	Plantas			
	A	B	C	
Concesiones	1	300	40	150
	2	50	300	100
	3	250	100	90
	4	75	300	250
	5	150	200	60

Es decir que la madera de la concesión 1 tiene un costo para la fábrica A de 300 pesos por tonelada, incluyendo el precio de la madera en pie, los costos de explotación y de transporte hasta la planta.

Problema: ¿qué cantidad de madera en toneladas se debe enviar de cada concesión a cada planta con el objeto de minimizar los costos?

Solución: se comienza poniendo cantidades lo más grandes posibles en las celdas que tienen los costos menores. El menor en la matriz 1 es de 40 pesos para madera de concesión 1 a planta B (C_{12}). Entonces se pone la cantidad más grande en esta celda, es decir 10 000 toneladas (X_{12}) porque no hay más en la concesión 1. El menor costo después de C_{12} es $C_{21} = 50$, por lo tanto a X_{21} es posible darle 25 000 toneladas.

Se continúa en la misma forma hasta abastecer completamente a todas las plantas. La matriz 2 muestra el resultado (Cuadro No. 26).

CUADRO No. 26. Matriz 2. Primera solución en miles de toneladas.

		Plantas			
		A	B	C	
Concesiones	1	—	10	—	10
	2	25	—	—	25
	3	—	10	10	20
	4	5	—	30	35
	5	—	—	10	10
		30	20	50	

Ahora se tiene una solución que cumple las condiciones 1-15 con un costo total $Z_1 = \$ 12\,025.000$. ¿Es éste el costo mínimo? Para encontrarlo se confecciona una matriz con costos ficticios (C_f); pero antes se debe controlar si la matriz 2 es una solución válida, cuyas condiciones son:

- a. las condiciones 1-15;
- b. el número $X_{ij} > 0$ tiene que ser exactamente $m + n - 1$, en este caso $5 + 3 - 1 = 7$;
- c. que no sea posible trazar un polígono cerrado con los lados verticales y horizontales cuyas esquinas sean los puntos centrales de las celdas, donde $X_{ij} > 0$.

Esta matriz cumple todas estas condiciones entonces es una solución válida.

Los costos ficticios se calculan de la siguiente manera:

- a. se llena las celdas de la matriz 3 que tienen cantidades en la matriz 2 con los costos reales (C_{ij}), encerrándolos con círculos;
- b. en los márgenes de la misma (matriz 3) se coloca los números que cumplan la siguiente condición:

$$K_i + f_j = C_{ij} \quad (1-16)$$

Donde K_i representa los números en el margen vertical y f_j los del horizontal.

Se asigna a uno de los K_i ó f_j el valor 0. En la matriz 3 se asigna $K_3 = 0$. Entonces $f_2 = 100$ y $f_3 = 90$, K_4 y K_5 tienen los valores 160 y 30 respectivamente. De la misma forma es posible calcular todos los valores de k_i y f_j . Después se calcula los costos (C_{fij}) y los valores C_{ij} , para las celdas vacías (matriz 3) de la manera siguiente:

$$C_{fij} = K_i + f_j$$

En los subíndices dobles siempre figura primero el correspondiente a la fila y en segundo lugar el de la columna.

De este modo $C_{f_{11}} = -60 + (-85) = -145$

$C_{f_{13}} = -60 + 90 = 30$; $C_{f_{22}} = 135 + 100 = 235$, otros

CUADRO No. 27. Matriz 3. Costos reales (en círculos) y costos ficticios.

	A	B	C	K_i
1	-145	40	30	-60
2	60	235	225	135
3	-85	100	90	0
4	75	260	250	160
5	-115	70	60	-30
f_j	-85	100	90	

Una solución es óptima si la diferencia de los costos ficticios y los costos reales para cada celda resulta ≤ 0 , es decir:

$$C_{f_{ij}} - C_{ij} \leq 0 \quad i = 1,2,3,4,5, \text{ y } j = 1,2,3$$

En la matriz 4 se tiene estas diferencias calculadas (Cuadro No. 28).

CUADRO No. 28. Matriz 4. Diferencias de costos ficticios y costos reales ($C_{f_{ij}} - C_{ij}$).

	A	B	C
1	-445	0	-120
2	0	-65	+125
3	-335	0	0
4	0	-40	0
5	-265	-130	0

El Cf_{23} en la matriz 4 tiene un valor > 0 ($Cf_{23} - C_{23} = 225 - 100 = 125$). Entonces, la solución en la matriz 2 no es la óptima, es decir el costo total no es mínimo.

Para mejorar la primera solución (matriz 2) se remueve la cantidad (toneladas) más grande posible a la celda que tenga la diferencia más grande ($Cf_{ij} - C_{ij}$) positiva (matriz 4). Esta cantidad se determina a partir de las cantidades de la primera solución (matriz 2), que forman un rectángulo con la celda ya identificada y ubicada en una esquina (condiciones de una solución válida).

En este caso, las cantidades X_{43} , X_{41} y X_{21} son las que van a ser afectadas. La menor de X_{43} y X_{21} decide cuantas toneladas es posible remover a X_{23} en cumplimiento de las condiciones primera y tercera.

La matriz 5 muestra los traslados de las cantidades.

CUADRO No. 29. Matriz 5. Cambio de cantidades, segunda solución.

	A	B	C
1		10	
2	$25 - 25 = 0$		+25
3		10	10
4	$5 + 25 = 30$		$30 - 25 = 5$
5			10

Esta solución establece otra matriz (matriz 6) de costos ficticios conforme a la técnica descrita antes, y otra con las diferencias $Cf_{ij} - C_{ij}$ (matriz 7).

CUADRO No. 30. Matriz 6. Costos reales y ficticios de la segunda solución.

	A	B	C	K_i
1	-145	40	30	-60
2	- 75	110	100	10
3	- 85	100	90	0
4	- 75	260	250	160
5	-115	70	60	-30
f_j	- 85	100	90	

CUADRO No. 31. Matriz 7. $Cf_{ij} - C_{ij}$ para la segunda solución.

	A	B	C
1	-445	0	-120
2	-125	-190	0
3	-335	0	0
4	0	- 40	0
5	-265	-130	0

Esta matriz muestra que todas las diferencias $Cf_{ij} - C_{ij}$ tienen valores iguales o menores a cero. Entonces, la segunda solución (matriz 5) es la óptima, cuyos envíos serán:

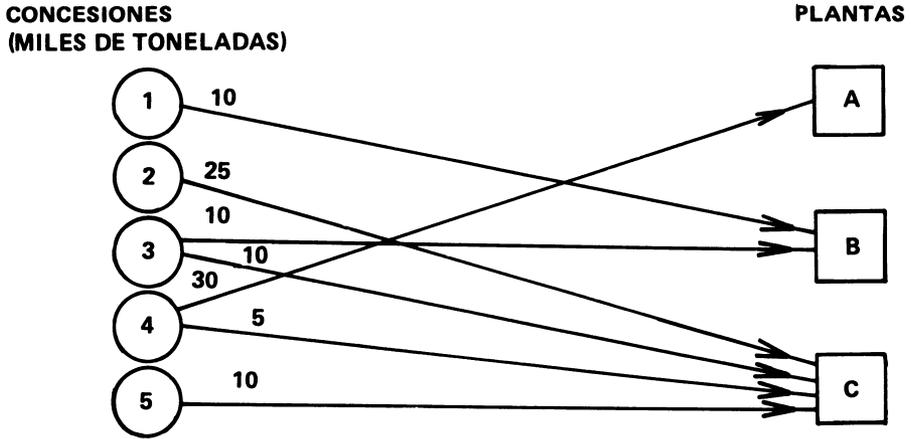


Fig. 102. Asignación óptima de cada concesión a cada planta.

