

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

OPTIMIZACION DE LA RED DE CAMINOS
FORESTALES EN FUNCION DEL VOLUMEN DE
MADERA PROYECTADO A EXTRAER

Por

Daniel CORTACANS PATIÑO
Javier GALLERO LANDEIRA
Sebastián RUIK BEHYAUT

FACULTAD DE AGRONOMIA



DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2001

Tesis aprobada por:

Director: Ing. Agr. GUSTAVO DANILUK
Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Fecha: _____

Autor: _____
Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la atención brindada por los técnicos de la empresa en la cual se realizó la tesis: Ing. Agr. Nelson Ledesma, Ing. Agr. Andrés Gómez, Ing. Agr. Ignacio Ros; de igual manera a todo el personal de la empresa que colaboró con el trabajo.

Queremos agradecer también, al Ing. For. Rodolfo Neuenschwander, de la Universidad de Talca, Chile, por su orientación y por el interés generado a partir de sus clases y al Ing. Agr. Gustavo Daniluk por su orientación en este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	IV
1. INTRODUCCION	1
1.1. OBJETIVOS	
1.1.1. <u>Objetivos generales</u>	3
1.1.2. <u>Objetivos específicos</u>	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	
2.1. LA COSECHA FORESTAL.....	5
2.1.1 <u>Sistemas de cosecha</u>	6
2.2. SISTEMA TRANSPORTE.....	8
2.2.1. <u>Variables operacionales del sistema transporte</u>	10
2.2.1.1. El peso del camión y su carga.....	10
2.2.1.2. Las características y calidad de los camino....	12
2.2.1.3. La distancia del flete.....	13
2.2.1.4. El factor humano.....	13
2.2.2. <u>Características generales de los camiones y de la carga en el transporte forestal</u>	14
2.2.2.1. Configuración de los camiones.....	16
2.2.2.2. Requerimientos de potencia.....	17
2.2.3. <u>La distribución de la carga</u>	19
2.2.4. <u>Estructura de costos del sistema transporte</u>	21
2.3. EL SISTEMA CAMINOS.....	23

2.3.1. <u>Composición de una Red de aprovechamiento</u>	26
2.3.2. <u>Principios de trazado</u>	28
2.3.3. <u>Detalles de construcción y mantenimiento de los caminos</u> 32	
2.3.3.1. Mantenimiento.....	35
2.3.4. <u>Densidad óptima de caminos</u>	36
2.3.5. <u>Distancia Optima entre Caminos</u>	41
2.3.6. <u>Costos del Sistema Caminos</u>	42
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	44
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL PREDIO.....	44
3.1.1. Sistema de cosecha.....	44
3.1.2. Características ambientales del establecimiento.....	45
3.1.2.1. Topografía.....	45
3.1.2.2. Suelos.....	45
3.1.2.3. Geología.....	45
3.2. ESTUDIO DE ANTECEDENTES Y RELEVAMIENTO DE CAMPO.....	46
3.3. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS.....	46
3.4. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS ESTÁNDARES Y LOS COSTOS DE CADA UNO.....	47
3.5. CONFECCIÓN DE LA CARTA DE CAMINOS ACTUALES.....	48
3.6. DETERMINACIÓN DEL COSTO DE TRANSPORTE EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN.....	49
3.7. CÁLCULO DEL COSTO DEL SISTEMA PARA CADA ESTÁNDAR EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN.....	49

3.8. CÁLCULO DEL PUNTO DE INDIFERENCIA PARA EL CAMBIO DE ESTÁNDAR.....	50
3.9. REPLANTEO DE LA RED CAMINERA OPTIMIZADA.....	51
3.10. PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DE LA SECUENCIA DE COSECHA.....	51
3.11. CÁLCULO DE LOS COSTOS ABSOLUTOS PARA EL SISTEMA OPTIMIZADO.....	51
3.12. CÁLCULO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA.....	52
3.13. DIMENSIONAMIENTO DEL PARQUE MOTRIZ.....	52
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	54
4.1. COSTO DE TRANSPORTE.....	54
4.2. COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS.....	55
4.3. COSTOS DEL SISTEMA TRANSPORTE.....	56
4.3.1. <u>Puntos de indiferencia</u>	56
4.4. DENSIDAD DE CAMINOS.....	62
4.5. DIMENSIONAMIENTO DEL PARQUE DE MAQUINARIA.....	63
4.5.1. <u>Demanda de potencia</u>	63
4.5.2. <u>Número de camiones necesarios</u>	64
5. <u>CONCLUSIONES</u>	66
6. <u>RESUMEN</u>	67
7. <u>SUMMARY</u>	67
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	68
9. <u>APENDICES</u>	72
9.1. APÉNDICE N° 1.....	71
9.2. APÉNDICE N° 2.....	72
9.3. APÉNDICE N° 3.....	73

9.4. APÉNDICE N° 4.....	74
9.5. APÉNDICE N° 5.....	75
9.6. APÉNDICE N° 6.....	76

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro Nº	Página
1. Pesos máximos permitidos para el tránsito de camiones por las carreteras públicas nacionales según distintas configuraciones motrices.....	11
2. Fórmulas para las distintas configuraciones de ejes y ruedas tractoras.....	16
3. Factor de resistencia según tipo de carpeta (Adaptado de NEUENSCHWANDER, 1998).....	18
4. Coeficientes de corrección de Klemencic para el modelo de Von Segebaden de densidad óptima de caminos forestales (Adaptado de TOLOSANA <i>et. al</i> / 2000).....	38
5. "Densidades de pista recomendadas (SUNDBERG <i>et. al.</i> , 1989 adaptado por TOLOSANA <i>et. al.</i> , 2000).....	39
6. Superficie (ha) forestada según potreros.....	44
7. Costo de construcción de caminos por kilómetro según tipo de estándar...	48
8. Costo del transporte según tipo de estándar.....	55
9. Costo de construcción de caminos según tipo de estándar.....	55
10. Costo de transporte para cada potrero en función de los kilómetros que se deben recorrer por cada estándar.....	60
11. Kilómetros de caminos según tipo de estándar para el proyecto y para el testigo.....	60
12. Costo de caminos según tipo de estándar para el proyecto y para el testigo.....	60
13. Costo de mantenimiento según tipo de Estándar para los 4 Años.....	60
14. Costo Total del Sistema Transporte para el proyecto y para el testigo.....	61
15. Volumen a extraer (t) a lo largo del ciclo.....	62
16. Costo del transporte a lo largo del ciclo de cosecha.....	62
17. Costo del sistema a lo largo del ciclo de cosecha.....	62

18. Potencias requerida para contrarrestar las distintas resistencias.....	63
19. Número de camiones y de días requeridos para la cosecha de cada potrero.....	64
20. Secuencia y días necesarios para la cosecha de los distintos potreros.....	65

Figura N°	Página
1. Evolución de la superficie forestada entre 1975 y 1998 (Fuente: MGAP, 1998).....	1
2. Camión "tronquero" o "peerles" (extraído de NEUENSCHWANDER, 1998)..	17
3. Dimensiones básicas para el cálculo del peso por eje en un camión simple (modificado de NEUENSCHWANDER, 1998).....	20
4. Punto de indiferencia económica entre 3 modalidades de transporte (Modificado de SUNDBERG et. al, 1990).....	22
5. "Esquema de la red de carreteras forestales" (adaptado de LE RAY, 1964)27	
6. "Modelo ideal para terreno llano y homogéneo" (modificado de (TOLOSANA et. al., 2000).....	30
7. "Patrón Chevrón" (modificado de (TOLOSANA et al, 2000).....	30
8. Diseño de caminos en pendiente (modificado de (TOLOSANA et al, 2000).....	31
9. Corte transversal de una carretera forestal (modificado de LE RAY, 1964).....	32
10. Vías de drenaje (extraído de LE RAY, 1964).....	32
11. "Costo del transporte en función del espaciamiento de caminos" (1) Costo de transporte; (2) Costo de construcción de caminos; (3) Costo combinado (modificado de SUNDBERG et. al., 1990).....	36
12. "Modelo de Von Segebaden" (adaptado de TOLOSANA et. al., (2000).....	37
13. "Densidad óptima de caminos" (extraído de ANAYA, 1975).....	39

14. Puntos de indiferencia y flujo de madera.....	50
15. Volúmenes críticos según costo de transporte para cada estándar.....	57
16. Volúmenes críticos según costo de transporte para los estándar 1 y 2.....	58
17. Volúmenes críticos según costo de transporte para los estándar 2 y 3.	58
18. Volúmenes críticos según costo de transporte para los estándar 3 y 4.....	59

1. INTRODUCCIÓN.

La diagramación de caminos ocupa un papel muy importante en el aprovechamiento forestal: "... antes de proceder al transporte de trozas y cualquiera sea el método que se emplee, no se tienen utilidades, solo se incurre en costos. No es hasta que los productos forestales son entregados en algún destino final que se producen realmente las utilidades" (Steven Conway, 1982).

Para poder entregar la madera en su destino final es necesario extraerla del predio. Es en esta instancia que la diagramación de caminos se transforma en una variable de singular importancia ya que determina las distancias que se deben recorrer para lograr dicho objetivo.

Para minimizar los costos de transporte, es necesario hacer mínimas las distancias recorridas por los camiones dentro del predio. Los costos del transporte estarán en un sentido amplio en función de las distancias a cubrir por el flete, en razón de que esta distancia determinará la cantidad de viajes que podrá hacer cada vehículo por día, y en consecuencia el volumen que se podrá movilizar en una jornada. Al aumentar las distancias entre el par origen - destino, menor será la cantidad de viajes a realizar por jornada y por lo tanto los costos por unidad transportada serán mayores (NEUENSCHWANDER, 1998).

A partir de la promulgación de la Ley Forestal N° 15.939 en el año 1987 y sus decretos reglamentarios, cuya finalidad es el fomento del sector forestal en el país, se comenzó a generar una masa boscosa importante, a partir de inversiones nacionales y extranjeras (Ver figura N° 1).

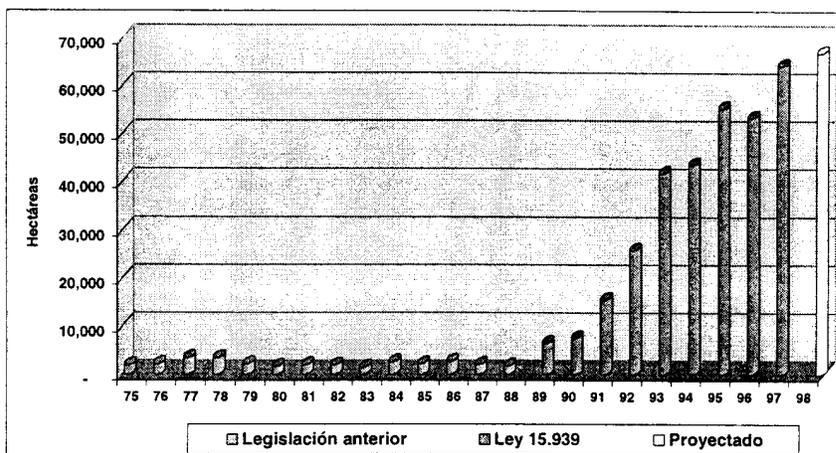


Fig. N° 1: Evolución de la superficie forestada entre 1975 y 1998 (Fuente: MGAP, 1998).

En el año 1988 existían forestadas alrededor de 65.000 hectáreas (ha), hoy en día se estima que se han alcanzado 500.000 ha, de los 3.600.000 ha. de suelos de aptitud forestal, amparados por la ley mencionada. De esta manera, a medida

que aumenta el área ocupada por el sector forestal, el mismo se posiciona como un rubro dinámico y de importancia a nivel nacional (MGAP, 1998).

Como todo rubro productivo, el mismo atraviesa distintas fases, cada una con sus desafíos y características particulares. De este modo, el sector ha atravesado por distintos desafíos en la construcción de su horizonte productivo. En los primeros años, los problemas más importantes a resolver por los técnicos, se encontraban vinculados con la puesta en funcionamiento y posterior mejoramiento de los estándares productivos de los viveros, así como también la realización y planificación de las plantaciones. Luego, a medida de que las plantaciones forestales se desarrollaban, la atención fue centrada en el manejo silvicultural de los bosques, teniendo en cuenta las distintas opciones productivas y tecnológicas que presentaban las distintas especies en determinados sitios (PRENADER, 1997).

Hoy en día, el problema inmediato que debe resolver el sector, se centra en torno a la optimización de la cosecha y posterior transporte de la madera a los centros de distribución, aserraderos, plantas de pulpa, entre otros.

En la mayoría de los proyectos de forestación llevados a cabo en el país no se tuvo en cuenta dicha etapa como una fase más del proceso productivo, a la hora de evaluar el resultado económico del aprovechamiento forestal.

De esta manera la labor del técnico se dificulta aún más ya que se enfrenta a un conjunto de restricciones planteadas por la falta de planificación a la hora de la plantación. Por lo tanto, él mismo tendrá que optimizar el sistema de cosecha sobre una base preexistente sub-óptima, que en muchos casos determina el grado de perfeccionamiento operacional que puede ser alcanzado en dicha etapa del proceso productivo.

En la mayoría de los casos, el técnico a cargo, tiene en cuenta la problemática de los caminos de extracción, y con este fin se dejan las divisorias de aguas como posibles caminos y/o como cortafuegos. No obstante, si bien esta situación constituye una alternativa válida en la planificación global del establecimiento, la misma es insuficiente ya que solo se estaría empleando el criterio topográfico para diseñar la red caminera básica a ser empleada en el momento de la cosecha. En este caso, no se tienen en cuenta criterios de optimización en base a costos/beneficios (optimización económica), la cual está determinada fundamentalmente por la variable distancia. Tampoco se tienen en cuenta variables operacionales del Sistema Transporte como calidad de los caminos, que implica pendientes y curvas, que determinan en definitiva la aptitud o no de una flota de camiones.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto, resulta necesario plantear una optimización técnica – económica en cuanto al funcionamiento del predio desde el comienzo (proyecto). Considerando el peso relativo que presenta la fase de cosecha y dentro de la misma el transporte de madera, es fundamental para el éxito económico, una correcta diagramación y optimización operacional de la red de caminos y del sistema de transporte en sí.

1.1. OBJETIVOS.

1.1.1. Objetivos generales.

El objetivo principal de esta tesis es optimizar la fase de transporte del sistema cosecha de un predio forestal, de manera de maximizar la eficiencia operacional, minimizando de este modo los costos del mismo.

A su vez, se planteará una metodología a emplear con dicho fin, adaptada a las condiciones productivas nacionales.

1.1.2. Objetivos específicos.

Los objetivos específicos son:

- Optimizar la red caminera del predio basándose en una serie de algoritmos, según un conjunto de restricciones planteadas.
- Determinar la densidad óptima de caminos para el predio (m/Há).
- Determinar los estándares de caminos óptimos en función del volumen de madera a extraer en cada sector de cosecha buscando el punto de indiferencia económico entre las distintas alternativas.
- Proponer el parque de maquinaria de transporte óptimo capaz de cumplir con los requisitos de dicha fase (potencia, número de vehículos, capacidad de carga, etc).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. LA COSECHA FORESTAL.

MALINOVSKI (1999), entiende que la cosecha forestal consiste en la corta preparado y transporte de los productos del bosque que llegan directamente o por intermediarios, a manos del consumidor.

El sistema cosecha debe ser diseñado y planificado en función de las características de la especie plantada y de los destinos tecnológicos que tendrá la madera. No obstante, en el momento de seleccionar un sistema de cosecha no solo se debe tener en cuenta el futuro resultado económico sino que es necesario considerar los posibles impactos que puede ocasionar sobre el bosque o el ambiente en general, así también como en el aspecto social. Solo de esta manera es posible lograr una gestión forestal sostenible.

Según DIKSTRA et. al. 1996, la cosecha forestal debe constituir un eslabón más en la planificación global del sistema forestal. La planificación de la cosecha comprende 2 planes:

- *Plan estratégico*: se trata de un programa a largo plazo que busca responder a las necesidades futuras acerca de que tipo de cosecha (sistema de cosecha a emplear), cuando, y porqué debe realizarse. En el mismo se deberá sectorizar el establecimiento, determinando los momentos de cosecha de cada rodal especificando los sistemas de cosecha y transporte principales globales. Dicho plan comprende dos elementos fundamentales: un mapa a escala 1/5.000 o 1/10.000 y su descripción por escrito, en el cual se describirá para cada zona el manejo silvicultural previsto, tipo de cosecha a utilizar, estimación de volumen, necesidades anuales de personal, informe sobre el sistema de transporte y el costo estimado de las operaciones de cosecha.
- *Plan táctico*: el mismo debe ser realizado por el equipo responsable de la supervisión de las tareas de cosecha. Deberá responder a las interrogantes acerca de cómo realizar la corta, quién debe realizar las operaciones y cuándo se realizarán las cortas en cada zona establecida. Este plan se encuentra asociado a la corta anual (corto plazo), aunque, los tiempos dependerán de la estructura de la masa boscosa.

Para llevar a cabo la realización y control de dichos planes –tanto tácticos como estratégicos-, es conveniente la utilización de metodologías de trabajo como Program Evaluation and Review (PERT) o Critical Pass Method (CPM). Estas metodologías de trabajo resultan herramientas más que útiles a la hora de planificar el sistema cosecha, o bien las actividades que comprenden el aprovechamiento forestal toda (YU CHUEN-TAO, 1989).

2.1.1 Sistemas de cosecha.

Para DANILUK com. pers. 1999, un sistema de cosecha forestal es un conjunto de medios de producción (recursos humanos, herramientas, máquinas, equipos y capital), que se organizan de manera interdependiente de manera de cumplir con la tarea de cosecha. Comprende las tareas que comienzan con el apeo del árbol (*felling*), procesamiento (desramado, descortezado, trozado) y transporte hacia las canchas de acopio o costados de camino.

La clasificación generalmente aceptada se basa en la forma en que la madera es extraída de los bosques. De esta manera se habla de **sistema de árbol completo, fustes enteros, madera corta** de los cuales se derivan otros intermedios. Básicamente estos sistemas se relacionan con el destino que tendrá la madera. Así, los sistemas de "árbol entero o de fuste entero se relacionan con industrias que requieren la madera en tal forma como materia prima (postes, sierra de calidad para ciertos usos)". En cambio, "los sistemas de trozas cortas, se asocian con destinos industriales poco exigentes en dimensiones o calidad" como la industria del papel o la industria de fabricación de tableros (industrias de desintegración). Por otra parte, los sistemas de cosecha se encuentran íntimamente restringidos por la calidad del sitio. De esta manera los sistemas de madera corta se limitan a zonas de poca pendiente, mientras que los sistemas de árbol entero o fuste entero pueden ser aplicados en terrenos montañosos (torres de madereo y tractores de arrastre) (MALINOVSKI, 1999).

El sistema de **árboles completos** consiste en el apeo del árbol y su extracción fuera del monte. La tarea de procesado del fuste se realiza afuera del monte, generalmente en los lugares de destino. Su principal ventaja es que se aprovecha una gran proporción de la biomasa del árbol, condición que lo hace apto para cuando la madera se cosecha con fines energéticos. Sin embargo, presenta las siguientes desventajas: elevado costo de transporte dado por la baja relación peso volumen, impacto ambiental negativo sobre el suelo y la masa remanente, constituye un sistema tremendamente extractivo ya que no se realiza el reciclaje de los nutrientes presentes en hojas, ramas y corteza. Por ser un sistema completamente mecanizado el mismo es muy utilizado en países donde la mano de obra tiene un costo muy elevado (TOLOSANA *et. al.*, 2000)

El sistema de **fuste entero** difiere del anterior en que una vez realizado el apeo se realiza el desramado y despunte dentro del bosque. Involucra mayores costos en las operaciones manuales que el anterior y presenta dificultad en la eliminación de residuos. Por estas características "sus condiciones de aplicación son las siguientes: necesidad de aprovechamiento de la madera en toda su longitud o en grandes longitudes (postes, aserrío); dificultad de movilidad del terreno; últimos raleos, cortas finales de aclareo sucesivo o cortas a tala rasa con apeo manual, en que el valor de la madera se une al elevado peso de las trozas, que dificultaría su reunión manual; gran densidad de corte y volumen total extraído, porque puede compensar la apertura de nuevas vías" (TOLOSANA *et. al.*, 2000).