Esta solución presenta el costo total mínimo que se puede determinar así:

$$Z_2 = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 C_{ij} X_{ij} = 0 \times 300 + 10\,000 \times 40 + 0 \times 150 + \dots \dots \dots$$

$$\dots \dots \dots 0 \times 200 + 10\,000 \times 60 = 8.9 \text{ millones}$$

$$Z_1 - Z_2 = 12\,025\,000 - 8\,900\,000 = 3\,125\,000$$

Entonces, los costos disminuyen en \$ 3 125 000 con estos cálculos simples.

La programación dinámica es una técnica matemática útil para hacer una secuencia de decisiones interrelacionadas. En contraste con la programación lineal no existe una formulación matemática de los problemas. Ella constituye un tipo general de acercamiento a la solución del problema y la ecuación particular usada debe ser desarrollada de tal manera que se ajuste a cada situación en particular.

Ejemplo Programación dinámica: el siguiente ejemplo ilustra una manera de minimizar los costos de transporte de un origen a un destino por diferentes rutas. Se desea transportar madera del origen 1 al destino 10, pudiendo efectuarse por diferentes rutas como se muestra en la Fig. 103 (flechas).

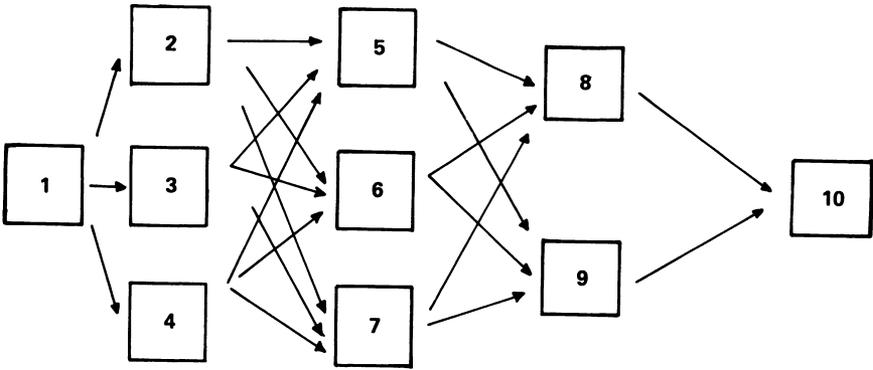
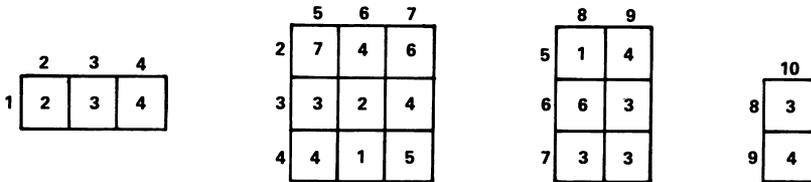


Fig. 103. Diferentes rutas de transporte de madera (1 a 10).

¿Qué ruta “minimiza” el costo total de transporte?

Solución: en programación dinámica siempre se trabaja de atrás hacia adelante por lo tanto el análisis se inicia del destino hacia el origen:



COSTOS MINIMOS:

8 → 10	5 → 8	3 → 5	1 → 3
3	1	3	4

$$\Sigma = 11$$

BIBLIOGRAFIA

1. IBM, Program Description Manual, H20-0342-1. 1130 Project control system, 1130-CP-05X, New York, 1969. 124 p.
2. LIEBERMAN, G. y HILLIER, F. Introduction to operations research, San Francisco, Holden-Day, 1968. 639 p.
3. LUSSIER, L.J. Planning and control of logging operations, Quebec, Laval University, Forest Research Foundation, 1961. 135 p.
4. MATTHEWS, D.M. Cost control in the logging industry, New York, Mc-Graw Hill, 1942. 374 p.
5. SACIENI, M. *et al.* Operations research, New York, Wiley, 1959. 316 p.

CAPITULO 9

MEDIDAS DE SEGURIDAD EN APROVECHAMIENTO FORESTAL

9.1 INTRODUCCION

Las actividades de aprovechamiento forestal presentan altos riesgos de accidentes y enfermedades profesionales, comparadas a otras de carácter industrial. Por esta razón se tratará los aspectos básicos para medidas de seguridad en operaciones forestales. Algunas de las consideraciones parecen ser de sentido común; sin embargo, son fundamentales para evitar accidentes; este capítulo está integrado básicamente por algunos apartes de la tesis no publicada del Ingeniero Forestal César Urrego A¹⁰.

En las últimas décadas, algunos países de América Latina han alcanzado un avance tecnológico considerable en las operaciones forestales; esto ha mejorado las condiciones de trabajo y aumentado el rendimiento, pero se ha creado riesgos de accidentes y enfermedades que exigen la fijación de normas de seguridad industrial en las actividades forestales.

Además de los accidentes causados por la mecanización se debe tener en cuenta los trastornos y desequilibrios psicofisiológicos originados por el ruido, las vibraciones, los gases, el manejo com-

plicado de equipos especializados, el contacto con animales venenosos y ciertas plantas que exponen al hombre a diferentes zoonosis.

En el presente capítulo sólo se da una orientación fundamental en los diferentes aspectos de seguridad.

9.2 PRINCIPIOS BASICOS DE ERGONOMIA

9.2.1 Definiciones

Ergonomía (Biotecnología) es la investigación aplicada (biológica, fisiológica, médica, psicológica y tecnológica) para modificar los métodos y el equipo laboral, las condiciones de trabajo y vida, de acuerdo a las leyes del organismo humano y su conducta; para evitar la fatiga excesiva e innecesaria, los accidentes y las actividades improductivas y aumentar el rendimiento⁷.

Esta ciencia se apoya en tres pilares⁴:

fisiología del trabajo;
ingeniería industrial; y
psicología.

La primera indica las posibilidades de enfermedades profesionales; para lo cual se debe conocer las variaciones que experimenta el organismo humano en sus múltiples funciones fisiológicas.

La segunda se basa en estudios antropológicos y fisiológicos para diseñar máquinas, herramientas, locales y organización del trabajo en forma racional.

La tercera valora la necesidad de instrucción en un puesto de trabajo, capacidad de razonamiento, inteligencia práctica, atención, memoria visual, memoria auditiva, comprensión y conocimientos sobre la prevención de accidentes.

El psicólogo, el fisiólogo y el ingeniero de seguridad deben desarrollar una acción conjunta que los conduzca al conocimiento del hombre para adaptar todas las condiciones del medio ambiente a él⁴.

Se debe investigar dos áreas:

- a. el hombre y
- b. el puesto o lugar de trabajo.

En cuanto al primero se refiere se confecciona una ficha que refleje:

- 1) las exigencias físicas, es decir la cuantificación de aptitudes fisiológicas que se requieren para determinado puesto de trabajo;
- 2) las exigencias síquicas; y
- 3) las exigencias mecánicas, es decir el diseño de máquinas y herramientas de trabajo.

En cuanto al puesto de trabajo concretamente se refiere:

- 1) al ambiente de trabajo, o sea los factores exteriores e interiores:
 - a) físicos: temperatura, humedad, iluminación, ruido, otros;
 - b) químicos: contaminación, sólidos, líquidos, gases;
- 2) al trabajo propiamente dicho. Su descripción y finalidad se debe llevar a cabo formulando las preguntas: ¿qué se realiza? ¿cuándo y dónde se realiza? ; está integrado por dos factores: el técnico y el humano. El primero comprende el objeto, la clase y el equipo de trabajo, los riesgos que entraña, los equipos de protección, entre otros.

Si se realiza esta investigación, se mostrará la adecuación o discordancia de las aptitudes del trabajador para el puesto a cubrir.

El campo de acción de la Ergonomía está constituido por los sistemas tecnológicos en particular por los sistemas hombre y máquina, según ciertos criterios de seguridad, bienestar, satisfacción, acomodación, atendiendo a los procesos de comunicación que se establecen entre el hombre y los medios de trabajo⁵.

El análisis de los sistemas mencionados debe tener en cuenta sus siguientes aspectos⁶:

- a. salidas: rendimiento y producción;
- b. entradas: energía, materia prima, otros;
- c. estructura: relación entre los elementos del sistema;
- d. funciones: transformación que efectúan las variables de entrada para originar aquellas de salida;
- e. funcionamiento: orden de cada una de las funciones, condiciones y reglas de acuerdo al orden; y
- f. ambiente: temperatura, calor, ruido, ventilación, humedad y vibraciones.

En resumen, la ergonomía se propone intervenir, ya preventivamente o correctamente para eliminar errores y defectos; evitar accidentes, fatiga, desgaste de instrumentos y desperdicios de materiales de energía; reducir costos y, en suma, aumentar los rendimientos.

9.2.2 Clases de accidentes:

Se los clasifican así: colisión, golpe, prensado, caídas, resbalamiento, exposición a temperaturas extremas, inhalación o ingestión de sustancias tóxicas, contacto con corriente eléctrica, otros.

El acto inseguro es la violación de un procedimiento comúnmente aceptado como seguro, lo que provoca un determinado tipo de accidente. Algunos ejemplos son los siguientes: operar sin autorización o a velocidad inadecuada (despacio o rápido), uso de equipo inseguro, adopción de una posición insegura, otros.

El factor personal inseguro es la característica mental o física que permite o provoca un determinado acto inseguro. A continuación se da algunos ejemplos: actitud impropia, falta de conocimientos o práctica, defectos físicos, otros.

El siguiente ejemplo muestra la importancia de cada uno de estos factores:

un obrero resbala al pasar sobre arcilla húmeda, inconscientemente choca con el encargado de la lubricación, quien en este

momento está en la tarea de aceitar una winche. La máquina no tiene protección alguna en sus engranajes y la mano del lubricador es gravemente mutilada. Al analizar el accidente aparece el siguiente cuadro:

Agente	winche
Parte del agente	engranaje
Condición física	
o mecánica insegura	falta de protección del engranaje
Tipo de accidente	lesión de una mano
Acto inseguro	lubricar un equipo en movimiento
Factor personal inseguro	desobediencia del lubricador.

En la mayoría de los accidentes intervienen con mayor frecuencia: la condición física o mecánica insegura, el acto inseguro, el factor personal inseguro.

Análisis e investigación de un accidente: en el proceso se debe seguir los siguientes pasos^{8,9}:

- a. investigación minuciosa realizada por varias personas, cada una debe rendir un informe;
- b. análisis y valoración de los factores descubiertos;
- c. generalización del estudio a toda la empresa;
- d. recomendación de medidas preventivas; y
- e. archivo y elaboración de estadísticas.

Es muy importante realizar la investigación con el ánimo de prevenir y evitar los accidentes y no con el propósito de determinar culpabilidades; ya que esto fomentaría cierta actitud de ocultación, dificultando o imposibilitando la obtención de todos los datos.

La investigación, inspección y análisis (incluyendo el de seguridad en el trabajo) conducen invariablemente a la adopción de medidas correctivas, y pueden considerarse como las piedras angulares en la prevención de accidentes.

ANALISIS DE LA CAUSA**Entrenamiento**

- ninguno
- no obligatorio
- incompleto
- equivocado

Práctica insegura

- correr riesgos
- atajos
- a prisa

Deficiente aseo y orden

- apilamiento inadecuado
- congestión
- material diseminado o mal envasado

Ineptitud del trabajador

- inexperto
- inepto
- ignorante
- poco criterio

Incapacidad física

- defectuoso
- fatigado
- débil
- enfermo

Equipo defectuoso

- material y equipo misceláneo
- máquinas y/o herramientas
- falta de mantenimiento
- mal hecho, defectos, otros.

Falta de concentración

- distraído
- desatento
- atolondrado

Condiciones impropias de trabajo

- ventilación
- higiene
- luz
- temperatura

Inseguridad del local

- protección contra incendio
- salidas de evacuación
- pisos
- ventanas

Planeación impropia

- distribución de operaciones
- distribución de maquinaria
- procesos inseguros

Incapacidad mental

- lento
- iracundo
- excitable

- () falta de equipo
- () enfermo
- () falta de datos
- () problemas familiares

Indumentaria impropia

- () falta de guantes, gafas, máscaras o cascos
- () inadecuada (manga larga)
- () tacones altos, calzado impropio
- () descuido en usar calzado de seguridad

9.2.3 Causas de los accidentes

Pueden ser las siguientes:

- a. actos inseguros: todo accidente de trabajo resulta de la concurrencia de un riesgo físico y una conducta defectuosa como:
 - 1) verificar una labor sin conocerla lo suficiente;
 - 2) llevar a cabo una operación peligrosa sin avisar a los compañeros;
 - 3) alcanzar una velocidad insegura en la labor;
 - 4) no controlar los dispositivos de seguridad;
 - 5) usar equipo impropio en una labor;
 - 6) actuar durante el trabajo en posición insegura;
 - 7) trabajar con equipo en movimiento;
 - 8) distraer a los compañeros durante la ejecución de una labor;
 - 9) olvidar la colocación de los aparatos de protección;
 - 10) no atender las instrucciones;
- b. defectos físicos (miopía);
- c. fatiga del obrero: física (muscular); intelectual (*surmenage*); y moral (problemas económicos y familiares);
- d. desadaptación por falta de actividades, pues no todos sirven para cualquier labor ni cualquier máquina puede ser manejada por todos;
- e. falta de atención del obrero;