El sistema de **madera corta** "es aquel en que la madera se extrae del monte en forma de trozas de unos 2 a 2.5 metros de longitud, para lo que es necesario llevar a cabo a pie de tocón las operaciones de desrame y despunte, tronzado y reunión/apilado." Posee las ventajas de ser económico en la saca y transporte debido a la capacidad que poseen los vehículos de saca (autocargadores generalmente) y la de evitar el arrastre de las trozas. Como desventajas presenta problemas en la eliminación de residuos y la limitante en cuanto a su utilización industrial (TOLOSANA *et. al.*, 2000)

El mismo autor señala que de los sistemas mencionados se derivan los siguientes:

- **Sistema de madera larga**, el cuál se diferencia del "de madera corta" únicamente en la longitud de las trozas que alcanza los 4 o 5 metros, lo que determina la utilización de autocargadores de apilado longitudinal.
- **Sistema de madera clasificada a longitudes variables**, similar al anterior pero con largos de trozas predeterminado en función de su destino.
- **Sistema de astillas**, en el cual la madera se extrae ya astillada por medio de autocargadores que pueden o no poseer el equipo de astillo incorporado. Se vinculan a sistemas de aprovechamiento energético de la madera.

Una enfoque para seleccionar el sistema de cosecha puede ser:

- *Consideración de la situación*: se deben tener en cuenta las calidades exigidas del producto, las características del terreno y su transitabilidad que determinaran las posibles alternativas de corta y transporte, afectando los costos. Otro elemento a tener en cuenta es el clima, el cual influye considerablemente sobre los rendimientos de las diferentes actividades, así como los recursos humanos, equipos, y las herramientas e instalaciones existentes. Todos estas consideraciones deben de manejarse en forma conjunta ya que todas ellas se encuentran relacionadas.
- *Toma de decisión*: se deberá elaborar un plan técnico económico en el cual se establecen el o los sistemas de cosecha, los medios y los plazos de realización.
- *Disposiciones organizacionales y técnicas*: los detalles de las disposiciones organizacionales deben comunicarse a todos los ejecutores de modo que todos sepan cuales son sus tareas, el momento de realizarlas y los medios que debe utilizar. En la fase organizativa se debe tener en cuenta la infraestructura existente en la zona. Un error común consiste en contar con medios sofisticados de cosecha y no contar con repuestos o asistencia técnica en el caso de mal-funcionamiento.

"Los sistemas de cosecha de madera deben ser integrados en sus actividades parciales, de manera que exista armonía entre las mismas reduciendo el tiempo de espera" (MALINOVSKI, 1999).

"Una vez conocida la mejor opción técnica para una empresa forestal, en relación con el sistema de cosecha de madera, al turno de trabajo, etc., debe ser simulado el número real de maquinas y consecuentemente la producción potencial del sistema con todas las variaciones posibles" (MALINOVSKI, 1999).

2.2. SISTEMA TRANSPORTE.

NEUNSWANDER (1995), citado por CONTRERAS (1999), sostiene que "una buena administración y supervisión de las faenas forestales de transporte ofrece una de las mejores oportunidades para la reducción de costos en el aprovechamiento de los bosques, especialmente cuando el transporte de materia prima pasa a constituir uno de los principales componentes del costo total de los productos entregados en destino"

En este sentido WEINTRAUB *et. al.* (1990), citado por CONTRERAS (1999) señala que en el ámbito de la producción forestal chilena, el transporte es la tarea más cara representando el 44% de los costos totales de abastecimiento en una industria.

"El transporte es una de las fases críticas en el desarrollo de cualquier actividad productiva. Su correcta planificación exige un buen conocimiento de las alternativas técnicas existentes y de la legislación que lo regula, así como un constante seguimiento de la situación en cada sector en que se divide" (TOLOSANA *et. al.* 2000)

Según DIKSTRA *et. al.* (1996), a nivel mundial, "el transporte por carretera, mediante vehículos madereros, es la forma más habitual de transportar las trozas desde el bosque hasta las fábricas de elaboración. En algunas zonas del mundo se utilizan también sistemas de transporte por agua y por ferrocarril. En este caso, el acarreo de las trozas desde el cargadero hasta el punto de embarque en las embarcaciones o en el ferrocarril se efectúa por medio de camiones".

Para TOLOSANA *et. al.* (2000), en España los medios más utilizados en el transporte son la carretera y el ferrocarril considerando al primero más adecuado para distancias cortas y el segundo para largas. Dicho autor señala que en Estados Unidos se utiliza el camión para distancias de hasta 100 km y el ferrocarril para distancias mayores. Sin embargo en Europa "el dominio del camión se extiende hasta los 200 km, aunque hay situaciones en que las carencias de la infraestructura ferroviaria fuerzan su empleo hasta los 700 o más km".

NEUNSWANDER *com. pers.* (2000), define a las operaciones de transporte forestal como "movimiento de la madera rolliza desde el bosque, canchas o el borde de caminos, hasta las industrias (aserraderos, plantas de celulosa, etc.) o puertos de exportación, y desde las industrias hacia los mercados nacionales y

puertos de exportación". Según éste, las principales características de las operaciones de transporte para Chile son:

- Transporte a efectuar fundamentalmente sobre camiones y en menor medida por ferrocarril.
- Tránsito sobre carreteras y caminos públicos y privados, con distintos estándares, características y condiciones operacionales.
- Diversidad de configuración y capacidades de camiones, camiones específicos.
- Alto costo de transporte, a menudo el mayor en la producción de bosques.
- Fuertes regulaciones para el empleo de la red vial pública.

A su vez, considera también las siguientes condiciones de dichas operaciones:

- Alta dependencia de las condiciones climáticas especialmente en caminos prediales.
- Resultados económicos determinados por el número de vueltas, que es función de la velocidad y los tiempos terminales.
- Alta dependencia de las operaciones de carga y descarga.
- Puede generar polución de aire y daño a los cursos de agua.
- Problemas de imagen ante la opinión pública.

El mismo plantea además, que en las operaciones de transporte se debe aspirar a lograr los siguientes objetivos:

- Minimizar los costos por unidad de peso transportada.
- Contribuir al mantenimiento de la infraestructura vial pública y privada.
- Cumplir fielmente con la programación diaria de las entregas.
- Desarrollar un trabajo seguro para los operadores y para el público en general.
- Minimizar los daños a los caminos, puentes y cursos de agua.
- Entregar el volumen total que ha sido cargado sin pérdida de calidad.
- Evitar multas en el tránsito por carreteras públicas.
- Mejorar la imagen del sector transporte.

DIKSTRA *et. al.* (1996), comparte algunos de los puntos citados en el párrafo anterior al indicar que "las operaciones de transporte de trozas deben alcanzar los siguientes objetivos: garantizar la seguridad del personal encargado del transporte y del público; transportar las trozas a su destino final con el menor costo posible; no dañar la infraestructura del transporte, como carreteras y puentes; limitar la contaminación atmosférica e impedir el vertido de combustibles y lubricantes; entregar las trozas en el punto final de destino sin pérdidas importantes de volumen y sin deterioro notable de la calidad. Por otra parte, el mismo autor sostiene que, llevar a cabo "operaciones inadecuadas de transporte, puede acarrear las siguientes consecuencias: sanciones administrativas o acciones penales por actuaciones que ponen en peligro la seguridad pública; costos altos de transporte; rápida

depreciación de la maquinaria; costos excesivos en las tareas de reparación o reconstrucción de la infraestructura; sedimentación o contaminación de los cursos de agua superficiales o subterráneos; excesiva contaminación atmosférica; pérdida de volumen o valor de las trozas y oposición pública a las operaciones de transporte de madera”.

TOLOSANA *et. al.* (2000), afirma que el “transporte de madera está sometido a dificultades propias” entre las que destaca: “la heterogeneidad del producto (formas, longitudes, diámetros, pesos, volúmenes, etc.) y su escasa densidad en comparación con otros materiales; el elevado contenido de humedad, transportar madera es transportar agua en proporción muy variable, pero casi siempre alta; la escasez de infraestructura y las dificultades orográficas del ámbito forestal; la legislación; y la necesaria manipulación del producto, que requiere gran variedad de medios, en particular de carga y descarga”

2.2.1. Variables operacionales del sistema transporte.

Cuando se quiere expresar los resultados de la planificación de un sistema de caminos forestales por medio de la productividad de los camiones es necesario tener una visión global del sistema cosecha. De poco sirve optimizar el sistema transporte si la fase previa de cosecha no fue pensada de manera tal de funcionar como una cadena de flujo continuo (NEUENSCHWANDER, 1998).

El mismo autor plantea que al evaluar el sistema transporte los resultados parecen a primera vista relacionados básicamente con el comportamiento de los sistemas mecánicos, sin embargo, existen importantes actividades que involucran el aspecto humano por lo que se genera un “sistema socio-técnico”.

Dicho autor distingue las siguientes variables como principales determinantes del funcionamiento del sistema transporte:

2.2.1.1. Peso del camión y su carga.

En la medida de que las condiciones topográficas del terreno y las propiedades del camino lo permitan, las cargas deben ser las máximas para que los costos por unidad de volumen o de peso sean los mínimos. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que lo más probable es que el costo total por viaje y el costo promedio por hora sean mayores con cargas de mayor tamaño. Por lo tanto, al utilizar camiones con gran capacidad se debe estudiar cuidadosamente el comportamiento de los costos de operación de manera de que los beneficios generados con cargas mayores no se vea superado por el incremento de los costos (NEUENSCHWANDER, 1998).

DIKSTRA *et. al.* (1996), sostiene que “el peso de la carga de los camiones debe determinarse no solo en función de la capacidad del camión (que depende de su potencia, sistema de suspensión, transmisión, distancia entre ejes y sistema de

frenos), sino de la capacidad de las carreteras por las que debe circular y las estructuras de drenaje. Este tipo de información se ha de tener en cuenta también para elegir los camiones que deben circular por una zona determinada”.

A su vez NEUENSCHWANDER, 1998 señala que la cantidad máxima de peso que puede ser transportada por un vehículo de carga está en función de sus condiciones técnicas, de las características de los caminos y de la propiedad de los caminos (públicos o privados). En el caso de que se transite sobre caminos de la empresa (privados), las restricciones de carga estarán generadas por la discusión entre la empresa propietaria de los caminos (empresa forestal) y la propietaria de los medios de transporte, que velará por el cuidado de sus camiones.

Cuando el transporte es llevado a cabo sobre carreteras estatales, la carga máxima es determinada por la reglamentación vigente. En el caso del Uruguay, la misma es sancionada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (Diario Oficial, 1986).

La reglamentación vigente en el país está pautada por DECRETO 326/986 del 25 de junio de 1986. El Capítulo II del Artículo 1º, establece los pesos máximos permitidos:

- Los pesos máximos permitidos a los vehículos, resultarán de la aplicación simultánea de los límites por: peso bruto por neumático, eje, conjunto de ejes y peso bruto total establecido en los siguientes artículos.
- Los pesos brutos máximos absolutos por tipo de eje serán los que a continuación se expresan (Ver Cuadro Nº 1):

Nº Ejes	Tipo	Nº neumáticos	Peso máximo por eje (t)
Simple		2	6
Doble	Simétrico	4	10
		8	18
Triple	Asimétrico	4	10
		6	13,5
		12	22

Cuadro Nº 1: Pesos máximos permitidos para el tránsito de camiones por las carreteras públicas nacionales según distintas configuraciones motrices.

Eje simple: eje independiente que no integra un eje doble o triple, conjunto o sistema de dos ejes con separación menor a 1 m. 20 cm.

Eje doble simétrico: conjunto o sistema de dos ejes de igual características, con una separación mínima de 1 m. 20 cm. y máxima de 2 m. 40 cm..

Eje doble asimétrico: conjunto o sistema de dos ejes iguales características con una separación mínima de 1 m. 20 cm.

Eje triple: conjunto o sistema de tres ejes de iguales características con una separación mínima de 1 m. 20 cm. entre dos ejes consecutivos.

Para los ejes doble simétricos de 8 neumáticos el peso no podrá exceder de 9600 kg. en ninguno de los ejes. En el caso de 4 neumáticos la restricción será de 10000 kg. y 5000 kg. respectivamente.

Para el doble asimétrico el peso máximo será de 10000 kg. para el eje de cuatro neumáticos y 5000 kg. para el eje de dos neumáticos.

En el caso del eje triple no se deberá exceder los 8000 kg. en ninguno de los tres ejes.

2.2.1.2. Características y calidad de los caminos

El estándar de los caminos no solo es determinado por la calidad del revestimiento superficial (superficie de rodamiento), sino que otros factores influyen en dicha determinación. Las características geométricas de los caminos, como: número de curvas, radio de curvatura, distancia de visibilidad, ancho de calzada y largo y magnitud de las pendientes; resultan fundamentales a la hora de determinar la calidad de un camino. Aquellos caminos con menor número de curvas, mejor visibilidad, menores pendientes, permitirán desarrollar velocidades mayores, disminuyendo los costos por unidad de carga. Además de las condicionantes técnicas, en cuanto a costos, la calidad del camino, puede generar problemas ambientales en cuanto a polvo, modificación de las vías de drenaje, erosión, etc. (NEUENSCHWANDER, 1998).

AEDO *et. al.* (1998), señala el hecho de que el transporte de madera en Chile se realiza "tanto por carpetas de ripio como de pavimentos asfálticos como de hormigón".

MACHADO *et. al.* (1993), señala que la calidad de la superficie de rodamiento de una carretera influye en los costos de transporte, una vez que afecta el consumo de neumáticos, piezas, combustible, etc. El mismo autor indica que en promedio, en las carreteras no pavimentadas los costos de transporte de madera en los camiones medianos fueron 30% mayores que en vehículos pesados. Las menores distancias y las mejores calidades de superficie reducen los costos en un 26% para la situación inversa.

Según NEUENSCHWANDER (1998), "las características, condiciones y estado de conservación de los caminos van a tener una influencia decisiva en los costos horarios de los vehículos de transporte, cualquiera sea su tipo y tamaño". Según éste, dicho costo depende – entre otras cosas –, de la velocidad promedio que se alcance al considerar el viaje redondo, es decir: viaje cargado y viaje vacío. A medida que la calidad del camino decrece se verifica un mayor tiempo de viaje por una disminución de la velocidad. Esto trae aparejado un aumento de los costos por

unidad de carga transportada. Además, en el caso de los caminos de peor estándar, no todos los camiones son aptos para transportar madera sobre ellos.

Por otra parte, LEE-JOONWOO (1996), señala que para caminos construidos según el Reglamento para la Construcción de Caminos Forestales de Korea del Sur, la velocidad promedio de un camión cargado es entre 30 a 15% inferior que la de un camión vacío.

Comparando las clases de caminos no pavimentados (de calidades extremas), los costos de transporte de madera presentan un incremento sustancialmente mayor que en caminos pavimentados de un 138% por vuelta (MACHADO *et. al.*, 1993).

2.2.1.3. Distancia del flete.

NEUENSCHWANDER (1998), sostiene que "en un sentido amplio los costos de transporte van a estar gobernados por la distancia a cubrir por el flete, en razón de que esta distancia va a ser determinante en el número de viajes, y en consecuencia, en el volumen de madera que va a ser movilizado en la jornada por cada vehículo de transporte". Al mismo tiempo plantea que: cuanto más larga sea la distancia del flete, menor será el volumen de madera a transportar en cada jornada y por lo tanto mayor será el costo por unidad transportada (si se mantienen las demás variables constantes).

Por otra parte, cuanto mayor sea la distancia de transporte menor será el costo por tonelada/kilómetro. Esto se debe a que el vehículo ocupará una mayor proporción de su tiempo productivo desplazándose. Por el contrario en la medida de que las distancias sean menores, el peso relativo de los tiempos de carga y descarga es mayor ya que los mismos no se encuentran influidos por el tiempo en tránsito (NEUENSCHWANDER, 1998).

En diversos trabajos de investigación se constató que los camiones de menor tamaño resultan más eficientes en distancias cortas (menor tiempo en terminales), que los camiones de gran envergadura. En cambio, cuando se trata de distancias mayores, dicha situación se invierte (MACHADO *et. al.*, 1993).

El volumen transportado por año disminuye al aumentar la distancia del flete, al mismo tiempo se reduce el costo por unidad de volumen (m^3/km). Ahora bien, dicha disminución no es lineal sino, que decrece, al punto en que se llega a una distancia a la cual por más que la distancia aumente, el costo se mantiene constante, alcanzando un valor mínimo (NEUENSCHWANDER, 1998).

2.2.1.4. El factor humano.

La influencia del operador en el proceso de transporte de la madera no siempre es tenida en cuenta, aunque la misma es de singular relevancia. No solo en

las aptitudes que tenga el operario, que le permitan sacar mayor provecho de la maquinaria, sino también en mantener velocidades óptimas para las condiciones de los distintos tramos, así como en la reducción de retrasos (averías, descansos, etc.) o tiempos improductivos de variada índole. En condiciones críticas (alta pendiente, curvas cerradas, etc.), las alternativas de conducción no son demasiadas: por ejemplo, en situaciones de alta pendiente, el chofer no tiene otra alternativa que la de viajar a la máxima potencia. (NEUENSCHWANDER, 1998).

2.2.2. Características generales de los camiones y de la carga en el transporte forestal.

Según NEUENSCHWANDER (1998), al planificar el sistema transporte, en una *empresa forestal*, una de las etapas críticas consiste en la elección de los vehículos sobre los cuales se transportará la madera.

SEIXAS *et. al.* (1993), señala que los encargados de planificar el transporte principal de madera generalmente se ven enfrentados a dos opciones al momento de seleccionar la flota de vehículos: a) seleccionar los vehículos entre una flota ya existente a disposición para el transporte; o b) determinar las opciones más favorables económica y técnicamente entre los tipos de vehículos existentes en el mercado. A su vez, el mismo autor, sostiene que la segunda alternativa es la menos común, ocurriendo solamente cuando la empresa adquiera una flota propia.

En Chile, "las características principales de los camiones obedecen a las pautas que, de acuerdo al tipo de producto a transportar, son impuestas por las empresas forestales contratantes para la selección de los camiones que efectuarán el transporte. El objetivo de la empresa forestal está orientado a disponer de un servicio de transporte que marche en forma integrada con su sistema de cosecha y entrega de sus productos, por lo que requieren de empresas dedicadas exclusivamente al transporte forestal". De esta manera, dichas empresas exigen a los transportistas vehículos con doble puente motriz y potencias mínimas de 300 HP, con una antigüedad no mayor de 5 años (NEUENSCHWANDER, 2000).

AEDO *et. al.* (1998), coincide con el autor citado en el párrafo anterior en cuanto a que el transporte forestal en Chile "es llevado a cabo en su totalidad por medio de camiones especializados en el transporte forestal y con potencias mayores a 300 HP".

NEUENSCHWANDER (1998), sostiene que la selección del tipo de camión debe estar basada principalmente en los siguientes "factores principales":

- Restricciones legales existentes.
- Tamaño, forma, cantidad y peso de la madera que deberá ser transportada por viaje.
- Distancia a la cual se llevará a cabo el transporte.

- Características de los caminos que forman la ruta a recorrer, con una descripción de las características de soporte de los puentes presentes en la ruta.
- Condiciones técnicas del carguío y la descarga.

Del mismo modo, dicho autor plantea que los transportistas obtendrán los mejores resultados cuando se den las siguientes condiciones:

- Menor peso de tara.
- Mayor capacidad de carga.
- Menor costo de capital.
- Mayor calidad del camino.
- Mejor estado de conservación del camino.

NEUENSCHWANDER (2000), agrega a las citadas en el párrafo anterior las siguientes condiciones:

- Servicios de post venta.
- Disponibilidad de Repuestos.
- Marca de prestigio que facilite su re venta al cumplir la vida útil”.

Según TOLOSANA *et. al.* (2000) para la elección del medio de transporte se deben tener en cuenta “tres parámetros principales” los cuales son:

- Fiabilidad.
- Disponibilidad.
- Precio.

“La fiabilidad es un concepto muy amplio que incorpora y matiza otros como rapidez y seguridad. Los usuarios necesitan fiabilidad en los tiempos de transporte antes que máxima rapidez”.