- f. hipoglicemia: la glucosa sanguínea debe estar en el límite normal. La debilidad y la astenia traen consigo la disminución de la glucosa sanguínea, perdiendo el individuo el control de sus movimientos, y la misma capacidad defensiva frente a la agresión mecánica;
- g. falta de sueño el cual no debe durar menos de 6 horas; de lo contrario se favorece el que ocurran accidentes, porque el obrero que no ha dormido suficientemente trabaja defectuosamente;
- h. alcoholismo: produce una disminución en la sensibilidad cutánea, trastornos sensoriales preferencialmente de la visión, audición y una falsa sensación de valentía que hace ignorar el peligro;
- i. tertulias en los talleres; se presentan mucho cuando el personal es joven;
- j. desentrenamiento en los días lunes. Entre la máquina y el operario debe haber una complementación. El obrero después de semanas, meses o años conoce a cabalidad las cualidades y peligros de la máquina a su cargo;
- k. proceso mecánico o químico peligroso: existe peligro en las actividades industriales de los dos procesos señalados, y a medida que aumenta este, las precauciones de seguridad deben ser incrementadas.

9.2.4 Costos de los accidentes

Esto incluyen^{2,3}:

- a. atención médica e indemnización a los trabajadores;
- b. demora en la producción y daños a la propiedad a causa de los accidentes, sea que éstos causen o no lesiones a los trabajadores. Sin la información de costos sobre accidentes es imposible calcular el beneficio obtenido mediante las erogaciones destinadas a la seguridad.

En general se ha reemplazado el concepto de costo directo e indirecto por costo asegurado y no-asegurado, lo que facilita la

clasificación total del accidente en cuanto a los elementos asegurados y no asegurados.

En este caso, el costo asegurado constituye lo que paga la empresa al organismo de seguridad social (por ejemplo, el ICSS en Colombia) por concepto de la suma que ampara el riesgo de accidente.

Los costos no-asegurados incluyen:

- 1) costos por tiempo perdido pagado a los trabajadores no lesionados. Se refieren a los empleados que suspenden la labor para ver o ayudar después del accidente o para comentarlo; los que necesitaban ayuda o producción por parte del trabajador lesionado; los que debían emplear el equipo dañado por el accidente;
- 2) costo de daño al material o al equipo. Este se debe valorar con base en el costo de reventa del equipo en el momento del accidente para no inflar los costos no asegurados;
- 3) costos de salarios pagados al trabajador lesionado durante el tiempo de incapacidad;
- 4) costo por el tiempo extra de trabajo requerido después del accidente; es decir la recuperación de la pérdida en la producción;
- 5) costos de los salarios pagados a los supervisores durante las actividades motivadas por el accidente. Este tiempo hubiera sido utilizado en planear e instruir a los trabajadores;
- 6) costos por el período de entrenamiento de un nuevo trabajador;
- 7) costos por el tiempo empleado durante la supervisión en la elaboración del informe y por los trabajadores de oficina en la investigación del accidente y trámites de la indemnización;

- 8) costos misceláneos eventuales:
 - a) incumplimiento en entrega de mercancías;
 - b) lucro cesante del equipo; y
 - c) aumento de desperdicios;

Los costos asegurados incluyen:

- 1) costos de seguridad y prevención, y
- 2) costos de tiempo empleado en el arreglo y tramitación de los accidentes ocurridos.

9.2.5 La seguridad como responsabilidad de la Gerencia

Para alcanzar y mantener en vigor un sistema eficaz, que elimine en cualquier establecimiento industrial los accidentes evitables, la gerencia debe responsabilizarse tal como lo haría en cualquier otra actividad. De ahí debe surgir el estímulo para la seguridad, como una parte importante de todas las actividades.

El gerente debe comunicar con claridad a todos los supervisores su apoyo al programa de seguridad; esta política debe ser expuesta por escrito a toda persona que trabaja en la empresa.

La gerencia debe propender al:

- a. control de las condiciones físicas;
- b. control de las prácticas de trabajo; y a la
- c. seguridad y producción.

9.3 SEGURIDAD EN ARRASTRE DE TROZAS CON TRACTORES

- 9.3.1 Los tractores utilizados para el arrastre de trozas no deben penetrar en las zonas de corte sin antes haber dado una señal convenida y recibido una autorización por parte del jefe del equipo de tala.
- 9.3.2 No poner en marcha los tractores a los cuales están atadas las trozas hasta no haber recibido una señal convenida por parte del enganchador.

- 9.3.3 No dar la señal de autorización de puesta en marcha mientras haya trabajadores en la zona de enganche.
- 9.3.4 Los tractores no deben ser utilizados para el arrastre de trozas en pendientes escarpadas o a través de las mismas.
- 9.3.5 Mientras el tractor está en movimiento o el cable de arrastre en tensión, ningún trabajador debe:
- ajustar o quitar los estrobos de las trozas;
 - aflojar los sistemas de enganche;
 - cruzar o pasar por encima de los cables de arrastre;
 - pararse cerca del cable mencionado.
- 9.3.6 Los tractores deben estar provistos de una cabina o de un bastidor de resistencia suficiente, de manera que se garantice la seguridad del conductor en caso de:
- vuelco;
 - peligro de ser alcanzado por troncos, ramas cables u otro objeto;
 - desplazamiento de la carga.
- 9.3.7 La cabina debe estar provista de:
- parabrisas y ventanillas de material transparente que no se rompan en astillas cortantes por efecto de un choque;
 - limpiaparabrisas mecánico.
- 9.3.8 Los asientos de un tractor deben:
- amortiguar suficientemente las vibraciones;
 - tener respaldo;
 - tener orificios en caso necesario para que la tierra o el barro no se acumulen en su superficie.
- 9.3.9 El sistema de escape de gases debe estar instalado de manera que se evite la acumulación de gases y humo nocivos para el conductor y los pasajeros.
- 9.3.10 Los tractores deben estar equipados con:

- a. un botiquín de primeros auxilios; y
- b. un extinguidor adecuado.

9.3.11 Los tractores no deben transportar pasajeros (sobre todo niños) sin disponer de un asiento conforme a los requisitos que exige la seguridad.

9.3.12 Ninguna persona debe viajar (parada o sentada) sobre los arcos de carga del tractor, las barras de tracción o las trozas arrastradas por el vehículo.

9.3.13 Los conductores deben llevar calzado apropiado y ropa bien ajustada.

9.3.14 Ninguna persona debe deslizarse debajo de un tractor sin haberlo advertido previamente o haberse cerciorado de que el mismo no puede moverse.

9.4 SEGURIDAD EN ARRASTRE DE TROZAS CON CABLE:

9.4.1 Antes de empezar un turno de trabajo se debe efectuar una inspección para cerciorarse de que:

- a. el conjunto del sistema de motores y winches esté sólidamente sujeto;
- b. todos los equipos estén en buenas condiciones de funcionamiento;
- c. la instalación sea segura.