“La disponibilidad es un factor a tener en cuenta porque no siempre el servicio de transporte más conveniente resulta accesible de forma inmediata para el usuario”.

“En cuanto al precio, la reflexión más importante es que, a la hora de valorar varios servicios de transporte, se deben tomar en consideración todos los elementos de costo, incluyendo los anteriores y posteriores al propio transporte”

En el caso de que se utilicen camiones con grúas, estos presentan la ventaja de que permiten operar a los camiones independientemente de los cargadores, reduciendo así, los tiempos de carga y descarga, evitando la generación de las líneas de espera. Además, son muy versátiles en canchas muy pequeñas, donde no se justifica instalar una grúa. Sin embargo, presenta la gran desventaja del peso adicional que el equipo representa para el vehículo, condición que determina una menor capacidad de carga útil (NEUENSCHWANDER, 1998).

El mismo autor plantea que el tiempo ocupado en las operaciones de carga y descarga es generalmente constante y guarda una relación directa con los costos fijos del sistema transporte, es decir, los costos generados en estas operaciones son independientes de la distancia del flete. De esta manera, el peso relativo que tiene este componente en el sistema transporte, aumenta sustancialmente a medida que las distancias de flete son menores. Cuando esto sucede, los tiempos ocupados en las tareas de carga y descarga adquieren relevancia, ya que pasan a ser los determinantes del sistema.

2.2.2.1. Configuración de los camiones.

El transportista (o la empresa forestal), deberá optar por una configuración de su vehículo entre una enorme variedad de alternativas disponibles en el mercado. La unidad tractora podrá ser de 2, 3 o de más ejes, deberá decidir el número de ejes que dispondrán de tracción y tipos de ruedas: simples o dobles. Además deberá determinar como será llevada la carga, es decir, directamente sobre el camión - para el caso de un camión simple -, sobre un semi-remolque, el cual estará acoplado al camión por un mecanismo denominado quinta rueda, o bien sobre un camión simple con un remolque (NEUENSCHWANDER, 1998).

La configuración de ejes y ruedas que disponen de tracción se expresan según la siguiente fórmula (modificado de NEUENSCHWANDER, 1998):

Fórmula	Nº de posiciones de ruedas	Nº de ejes	Nº de ruedas con tracción
4 x 2	4	2	2
4 x 4	4	2	4
6 x 4	6	3	4
6 x 6	6	3	6
8 x 2	8	4	2

Cuadro N° 2: Fórmulas para las distintas configuraciones de ejes y ruedas tractoras.

El camión de configuración 6 x 4, está compuesto por un eje simple delantero y un eje doble de doble rodado tractor. A este eje doble se le denomina doble puente motriz. Existe también un tipo de camión de configuración 6 x 2 que permite elevar el eje posterior (no tractor), en los viajes vacíos, de manera de ahorrar el desgaste de los neumáticos y aumentar la capacidad de maniobra del vehículo. Este tipo de vehículo es denominado vulgarmente como "camión con pata". En algunos países forestales es usado también un tipo de camión denominado "camión tronquero" o "peerless" (Ver Figura N° 2). El mismo consiste en un camión tractor y un remolque de lanza telescópica que le permite ajustarse a diferentes largos. Esta característica, le permite adaptarse de excelente forma a sistemas de cosecha de árbol entero o fuste entero. Además, presenta la posibilidad de cargar el remolque sobre el camión, lo que le otorga las ventajas operativas reseñadas en el párrafo anterior (NEUENSCHWANDER, 1998).

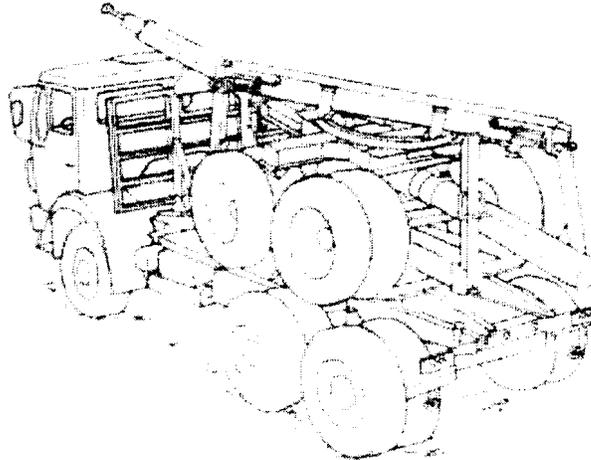


Fig. Nº 2: Camión “tronquero” o “peerles” (extraído de NEUENSCHWANDER, 1998).

2.2.2.2. Requerimientos de potencia.

La potencia de los camiones es una variable técnica de singular importancia, ya que determina la capacidad del camión de desplazar la carga. La misma debe ser tal que le permita superar las fuerzas que se oponen al desplazamiento (resistencia a la marcha): resistencia al rodado, resistencia a la pendiente y resistencia aerodinámica. Además, a la potencia neta especificada para el motor deben restársele las pérdidas de potencia por transmisión (NEUENSCHWANDER, 1998).

La resistencia al rodado (RR) es la fuerza de freno que ofrece el suelo para el desplazamiento de las ruedas de un vehículo. Para que el vehículo pueda desplazarse esta debe ser superada, su valor será igual a la fuerza necesaria para desplazar el vehículo sobre la superficie del camino. Es muy importante ya que representa una de las principales pérdidas de potencia. Por otra parte, mientras mayor sea la resistencia al rodado mayor será la probabilidad de que se produzcan daños en el suelo. Este parámetro es directamente proporcional al factor de resistencia a la rodadura que se hace mayor cuanto más irregular sea el terreno (Ver Cuadro Nº 3). Al mejorar la calidad de los caminos, las pérdidas de potencia a causa de esta resistencia se disminuyen (NEUENSCHWANDER, 1998).

$$RR = frr * W$$

Donde: frr = Factor de Rodadura
W = Peso en kg.

Carpeta del camino	Factor de resistencia
Concreto	0.015
Concreto asfáltico	0.018
Ripio fuertemente apretado	0.023
Tierra firme	0.025
Tierra suelta o arenosa	0.038
Arena	0.060-0.150
Barro, lodo	0.036-0.150
Nieve	0.026

Cuadro N°3: Factor de resistencia según tipo de carpeta (Adaptado de NEUENSCHWANDER, 1998).

La potencia para vencer dicha resistencia (P_{rr}) expresada en HP es:

$$P_{rr} = \frac{RR * v}{268.4} \quad \text{Donde : } RR = \text{Resistencia a la Rodadura en kg} \\ v = \text{Velocidad en km/h.}$$

La resistencia a la pendiente (RG) es la fuerza que se opone al desplazamiento de un vehículo sobre cualquier tipo de camino, a causa del aumento de la energía potencial gravitatoria (NEUENSCHWANDER, 1998).

$$RG = 0.01 * W * \%P \quad \text{Donde: } W = \text{Peso en kg} \\ \% P = \text{Porcentaje de pendiente}$$

La potencia para vencer dicha resistencia (P_{RG}) expresada en HP es:

$$P_{RG} = \frac{RG * v}{268.4} \quad \text{Donde: } RG = \text{Resistencia a la Pendiente en kg} \\ v = \text{Velocidad en km/h}$$

La resistencia aerodinámica (RA) es la fuerza de signo opuesto al desplazamiento ocasionada por el aumento de la presión del aire en la parte delantera del vehículo a determinada velocidad. La misma es relevante cuando se superan los 50 km/h (NEUENSCHWANDER, 1998).

$$RA = 0.0047 * A * v^2 \quad \text{Donde : } A = \text{Área frontal del vehículo en m}^2 \\ v = \text{velocidad en km/h}$$

La potencia para vencer dicha resistencia (P_{RA}) expresada en HP es:

$$P_{RA} = \frac{RA * v}{268.4} \quad \text{Donde } RA = \text{Resistencia que opone} \\ \text{el aire al desplazamiento en kg}$$

La resistencia de fricción representa las pérdidas de potencia desde el disco de embrague hasta las ruedas motrices, por lo que, es la expresión de la deficiencia de la transmisión de fuerza. A diferencia de las anteriores, esta fuerza es propia del vehículo, y no puede ser modificada. En la medida de que la calidad de los caminos se mejore, la resistencia al rodamiento y a la pendiente disminuye, aumentando de este modo la potencia neta del motor (NEUENSCHWANDER, 1998).

LE RAY (1964) señala que "en términos generales se sabe que la resistencia al movimiento está formada por cuatro elementos: resistencia a la rodadura en los ejes motor y portador, resistencia del aire, pesantez (en rampas o declives) y aceleración cuando el movimiento no es uniforme. Si bien la resistencia a la rodadura y al aire sólo absorben una porción mínima de la potencia desarrollada por el motor, la pesantez, por el contrario, absorbe con mucho la mayor parte de tal potencia".

Según TOLOSANA *et. al.* (2000) la potencia necesaria para desplazar un vehículo a una velocidad determinada se puede expresar de la siguiente manera:

$$W > 0.004 * v * ((Pc + Pm) * (c + 10p)) + 0.02 v^2$$

Donde: **W** es la potencia requerida en HP

Pc es el peso del propio camión (t)

Pm es la carga que se desplaza (t)

c es el rozamiento dado por el coeficiente de rozamiento (o resistencia a la rodadura) (kg/t)

p es la pendiente en %

2.2.3. La distribución de la carga.

Para NEUENSCHWANDER, 1998; todo transportista pretende transportar el máximo de carga aprovechando la capacidad que le brindan sus camiones, pero para cumplir con este objetivo, es necesario una correcta distribución de la carga en el vehículo, cuidando de no exceder las cargas máximas permitidas por eje.

En un estudio relacionado con el sobrepeso de los camiones forestales en la VIII Región, para los años 1994 y 1995, los resultados mostraron que el 87% de las infracciones por sobrepeso de carga eran por exceso de carga en ejes específicos, manteniéndose el camión dentro de los límites de carga total permisible (Neuenschwander & Albornoz, 1997).

DIKSTRA *et. al.* (1996), señala que "la carga de los camiones debe equilibrarse adecuadamente y asegurarse mediante sujeciones que impidan que las trozas puedan caer del camión si la carga se desplaza durante el trayecto. Los camiones no han de soportar nunca una carga excesiva. Cuando sea posible estarán equipados con pilas piezoeléctricas, de manera que pueda comprobarse el peso total de la carga y su distribución en los diferentes ejes".

Por medio de un incremento de peso sobre el eje delantero, teniendo cuidado en no sobrepasar el peso máximo permitido sobre dicho eje es posible muchas veces aumentar la capacidad de carga total sin producir deterioro mecánico por sobrecarga en alguno de sus ejes, ni sufrir multas por sobrepeso. Con el fin de lograr una distribución más eficiente de la carga sobre los ejes del vehículo se deberá previamente conocer como se distribuye el peso de la carga que es aplicada al suelo a través de los ejes. A partir de las distancias entre los ejes y la posición relativa del centro de gravedad, es posible determinar si la distribución del peso es óptima, es decir, si la posición del centro de gravedad de la carga es la correcta (NEUENSCHWANDER, 1998).

Dimensiones básicas para el cálculo de peso por eje en un camión simple

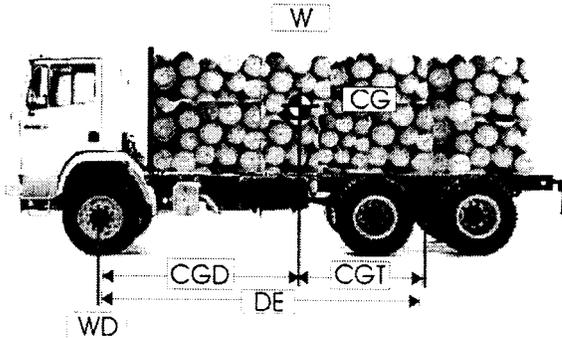


Fig. N° 3: Dimensiones básicas para el cálculo del peso por eje en un camión simple (modificado de NEUENSCHWANDER, 1998),

Siendo W = Peso de la carga en t.

DE = Distancia entre ejes delantero y posterior, en metros

CG = Centro de Gravedad de la Carga

CGD = Distancia desde la vertical del centro e gravedad de la carga al eje delantero, en metros

CGT = Distancia desde el centro de Gravedad de la Carga al eje posterior, o bien a la línea central cuando se trata de un doble eje

WD = Peso de la carga sobre el eje delantero en t.

El mismo autor, indica que: cuando un camión es cargado en forma perpendicular al eje del camión tendrá posibilidades de un mejor aprovechamiento de los espacios y por lo tanto un volumen sólido mayor. En el caso de rollizos más largos en que la carga debe ir paralela al eje del camión o del remolque, ésta será menos compacta, debido al ahusamiento de los troncos lo que determina un mayor espacio vacío entre ellos. Por otra parte, en la carga de rollizos largos la distribución puede ser con el diámetro basal hacia adelante, hacia atrás o en forma alternada. En Estados Unidos, por lo general los fustes se cargan con su diámetro menor hacia adelante para repartir la carga de mayor peso sobre los ejes tractores traseros. Esto trae como consecuencia un problema de clasificación de trozas cuando el destino final es un aserradero ya que la clasificación por diámetro se debe realizar en función del diámetro menor. En el caso que la carga sea alternada hay que tener en cuenta el incremento de tiempos terminales ya que se deberá hacer una selección para cada uno de los fustes.

La distribución de la carga en un camión forestal no solo influye en los tiempos terminales y por ende en los costos del sistema, sino que también trae aparejado otras consecuencias. Al desplazar el centro de gravedad del camión hacia atrás se aumenta la capacidad de maniobra y se disminuye la resistencia al rodado, por el contrario si se desplaza el centro de gravedad hacia adelante se incrementa la velocidad crítica. Por otra parte si se disminuye la carga sobre las ruedas frontales se mejoran las condiciones de contacto entre estas y el suelo lo que determina una mayor capacidad del vehículo para operar en distintas condiciones de terreno.

2.2.4. Estructura de costos del sistema transporte.

Según FAO 1992, los costos de transporte forestal por medio de camiones están compuestos por un costo fijo y un costo variable. Dichos costos se calculan de la siguiente manera:

$$CF = Ch_1 * (TC_{cd}) / Vol$$

$$CV = CH_2 * (TV_v + TV_c) / Vol$$

$$CT = CF + CV$$

Donde: CF = Costos fijos (\$/m³)

CV = Costos variables (\$/m³)

CT = Costos totales (\$/m³)

Ch₁ = costo horario de camión parado (\$/h)

Ch₂ = costo horario de camión en marcha (\$/h)

TC_{cd} = tiempo combinado de carga y descarga (h)

TV_v = tiempo viaje vacío (h)

TV_c = tiempo viaje cargado (h)

Vol = volumen (m³)

Según SUNDBERG *et. al.*, 1990 los costos totales de un sistema de transporte incluyen los costos de construcción y mantención de caminos, los costos que implican el transporte de cierto volumen de madera bajo ciertas circunstancias. Los mismos se relacionan según la siguiente fórmula:

$$CT = CCC + Vol \times Ct$$

CT: costos totales (U\$)

CCC: costo de construcción de caminos (U\$)

Ct : costos de transporte variables directos (U\$/m³)

SUNDBERG *et. al.* (1990), expresa que para comparar económicamente varios sistemas de transporte, se deben buscar los puntos de indiferencia donde los costos totales de transporte son idénticos para un determinado volumen. Para esto se deben de igualar las ecuaciones de costos, de la siguiente manera:

$$CT1 = CT2$$

$$CCC1 + Ct1 \times Vol = CCC2 + Ct2 \times Vol$$

$$Vol = \frac{CCC1 - CCC2}{Ct2 - Ct1}$$

En la siguiente gráfica (Ver Figura N° 5) se presenta un ejemplo de los puntos de intersección de tres modelos de transporte A, B, C.

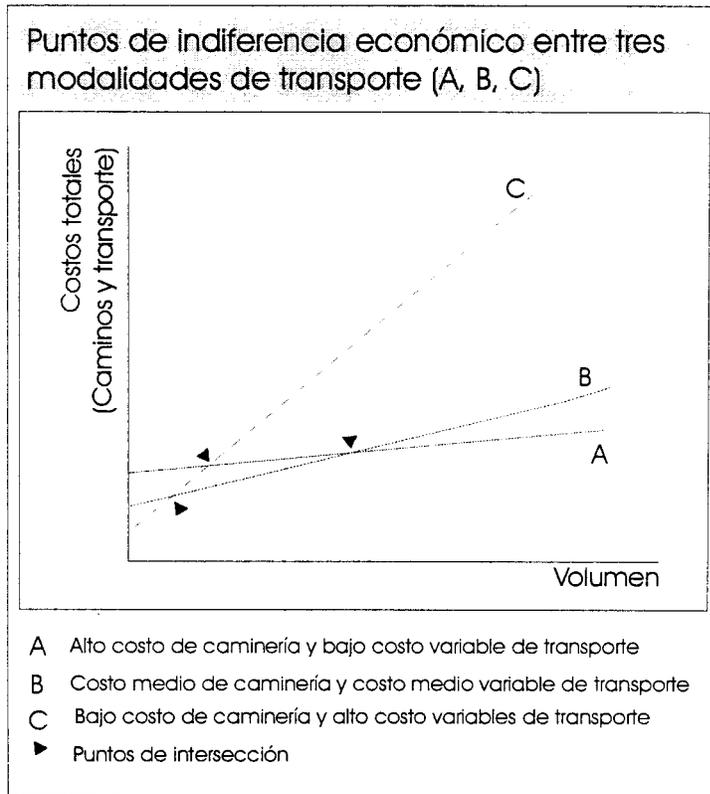


Figura N° 4: Punto de indiferencia económica entre 3 modalidades de transporte
(modificado de SUNDBERG et. al., 1990)

NEUENSCHWANDER *com. pers.* (2000), estima que el costo de transporte en un sistema forestal se obtiene de la siguiente manera:

$$CT = (Ch * 2) / (vm * L)$$

Donde: CT = Costo de Transporte (\$/unidad/km)
 Ch = Costo horario del camión (\$/h)
 vm = Velocidad media (km/h)
 L = Carga del camión (t)

Sin embargo dicho autor considera el **Costo del Sistema Transporte** integrado por el Costo de Transporte (\$/unidad/km) y el Costo de Construcción de Caminos (\$/unidad/km)

David (1983) estableció para condiciones medias en la Selva Central de Perú regresiones para los costos de transporte por metro cúbico de madera rolliza y para el transporte de madera aserrada. Para madera rolliza las regresiones son las siguientes:

Camión gasolero (usado) $Y = 2998 + 105.41 X$
 Camión petrolero (usado) $Y = 2628 + 67.08 X$
 Camión petrolero (nuevo) $Y = 3353 + 80.48 X$

Para madera aserrada la ecuación de costos medios de $1m^3$ es la siguiente:

$$Y = 9417 + 14.05 X$$

Siendo Y el costo por metro cúbico de madera transportada (soles), y X la distancia de transporte (kilómetros)

El mismo autor señala que para el Perú "los costos totales de transporte de madera representan el 39% del costo total del proceso de producción y comercialización".

2.3. EL SISTEMA CAMINOS.

"Los caminos forestales son complejas estructuras de ingeniería de las que dependen el transporte eficiente y el acceso seguro a los bosques" (DIKSTRA *et. al.*, 1996).

Según (FAO 1977, YOSHIMURA *et. al.* 1977 citado en DIKSTRA, 1998), los caminos forestales "se encuentran entre los rasgos más problemáticos de las operaciones de aprovechamiento forestal, porque una fracción muy importante de la erosión del suelo que resulta de estas operaciones puede ser atribuida a los caminos, a menudo por defectos de diseño, construcción o por su pobre mantenimiento".

Para STENZEL *et. al.*, 1990, la construcción de caminos forestales implica una secuencia de operaciones diseñadas para convertir una ruta a través de la zonas de cosecha en una condición que permita la saca o el transporte a su máxima capacidad, desde el bosque al aserradero, de manera segura, eficiente y económica.

"No obstante, excepto en casos donde puedan usarse vías de agua o cables de larga distancia, los caminos son esenciales no solo para la extracción de madera industrial sino también para dar acceso al bosque con fines de manejo y control" (DULSALAM Y MACFUDH, 1997 citado por DIKSTRA, 1998). En algunos casos, los caminos forestales incluso pueden formar parte del planeamiento de la red de caminos públicos y pueden, por tanto, que sean una parte esencial del desarrollo de infraestructura del país (DIKSTRA, 1998).