9.4.2 Los trabajadores no deben situarse ni trabajar dentro del ángulo formado por un cable o una cadena.

9.4.3 Los trabajadores deben alejarse de los cables en excesiva tensión causada por la carga.

9.4.4 En lo posible, los trabajadores deben apartarse de:

- a. los cables y cargas en movimiento;
- b. los mecanismos de arrollamiento y guía de cables.

9.4.5 Los cables de transporte forestal no deben ser empleados para llevar pasajeros.

9.4.6 Los trabajadores encargados de desenganchar cargas no deben acercarse a las trozas hasta que no estén firmemente apoyadas en tierra.

9.5 SEGURIDAD EN TRANSPORTE POR FLOTACION DE LA MADERA

9.5.1 Los trabajadores de embarcaciones deben:

- a. llevar calzado con puntas o suelas antideslizantes;
- b. saber nadar;
- c. no trabajar fuera del campo de visibilidad de los demás obreros;
- d. llevar chalecos salvavidas u otro medio de protección similar cuando trabajen en lugares donde exista peligro de naufragio;
- e. tener práctica para andar sobre las trozas flotantes;
- f. estar instruidos sobre la práctica de respiración artificial.

9.5.2 Se debe indicar en lugar visible el número máximo de personas que pueden ser transportadas con toda seguridad en una embarcación para no rebasar este número en ningún caso.

9.6 SEGURIDAD EN OPERACIONES TERMINALES

9.6.1 El trabajo con motosierra está sujeto a las siguientes medidas generales de seguridad:

- a. si se trabaja en operaciones de apeo en posiciones incómodas, se debe tener mayores medidas de seguridad;
- b. cuando se trabaja con motosierras u otra máquina que produzca entre 104 a 110 decibeles es necesario que los obreros protejan sus oídos con algodones o protectores especiales, pues se puede producir una sordera progresiva;
- c. no usar ropa demasiado suelta que puede enredarse fácilmente en la cadena, ocasionando accidentes graves;

- d. no se debe transportar la motosierra con el motor funcionando;
- e. es muy conveniente elegir motosierras que aislen el cuerpo de las principales fuentes de vibraciones; pues provocan cansancio en el operario;
- f. el peso de algunas motosierras resulta nocivo para la espalda del operario, por lo cual su diseño moderno trata de disminuir el peso sin bajar la potencia;
- g. en cuanto a las medidas de seguridad en operaciones de apeo ver Capítulo 1;
- h. la carga y descarga manual de camiones ha de realizarse en terreno plano y uniforme para evitar caídas y deslizamientos de los trabajadores;
- i. la distancia máxima de las pilas de madera a los camiones no debe exceder de diez metros, tratando de elevar el rendimiento de dicha operación. Las estacas de las pilas de madera deben estar bien aseguradas antes de empezar las operaciones de carga;
- j. los jefes de cargaderos deben hacer señales (estipuladas o establecidas) a todos los operarios;
- k. las trozas de madera que presentan astillas en su superficie no deben ser cargadas por operarios cuyos vestidos estén en malas condiciones;
- l. las trozas muy largas deben ser cargadas por medios mecánicos;
- ll. las trozas no deben ser cargadas en vagones de ferrocarriles, camiones u otros vehículos que no estén:
 - 1) en buen estado de conservación; y
 - 2) equipados con accesorios adecuados como tacos, puntales, cadenas y cables de longitud y resistencia apropiada.

9.6.2 Los trabajadores destinados al transporte manual de cargas deben:

- a. recibir instrucciones y formación apropiadas en la técnica de manipulación, con el fin de prevenir los accidentes y las enfermedades;
- b. estar equipados con los dispositivos y el equipo necesarios para garantizar su seguridad y su salud;
- c. no se debe obligar a ninguna persona a levantar y transportar cargas superiores a los 50 kilogramos pues se puede provocar accidentes o enfermedades;
- d. la carga no debe ser lanzada por encima de la cabeza de algunos de los trabajadores.

9.6.3 Cuando un equipo de trabajadores transporta trozas:

- a. el trabajador que esté más atrás debe hacer una señal o emitir un sonido convenido para levantar o bajar la carga;
- b. todos los trabajadores deben situarse al mismo lado de la carga;
- c. cuando se tenga que atravesar una pendiente, durante el transporte los trabajadores deben situarse en la parte superior con relación a la carga.

9.6.4 Las cargas deben ser estibadas en los vehículos (camiones) de manera que:

- a. no se sobrecargue el vehículo;
- b. no se altere la estabilidad del mismo;
- c. las cargas o parte de ellas no deben poner en peligro a los trabajadores;
- d. no se debe sacar ni soltar los gatos debajo de una carga antes de haberla sujetado sólida y convenientemente.

- 9.6.5 Las grúas mecánicas o hidráulicas no deben ser movidas ni utilizadas en proximidad de cables eléctricos.
- 9.6.6 Los troncos no deben ser arrastrados por grúas, a menos que se tomen precauciones especiales para asegurar la estabilidad de éstas; por ejemplo, reduciendo la carga máxima de utilización, nivelando la pista de arrastre, utilizando rodillos y reforzando la estabilidad de la grúa.
- 9.6.7 Las cargas suspendidas no deben permanecer ni pasar por encima de personas ocupadas en los trabajos de carga y descarga. Asimismo ninguna persona debe pasar o situarse debajo de una carga suspendida.
- 9.6.8 Los conductores deben vigilar constantemente los aparatos de izado y transporte cuyos motores estén en marcha.
- 9.6.9 Los trabajadores no deben subirse sobre las pilas de trozas para deshacerlas hasta que no hayan terminado los trabajos de apilamiento.
- 9.6.10 Ningún trabajador debe estar fuera de la vista de los demás compañeros cuando efectúe operaciones de apilamiento.
- 9.6.11 Se debe proveer alumbrado artificial adicional cuando se efectúan operaciones de apilamiento en condiciones de luz natural insuficiente.
- 9.6.12 Las pilas de trozas se deben hacer sobre terreno firme.
- 9.6.13 Para evitar el derrumbamiento de pilas se debe:
- a. reforzar de manera conveniente sus extremos;
 - b. colocar las trozas de tal forma que los extremos gruesos se alternen;
 - c. reforzar las pilas con cadenas u otros medios adecuados con el fin de prevenir los peligros.
- 9.6.14 Las pilas deben deshacerse comenzando desde arriba y no se debe extraer ninguna troza tirando desde abajo.

9.6.15 Para deshacer pilas de trozas se debe emplear, en lo posible, medios mecánicos y procurar mantener su estabilidad natural.

9.7 SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE MAYOR

9.7.1 Los camiones o tractores para el transporte de trozas deben ser contruidos y conservados de manera que reúnan las condiciones de seguridad para el tráfico.

9.7.2 Se debe prever y construir barreras de seguridad en los puentes, a lo largo de los precipicios y en terrenos en declive.

9.7.3 Los caminos forestales deben ser firmes, anchos y con pendientes y curvas adecuadas para este tipo de tráfico.

9.7.4 Se debe inspeccionar todos los días los frenos, neumáticos, faros, la dirección, el retrovisor y limpiaparabrisas de los vehículos.