La construcción de carreteras deberá siempre ajustarse a un criterio económico, atendiendo a las dificultades del terreno y al tráfico reducido. Quedará excluido todo revestimiento de alquitrán o betún que constituirá un gasto no remunerador. Coincidiendo con lo anterior, afirma que "el precio de los revestimientos superficiales impermeables basados en alquitrán, betún o cemento es excesivo para que resulte remunerador en las carreteras forestales" (LE RAY, 1964). El mismo autor señala que: en general, las carreteras forestales, no soportan más que un tráfico reducido y limitado a la extracción de los productos forestales y a otras actividades conexas, en donde se utilizan vehículos ligeros de enlace para el transporte del personal, cuadros directivos u operarios.

MACHADO (1994) establece que en caminos con carpetas rugosas los costos de transporte son un 28% mayor a aquellos de carpeta asfáltica.

Al considerar la estructura de un camino, GAYOSO (1990) expresa que debe ser capaz de soportar los requerimientos dinámicos y estáticos del tránsito sin que se produzcan daños permanentes ni deformaciones excesivas, ni las provocadas por el transcurso del tiempo.

En general, la casi totalidad del transporte se efectúa en sentido preferencial desde el bosque hasta el lugar de redistribución, así pues, el perfil longitudinal de las carreteras forestales puede, e incluso, debe presentar caracteres diferentes en ambos sentidos. Los vehículos que regresan vacíos admiten pendientes superiores a los que circulan cargados así como también tienen un menor consumo de combustible por lo que las rutas más cortas y de menores pendientes se deberán dedicar al viaje cargado. Los vehículos para el transporte de madera son pesados y lentos, compuestos casi siempre por un tractor de uno o dos ejes posteriores, que arrastran un remolque especial de lanza o un semi-remolque. Estos vehículos deberán poder tomar las curvas, escalar las pendientes con una velocidad adecuada y descender los declives con toda seguridad (LE RAY, 1964).

A su vez, LEE-JOONWOO (1996), señala que la velocidad promedio sobre los caminos forestales depende de:

- Superficie de rodado

- Radio y largo de las curvas
- Porcentaje de pendiente

Dicho autor sostiene que es posible modelar matemáticamente la influencia de estos factores en la velocidad promedio de los camiones (junto con la carga del camión), de manera de diseñar los caminos según dichos requerimientos de velocidad, estableciendo distintas clases de calidad de caminos.

En este sentido GRYAZIN (1996) en un estudio realizado en Rusia, propone 4 categorías de caminos forestales que van desde la categoría 1 con una intensidad de tráfico mayor a 3000 unidades de transporte por día y 700.000 t. por año en ambas direcciones, hasta la categoría 4 con menos de 100 unidades de transporte por día, y menos de 100.000 t. por año en ambas direcciones.

Cuando se tienen caminos con la calidad adecuada es posible obtener ganancias considerables, en varios aspectos del aprovechamiento forestal: optimización de la flota, mejor aprovechamiento del personal y reducción de acopios de madera en el campo y la industria (DE CARVALHO, 1995).

La mayor o menor calidad de las pistas implica su posible utilización por unos u otros vehículos de transporte desde camiones todo – terreno hasta con remolque o trailers, y condiciona la velocidad del transporte en el interior del monte. A su vez la calidad de las pistas se relaciona fuertemente con su posibilidad de uso en épocas lluviosas. El estándar de calidad de las pistas está condicionado por: el tipo de transporte que se decida emplear; la mayor o menor distancia a recorrer en el interior de los montes; la posibilidad de recurrir a transportes intermedios; la necesidad de uso en épocas lluviosas (TOLOSANA *et. al.*, 2000)

El mismo autor sostiene que los parámetros de lo que dependerá la elección de los estándares a utilizar serán: la distancia media de transporte a fábrica; la distancia a recorrer por pistas interiores; el volumen total objeto de aprovechamiento; el coste de mejora de la calidad de las pistas, función de la fisiografía.

Según GAYOSO, *et. al.* (1999), "la planificación debe tender a minimizar la cantidad de alteración causada por la construcción del camino:

- Controlando el kilometraje total; y
- Reduciendo el área de la alteración de los caminos que son construidos".

También deberá ajustar la densidad a la topografía y a los sistemas de cosecha a utilizar, identificar "zonas frágiles" en donde no se deberán construir caminos, minimizar los impactos causados por la construcción y considerar en la planificación las necesidades actuales y futuras del sistema de transporte a emplear.

Según (BURROUGHS *et. al.* 1991, citado por TOLOSANA *et. al.*, 2000), el principal impacto desfavorable de la construcción de vías de aprovechamiento forestal es el incremento de los procesos erosivos. Este proceso además puede

conducir a otras consecuencias indirectas como sedimentación, pérdida de la capacidad productiva de las masas forestales, aumento de la turbidez de los cursos de agua y fenómenos erosivos catastróficos. CARDOSO *et. al.* (1981), coincide con este punto y plantea que el deterioro de la calidad del agua trae como consecuencia las pérdidas de hábitat acuático.

Según DIKSTRA *et. al.*, 1996, el transporte de trozas desde los puntos de carga a su destino final no tiene grandes repercusiones sobre el medio ambiente. El impacto ambiental más directo se debe a la infraestructura (por lo general, carreteras), más que a las operaciones de transporte. Sin embargo, algunas prácticas pueden ser perjudiciales y poner en peligro la seguridad pública.

TOLOSANA, *et. al.* (2000), identifica (además de los procesos erosivos) impactos sobre la vegetación, sobre la fauna silvestre o cinegética, impactos paisajísticos, entre otros.

Para CARDOSO, *et. al.* (1981), la ecología debe ser parte integrante del plan de una red de caminos forestales debiendo observar los siguientes puntos:

- Usar la técnica de planeamiento y construcción que resulte en un menor impacto ecológico.
- El planeamiento, la construcción y el uso de las carreteras forestales no puede ser decidido unilateralmente, debiendo implicar a todos los responsables por el uso futuro, de manera de que ellos tengan conciencia y responsabilidad sobre los problemas ecológicos surgidos de la utilización de las mismas.
- Minimizar los disturbios ocasionados por la construcción de carreteras, a través del control de la extensión de las mismas.

2.3.1. Composición de una red de aprovechamiento.

Según DE CARVALHO (1995), una red viaria adecuada permite optimizar el transporte forestal, reducir el costo operacional y aumentar la garantía de abastecimiento. A su vez, dicho autor, sostiene que, es posible disminuir los costos de aprovechamiento mediante la asignación de recursos adicionales en el planeamiento vial.

GAYOSO *et. al.* (1999) señala que "la planificación de las vías de saca y la ubicación de las canchas disminuye la alteración sobre el área intervenida". A su vez indica la importancia de la correcta "localización, construcción y mantenimiento post cosecha de los caminos", en la disminución de efectos ambientales adversos.

LE RAY (1964), señala que a lo largo del proceso de extracción de los productos forestales de un bosque cada carretera forestal o cada tramo no tiene la misma finalidad ni está sometido a las mismas exigencias. El objetivo de la cosecha forestal es llevar la madera desde el tocón hasta un punto de expedición, que con frecuencia es común para todo el bosque. La madera se transporta por arrastre u

otros medios hasta los camiones encargados de sacarla del bosque. En este transporte se cuenta con diferentes ramales de carreteras para cada zona del bosque, por el que se lleva la madera a otros cada vez más importante y de mayor tráfico hasta llegar hasta el punto de expedición en la carretera pública. Por consiguiente cada uno de los ramales soporta un tráfico que es tanto más intenso cuanto más se aleja del lugar de corta y se acerca al punto recolector. En cada tramo el tráfico varía no solo en el peso que debe soportar sino en la duración del tráfico que puede durar desde días hasta meses.

El mismo autor, a su vez señala que se pueden distinguir tres tipos de carreteras en el aprovechamiento forestal (Ver Figura N° 6):

- Carreteras Principales
- Carreteras Secundarias
- Carreteras de Acceso

La carretera principal es la de mayor importancia ya que por ella transita toda la madera hasta el punto final de expedición en la vía pública. Todas las actividades del establecimiento se realizan en función de esta carretera. Esta vía debe permanecer en buen estado durante varios años, y debe ser transitable a lo largo de todo el año, inclusive épocas lluviosas. El trazado y construcción de esta vía será evidentemente el más delicado y completo, y debe situarse en su conjunto antes de comenzar la corta (LE RAY, 1964).

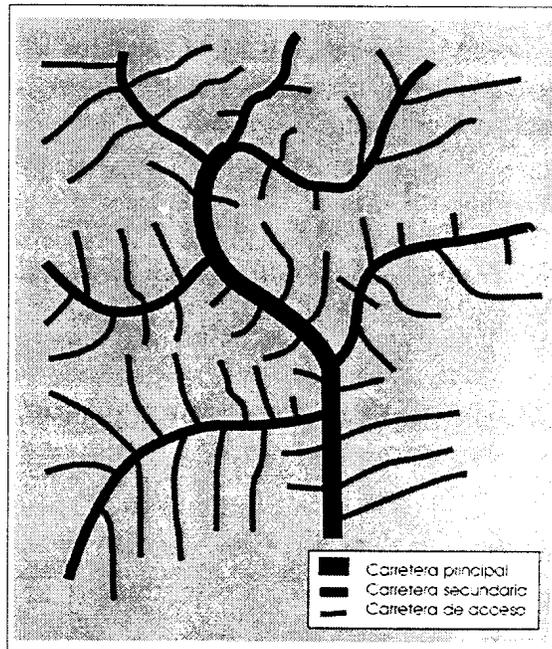


Fig. N° 5: "Esquema de la red de carreteras forestales" (adaptado de LE RAY, 1964)

Según DUKAS (1995) los estándares de los caminos principales, secundarios y de acceso, y el cálculo de densidad óptima de caminos se basan en un criterio de minimizar los costos de transporte.

"Las carreteras secundarias desembocan en la carretera principal y su finalidad es evacuar la madera apeada durante una o dos campañas únicamente: su duración en lo que se refiere al transporte de trozas, puede ser de varios meses o de dos o más años". "Excepcionalmente pueden conservarse en activo para el tráfico general de la aprovechamiento (transporte de materiales, aprovisionamiento de campamentos, etc)" (LE RAY, 1964).