9.7.5 Los vehículos cerrados utilizados para el transporte de personas deben tener:

- a. en lo posible, una salida de emergencia separada de la salida normal;
- b. un medio de comunicación adecuado entre los pasajeros y el conductor;
- c. una instalación de alumbrado;
- d. un sistema de ventilación.

9.7.6 El conductor de un camión cargado debe probar los frenos antes de empezar su trabajo cada día y antes de bajar por una pendiente fuerte.

9.7.7 El conductor antes de poner en marcha un camión cargado, debe cerciorarse de que la carga esté bien estibada y que sus dimensiones sean adecuadas según el recorrido que debe hacer.

- 9.7.8 En lugares donde se efectúa la carga o haya hombres trabajando y cuando el conductor no disponga de plena visibilidad, el movimiento de los camiones debe ser controlado mediante señales.

9.8 SEGURIDAD EN USOS DE EXPLOSIVOS

Sólo aquellos empleados o trabajadores expertos en su uso han de manejar o usar explosivos, según las siguientes normas de seguridad:

- 9.8.1 Los explosivos y detonadores se deben almacenar sólo en polvorines aprobados de primera o segunda clase.
- 9.8.2 Los polvorines de primera clase son aquellos que contienen explosivos en cantidades que exceden las cincuenta libras y empaques originales cerrados. Se los conoce como polvorines permanentes.
- 9.8.3 Los polvorines permanentes han de ser aprobados (edificio, túnel o cueva). Las paredes deben ser sólidas y satisfacer las siguientes normas:
- a. no menos de 6 pulgadas de espesor cuyo material será de concreto, mampostería, ladrillo o madera;
 - b. las puertas deben estar cerradas y bajo llave todo el tiempo.
- 9.8.4 Todos los polvorines, excepto los de pólvora negra, deben tener una ventilación adecuada.
- 9.8.5 Los terrenos donde se coloca un polvorín de primera clase deben estar marcados con señales que digan "Explosivos Apártese".
- 9.8.6 No se ha de permitir cerca de los mismos ninguna luz de llama.
- 9.8.7 Los detonantes deben estar almacenados en un polvorín separado.

- 9.8.8 Una caja de explosivos se debe abrir sólo con herramientas que no produzcan chispa.
- 9.8.9 Al retirar explosivos de un polvorín se debe usar primero los más viejos.
- 9.8.10 Se prohíbe absolutamente fumar en o cerca de un polvorín de explosivos o mientras se maneja aquellos.
- 9.8.11 Para usar explosivos en lugares húmedos, la unión de la cápsula y el fusible ha de ser a prueba de agua con un compuesto preparado para este propósito. Nunca se debe usar aceite o grasa.
- 9.8.12 Todos los cartuchos sueltos de explosivos, detonantes, fulminantes y fusibles encapsulados sin usar, al final del turno, deben ser devueltos a sus respectivos polvorines.
- 9.8.13 Los explosivos y fulminantes deben ser transportados en recipientes separados, fabricados especialmente para este propósito, de un material aislante que no produzca chispa.
- 9.8.14 No se debe intentar tirar una carga de explosivos de un hoyo en el que ha fallado el disparo. Se perfora otro hoyo a no menos de un metro de distancia. Después de la explosión se debe hacer una búsqueda cuidadosa de material sin estallar entre los escombros.
- 9.8.15 Cuando se usa una explosión eléctrica en los hoyos horadados, no se han de cargar o conectar los alambres durante una tormenta eléctrica. Si los huecos han sido cargados antes de la tormenta, todas las personas deben apartarse del área cargada hasta que pase aquella.
- 9.8.16 Se debe usar cápsulas de explosivos a prueba de agua en todo trabajo húmedo que necesita explosión eléctrica.
- 9.8.17 No se debe permitir el trabajo de cables o equipos alrededor de tocones cargados para producir una explosión.
- 9.8.18 El polvorista debe estar completamente familiarizado con la operación y las señales cuando se haga explosión en la vecindad del equipo.

- 9.8.19 Si los cartuchos o paquetes de explosivos muestran señales de descoloramiento, se debe notificar al fabricante o a la división de seguridad industrial. A tales explosivos se los debe apartar cuidadosamente sin usarlos.
- 9.8.20 Se ha de establecer una señal de advertencia regular para explosión y se exigirá que todo hombre en el trabajo la conozca.

9.9 RIESGOS COMUNES EN BOSQUES TROPICALES

- 9.9.1 Serpientes: existen aproximadamente 3 000 especies en el mundo, el 75 % de las cuales son inofensivas para el hombre⁵. En Colombia se conoce hasta el momento 231 especies, de las cuales 44 son venenosas.

a. Familia *Viperidae*:

Todas las especies de esta familia son muy venenosas. Incluye las víboras, mapanares y cascabeles. La característica distintiva de esta familia es la presencia de dos colmillos potentes en la parte anterior de la maxila, perforados por adentro con un canal para la conducción del veneno. Su dentición es solenogliflo, su escamación dorsal es normalmente aquillada y la cabeza se destaca claramente del cuello (cabeza de candado).

Dentro de esta familia se tiene los siguientes géneros: *Crotalus*, *Lachesis muta*, *Bothrops* con 14 especies venenosas en Colombia¹.

- 1) *Lachesis muta*: los verrugosos que habitan hasta 1 000 msnm (una especie en Colombia).
- 2) *Bothrops*: 12 especies en Colombia⁵.
- 3) *Crotalus*: una especie en Colombia⁵.
- 4) *Bothrops atrox* (*Mapaná equix*): habita entre 1 200 y 1 300 msnm
- 5) *Bothrops schlegelii* (Víbora de tierra fría): su longitud es de 60 centímetros; su hábitat arborícola, clima templado y

frío. Se encuentra mucho en el Departamento de Antioquía (Colombia).

- 6) *Bothrops lansbergii* (Patoco).
- 7) *Bothrops nasuta* (Patoquilla).
- 8) *Crotalus* (Cascabel): su longitud es de más o menos 15 metros y habita en bosques secos tropicales.

b. Familia Elapidae:

Su característica más resaltante es la presencia de colmillos proterogliflos o sea perforados por un surco externo conectado con las glándulas de veneno. Presenta dos géneros: *Micrurus* y *Lep-tomicrurus*.

- 1) *Micrurus*: 29 especies en Colombia.
- 2) *Micrurus mipartitus* (Coral): se encuentra frecuentemente en los cafetales.
- 3) *Micrurus carinicauda* (Coral): se encuentra mucho en la Costa Atlántica.

Medidas de seguridad y primeros auxilios

- a. Quizás lo más importante es la punción y succión que consiste en pinchar varias veces alrededor de la herida con una aguja hipodérmica, luego succionar o chupar. Debe hacerse antes de la primera media hora del accidente. No debe cortarse en forma de cruz la herida.
- b. Donde existan serpientes de vida arborícola, los trabajadores deben protegerse la cabeza con casco.
- c. El miembro del cuerpo herido debe ser inmovilizado; en seguida lavar la mordedura y vendarla cuidadosamente.
- d. En las regiones donde existan muchas especies de serpientes venenosas, los trabajadores deben:

- 1) tener cuidado con los lugares donde habitan las serpientes (bajo el follaje, piedras, troncos, otros);
- 2) utilizar herramientas para la movilización de trozas y no las manos.

9.9.2 Plantas venenosas e insectos: la complejidad de la flora y la fauna silvestres en los bosques tropicales hace que estos se constituyan en medios hostiles para el desarrollo de los procesos productivos en las actividades agrícolas, forestales y pecuarias.

La frecuente exposición de los trabajadores a diferentes zoonosis e intoxicaciones debido a la ingestión de materiales tóxicos, (tallos, flores, frutos, semillas) eleva los costos de producción y disminuye los rendimientos en el trabajo.

A continuación se da algunas normas de seguridad y prevención al respecto:

- a. las personas hipersensibles a los venenos, que contienen ciertas especies vegetales y animales, no deben trabajar en regiones con plantas venenosas;
- b. después del trabajo se debe lavar cuidadosamente con agua y jabón, aquellas partes del cuerpo que han estado expuestas; asimismo se debe limpiar en seco las ropas y herramientas;
- c. en un área infestada de animales venenosos, (insectos) los trabajadores deben:
 - 1) evitar en lo posible, la vegetación de poca altura;
 - 2) no sentarse en tierra ni sobre trozas;
 - 3) examinar los objetos antes de tocarlos;
 - 4) cubrirse la mayor parte posible del cuerpo con ropas bien ajustadas, guantes y polainas;
- d. la presencia de insectos y hongos nocivos al hombre y la necesidad de fumigar trozas contra el ataque de los mismos

en patios de almacenamiento, en bosques tropicales, exige el uso de insecticidas y fungicidas; lo cual requiere las siguientes medidas de seguridad:

- 1) los productos destinados al combate de insectos y plagas tóxicos para el hombre deben ser almacenados en locales especiales;
 - 2) los recipientes empleados para almacenar, medir, mezclar o preparar sustancias tóxicas no deben ser utilizados para ningún otro fin;
- e. las personas que mezclen o diluyan tales líquidos o polvos deben llevar ropas, botas, guantes y gafas o una máscara de protección; para mezclar paratión u otros productos químicos deben además vestir ropas impermeables y ponerse un aparato respiratorio;
- f. todos los recipientes que contengan este tipo de sustancias deben llevar una etiqueta que indique:
- 1) las precauciones para su manejo y utilización;
 - 2) el carácter de los primeros síntomas de intoxicación; y
 - 3) los primeros auxilios y los antídotos apropiados que deben darse inmediatamente en caso de exposición excesiva;
- g. las personas que trabajan habitualmente con sustancias tóxicas deben ser objeto de exámenes médicos previos y periódicos por parte de un profesional bien informado de los riesgos de exposición;
- h. las personas que manejan estas sustancias y las que provocan reacciones al alcohol (cianamida cálcica) deben reducir el consumo de productos alcohólicos, o abstenerse totalmente de bebidas alcohólicas durante 15 horas antes y 18 horas después de este tipo de trabajo;

- i. las personas que utilizan sustancias tóxicas deben:
 - 1) dejar las ropas personales que no visten durante el trabajo en un lugar previsto para ese fin;
 - 2) deben quitarse todas las ropas de protección y dejarlas en las instalaciones especiales, al terminar la jornada de trabajo;
 - 3) deben lavarse las manos, la cara, el cuello, y otras partes del cuerpo al final del trabajo diario;

- j. las ropas, guantes y máscaras de protección deben ser lavados y limpiados diariamente al terminar la jornada;

- k. el resto de sustancias tóxicas que no se desee conservar, así como los cajones, cajas, botellas y demás envases vacíos que las hayan contenido deben:
 - 1) ser devueltos al fabricante, si es posible;
 - 2) ser enterrados lejos de los arroyos y otras corrientes de agua; o
 - 3) ser quemados sin que el humo constituya un peligro de contaminación.

BIBLIOGRAFIA

1. **AGER, B.** Time formulas for felling operations, Estocolmo, Logging Research Foundation, Informe no. 12, 1967. 30 p.
2. **ANAYA, H. y CHRISTIANSEN, P.** Análisis de costos en transporte forestal, Medellín, (Mimeo). Centro de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia, 1972. 235 p.
3. **ANDERSON, S.** Skogstekinisk Driftsekonomi III, Estocolmo, Royal College of Forestry, 1966. 48 p.
4. **BENDZ, M. y JARVHOLM, A.** Logging and transport in tropical high forests; observation on methods, production and costs in the late 1960s, Estocolmo, Royal College of Forestry. Research note no. 38, 1970. 29 p.
5. **CAMPOS, R. y CHRISTIANSEN, P.** Estudio comparativo de tres métodos en el corte y trozado de árboles con relación al grado de dureza, Revista Forestal del Perú 1(2):18. 1967.
6. **CHRISTIANSEN, P.** Estudio de tiempos y costos de métodos de aprovechamiento con tractores modernos cerca de Tingo María, Perú, editorial, 1967. p.
7. _____ y **KASTBERG, B.** Análisis del transporte forestal con el sistema cable aéreo *Highland Trailer Alp*. Informe Técnico para el Gobierno de Guatemala por FAO. Guatemala, Instituto Nacional Forestal, 1977. 32 p.
8. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.** FAO Seminario sobre ocupación forestal en América Latina, Roma, año. 520 p.

9. HANSSON, J.E., LINDHOLM, A. y BIRATH, H. Men and tools in indian logging operations, a pilot study in ergonomics. Research notes, Estocolmo, Royal College of Forestry, 1966. 50 p.
10. HEDRING, O., NILSSON, P.O. y AKESSON, H. Analysis of some logging systems for thinning, Estocolmo, Logging Research Foundation, Reporte no. 4, 1968. 30 p.
11. KILANDER, K. Logging and timber transportation cost in developing countries, analysis of methodology, Estocolmo, s.e., 1966. 35 p. (Mimeo).
12. LUNDGREN, N. Arbetsfysiologi och bioteknologi (Fisiología de trabajo y biotecnología) Estocolmo, NKT, 1965. 35 p.
13. MATTSON, H. Estudio de trabajo forestal. Conocoto, Ecuador, Centro de Capacitación Forestal, 1969. 49 p. (Mimeo).
14. SAMSET, L. y STROMNES, R. Time study of felling operations 1966. Vollebeck, Noruega, Norske Skogforsoksvesen, 1968. 30 p.
15. SUECIA, Logging Research Foundation, Tidsbergrepp for maskinarbeten (Conceptos de tiempos en trabajo con maquinaria) Estocolmo, 1966. 25 p.

OTROS TITULOS DEL SERVICIO EDITORIAL IICA

	US\$
Acarología. E. Doreste	12.50
Administración de empresas asociativas de producción agropecuaria. H. Murcia	7.00
Agroecología del trópico americano. P. Montaldo	3.50
Articulación social y cambio técnico en el agro Latinoamericano. (La producción de azúcar en Colombia). E. Trigo y M. Piñeiro	9.50
Arroz en los trópicos. R.F. Chandler	10.00
Associative farm management. H. Murcia	9.60
Batata o camote, F. Folquer*	4.00
Cambio técnico en el agro Latinoamericano. Situación y perspectivas en la década del 80. E. Trigo y M. Piñeiro, Coordinadores	7.00
Caribbean seminar on farming systems research methodology. Varios . . .	13.00
Compendio de agronomía tropical. IICA/gobierno de Francia	8.00
Compendio de mercadeo de productos agropecuarios. G. Mendoza	9.00
Comunicación escrita. A. MacLean	3.00
Conservación de suelos. F. Suárez de Castro*	6.00
Crédito rural. J. Vélez	10.00
Cultivo de cítricos. Ch. Morín	14.00
Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. A. Montaldo	4.50
Cultivo y mejoramiento de la papa. A. Montaldo	12.00
Diagnóstico de fallas en motores de combustión interna. J. Gilardi	3.50
Ecología basada en zonas de vida. L. Holdridge*	5.00
Educación y participación. J. Werthein y M. Argumedo, Eds	3.00
Elementos del diseño del tractor y herramientas de labranza. J. Ashburner y B. Sims.	8.50
En busca de tecnología para el pequeño agricultor. A. Marzocca	14.00
Enfoque de sistemas para el desarrollo agrícola. A. Saravia	5.00
Estrategias de enseñanza-aprendizaje. J. Díaz Bordenave y A. Martins . . .	10.50
Farm management handbook. G. Guerra	16.50
Física de suelos. W. Forsythe	4.00
Fisiología vegetal experimental. G. Fernández y M. Johnston	12.00
Guía para la elaboración de proyectos. S. Miragem, Coordinador	6.00
Introducción a la estadística. W. Caballero	4.50
Introducción a la evaluación económica y financiera de inversiones agropecuarias. (Manual de instrucción programada). J.A. Aguirre	7.00
Introducción a la fitopatología. L.C. González	3.00
Introduction to the diagnosis of plant disease. CH. Brathwaite.	2.50
Manual de administración de empresas agropecuarias. G. Guerra	7.00
Management of low fertility acid soils of the american humid tropics. Varios*	15.00
Manual de enseñanza práctica de producción de hortalizas. M. Holle y A. Montes	5.25
Manual de mercadeo de productos agrícolas de la Cuenca del Caribe. IICA/USDA	20.25
Manual de prácticas de fruticultura. F. Leal y M.G. Antoni	9.50
Métodos de investigación fitopatológica. E.R. French y T.T. Hebert	6.50

Mineralogía de arcilla de suelos. E. Besoain	30.00
Modelos operacionales de reforma agraria y desarrollo rural en América Latina. A. García	5.00
Motores de combustión interna. J. Gilardi	4.00
Organización de la investigación agropecuaria en América Latina. E. Trigo y M. Piñeiro	11.90
Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central, Las A.B.S. King y J.L. Saunders (Distribución) Inglés y Español	15.00
Proceedings caribbean workshop on the organization and administration of agricultural research. Varios	6.00
Procesos sociales e innovación tecnológica. E. Trigo y M. Piñeiro	10.00
Producción de hortalizas. Cásseres*	7.50
Química de suelos. H. Fassbender	7.00
Reparación de motores de tractores agrícolas. J. Gilardi	2.00
Sistemas de riego. L. Gurovich	12.00
Suelos del trópico. Características y manejo. P. Sánchez	15.00
Taxonomía vegetal. A. Marzocca	8.50
Traditional and potential fruit tree crop development. A. Pinchinat	10.00
Tecnología de la leche. A. Revilla	5.00
Tomates. R. Villareal	4.00
Tres formas de acelerar el crecimiento agrícola. A.T. Mosher	2.50
Yuca o mandioca, La A. Montaldo	12.00

* Edición agotada. Ejemplares fotocopiados o microfilmados pueden ser obtenidos en la siguiente dirección, University Microfilms International, 300 North Zeeb Road, Ann Arbor, Michigan 48 106 USA 313-761-4700.

 Deseo aprovechar esta oferta de introducción que me presenta la Serie de Libros y materiales Educativos del IICA. Remítame por correo certificado _____ ejemplares del _____ a la dirección abajo indicada. Agrego un 15% para porte de correo.

- envíeme además su catálogo para conocer otras publicaciones técnicas del IICA
- adjunto cheque certificado
- adjunto giro o letra bancaria
- orden en firme (sólo para librerías instituciones y bibliotecas)
- aprovecho esta oferta, en moneda nacional a la presentación de este cupón en la Oficina IICA del país

Lugar y fecha	Nombre completo	Dirección
---------------	-----------------	-----------

 30% de descuento por la compra de 6 o más ejemplares

Dirección: Unidad de Distribución, Oficina Central IICA, Apdo. 55-2200, Coronado, Costa Rica.

Este libro se terminó de imprimir en los talleres de Imprenta y litografía VARITEC S.A., en el mes de noviembre de 1986. Su edición consta de 3 000 ejemplares.

**Producción editorial a cargo de
Rodolfo S. Cedeño.**

ISBN-92-9039-112-X

APROVECHAMIENTO FORESTAL (Análisis de apeo y transporte) ha sido concebido como libro didáctico para los cursos de Aprovechamiento y Transporte Forestal en Facultades y Escuelas Técnicas Forestales de Latinoamérica. La obra proporciona a los estudiantes de esta materia una guía para la toma de decisiones relacionadas con mecanización y planificación de operaciones madereras. Asimismo, constituye una valiosa orientación para definir políticas en el campo del manejo y el aprovechamiento de los recursos forestales.

Héctor Anaya L. (+) (Colombia). Ing. Forestal por la Universidad Nacional de Colombia (Medellín, 1962); Master por la Universidad de Washington y la Universidad de British (Canadá, 1970). Participó en diferentes congresos y eventos científicos de su especialidad en Rusia, Suecia, Noruega, México y Colombia.

Se desempeñó como docente en la Universidad Nacional de su país, ejerciendo, entre otros, los cargos de Jefe de la Sección de Aprovechamiento Forestal, Director del Departamento de Recursos Forestales y Vice-Rector de la Facultad de Agronomía. Entre sus publicaciones dedicó cinco libros a la Ingeniería y Transporte Forestal.

Per Christiansen (Suecia). Especialista en manejo de la silvicultura, graduado de la Royal College of Forestry de Estocolmo. Entre sus especialidades cabe destacar: la producción de maderas combustibles; silvicultura en el desarrollo rural; producción, transporte y aprovechamiento de productos forestales. P. Christiansen ha desempeñado cargos de programación y administración en su país, América del Sur, Centroamérica, el Caribe y África. Desde 1965 en varias oportunidades ha sido profesor visitante y consultor de proyectos en Latinoamérica. Sus publicaciones abarcan estudios sobre aprovechamiento y transporte de productos maderables, silvicultura y administración de proyectos forestales.

En la actualidad es coordinador responsable para el mercadeo y programación de proyectos de la firma **Swedforest Consulting AB** de Estocolmo.