El mencionado autor, plantea también que: las carreteras de acceso son tramos cortos que permiten a los camiones llegar desde las carreteras secundarias

hasta los parques de carga. Su longitud es reducida variando entre algunos metros y 1 km. (LE RAY, 1964).

En resumen, la composición de una red de carreteras de aprovechamiento forestal incluye: la carretera principal que debe estudiarse, construirse y mantenerse con el máximo de medios; las carreteras secundarias que deben durar un tiempo limitado y no exigen mantenimiento; y las vías de acceso que no exigen más que algunas operaciones que prácticamente se limitan al desmonte (LE RAY, 1964).

2.3.2. Principios de trazado.

DE CARVALHO (1995), indica que para delinear una red de vías es necesario seguir las siguientes etapas: anteproyecto, proyecto, construcción y mantención. Cada una de estas etapas exige estudios cálculos y diseños en una secuencia determinada para que su conjunto configure una obra ideal.

El costo de construcción de una carretera forestal parece ser demasiado como para gastar tiempo y dinero en la planificación del trazado de la misma. Sin embargo bastará evaluar el costo de tal estudio y compararlo con los gastos de construcción para darse cuenta de que el ahorro que se produce gracias a la disminución de la longitud total y del movimiento de tierras son tales, que todo desembolso por concepto de estudio es una excelente inversión. Un estudio preliminar de este tipo, corresponde a un 2 o 3 % del costo total de la obra. Cabe señalar que en Estados Unidos suele admitirse en las carreteras un gasto por estudios de 5 % del costo total (LE RAY, 1964).

DAVID (1983) afirma que "el trazo y calidad de los caminos influyen significativamente en la velocidad de transporte, costos y otras consideraciones sobre los vehículos. Por lo tanto, desde el inicio de la extracción debe tenerse especial cuidado en éstas y otras características de los caminos, ya que un mal trazo y calidad de camino repercuten en altos costos de transporte."

ANAYA (1975) señala que "el objetivo de la planificación de una red de caminos forestales es buscar aquella combinación de distancia entre caminos, clase de caminos, forma fundamental del sistema y método de transporte, tal que la suma total de los costos de arrastre, traslado sobre el camino, carga y descarga y costos del camino por unidad transportada, bajo condiciones impuestas, sea un mínimo."

En todo estudio las líneas generales de un trazado se determinan previamente por un método de aproximaciones sucesivas en mapas, planos o croquis de escala creciente, correspondientes a reconocimientos efectuados a pie sobre el terreno. Dicha aproximación se realiza por sucesivas pasadas a pie por el terreno en estudio. Sin embargo es necesario siempre un estudio de oficina que no suplanta al recorrido a pie sino que ambos se complementan (LE RAY, 1964).

Para efectuar la planificación de caminos se debe seguir una secuencia lógica que va desde el análisis de mapas topográficos y de bosques, terminando con el cálculo de los costos de construcción de caminos por unidad de volumen de madera (ANAYA, 1975)

LE RAY (1964), propone las siguientes fases de Estudio.

- a) obtención de datos de orden general mediante el estudio de los mapas existentes, reconocimientos aéreos y examen de fotografías aéreas;
- b) determinación de un trazado provisional con arreglo a los datos así recogidos;
- c) reconocimientos detallados sobre el terreno de acuerdo con la hipótesis del trazado provisional;
- d) determinación del trazado definitivo para rectificar el provisional atendiendo a los datos recogidos durante los reconocimientos;
- e) replanteo definitivo en el mapa y en el terreno del trazado elegido en función de los accidentes de detalle encontrados en el terreno

Según las recomendaciones de FAO, en DIKSTRA (1996), los caminos forestales bien diseñados y construidos deben cumplir con ciertos objetivos:

- Permitir el acceso al bosque para el transporte de la madera, así como también para atender las necesidades de ordenación y protección, a un bajo costo;
- Reducir al mínimo la erosión provocada por la construcción de los caminos, y por ende limitar la sedimentación de los arroyos;
- Reducir al mínimo la densidad de carreteras y cargaderos;
- Utilizar sistemas naturales de drenaje;
- Evitar las zonas de importancia cultural o paisajísticas y aquellas en las que se puedan perturbar la vida silvestre;
- Velar por la seguridad de los trabajadores y usuarios en general.

El inadecuado diseño, construcción y mantenimiento de los caminos forestales trae como consecuencia, según DIKSTRA *et. al.* (1996), una serie de efectos que se enumeran a continuación:

- Elevados costos de construcción, mantenimiento y transporte
- Corta vida útil de los caminos
- Sedimentación excesiva de los cursos de agua con efectos potenciales sobre la vida acuática
- Pérdida de productividad de los suelos forestales por efecto de la erosión
- Aumento del peligro de deslizamientos de tierra en pendientes pronunciadas
- Perturbación de las zonas de reproducción o de las rutas migratorias de especies animales sensibles.

Para reducir y limitar los efectos de las prácticas de construcción de caminos DIKSTRA *et. al.* (1996), plantea las siguientes prácticas:

- Recurrir a ingenieros competentes para estudiar el trazado y supervisión de la construcción.
- Limitar al mínimo indispensable la longitud de los caminos forestales, lo cuál lleva a un menor impacto y a un menor desembolso de dinero.
- En los sistemas de saca por arrastre se necesitan dos o tres veces mayor densidad que cuando se saca la madera con vehículos que transportan la carga levantada del suelo. Sin embargo hay que tener en cuenta que el costo de extracción es mayor cuando la densidad es menor.
- Reducir al mínimo la zona alterada al construir los caminos. Para bosques con pendientes suaves en donde no es necesario un gran movimiento de tierra, la anchura máxima de desmonte debe ser inferior a los 7.5 metros para los caminos principales y de 5 metros para los secundarios. El principio general es el de compatibilizar la construcción, el mantenimiento de los caminos y la extracción con un mínimo desembolso. Cabe resaltar la importancia de las zonas desmontadas a los lados de los caminos para permitir la incidencia directa del sol y así permitir un rápido secado del camino.
- Evitar las zonas húmedas y blandas que son propensas a la erosión, ya que implican un mayor costo tanto de construcción como de mantenimiento de los caminos.
- Compactar suficientemente el fondo de la carretera y permitir que éste se seque completamente antes de ser utilizado. Cuando sea posible es una práctica recomendable la de construir la carretera en la estación seca y dejar pasar una estación lluviosa antes de ser utilizada. Con esto se permite un asentamiento de los materiales.
- Excavar cunetas y construir a intervalos apropiados estructuras de drenaje que canalicen el agua hacia zonas laterales contiguas a los caminos. El costo de las estructuras se amortiza rápidamente y se evitan costos de mantenimiento excesivos.

En este ejemplo las pistas no son perimetrales para recibir madera de ambos lados y por ende reducir las distancias de saca. Sin embargo se pueden diseñar las pistas de forma perimetral si el objetivo es que cumplan funciones de cortafuegos o de delimitación de propiedad (Ver Figura N° 7).

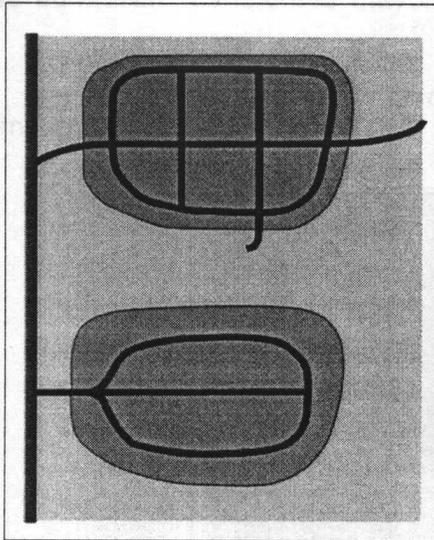


Fig. N° 6: "Modelo ideal para terreno llano y homogéneo" (modificado de (TOLOSANA et. al., 2000)

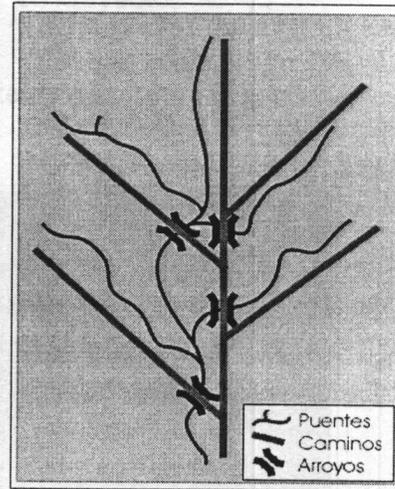


Fig. N° 7: "Patrón Chevrón" (modificado de (TOLOSANA et. al., 2000).

Cabe acotar que este es un ejemplo muy simple de topografía plana y sin influencia de red hidrográfica, algo poco común, en la realidad, dado que este se debe adaptar a la fisiografía del terreno, a la situación de las canchas de acopio y a la red principal de carreteras.

En topografías suaves existen variantes de estos modelos, como el patrón "Chevron" (Ver Figura N° 8), en el cuál las vías se disponen subparalelas con un espaciamiento constante, siguiendo la red hidrográfica.

En topografías algo abruptas las pistas no pueden ser paralelas entre sí al tener que someterse a ciertas pendientes (Ver Figura N° 8). Por este motivo, si la pendiente de ladera no es demasiado fuerte, se trazan las pistas siguiendo cotas y se unirán por ramales de interconexión oblicuas con cierta pendiente. Cuando las pendientes son mayores aún se adoptan esquemas en que no existen pistas principales sino que todas las pistas tienen cierta pendiente y se interconectan entre sí (TOLOSANA et. al., 2000).

En relación con los porcentajes de pendiente admisibles en carreteras de aprovechamiento forestal, en Estados Unidos se admite 7 % para caminos rurales y secundarios, y de hasta 15 % en caminos de extracción desde el bosque (Neuenschwander, 1998).

En este sentido, ANAYA (1975) señala que las pendientes serán de 5 % en terrenos planos, 8 % en terrenos ondulados y 10 % para terrenos montañosos. A su

vez se admitirán "pendientes mayores del 12 % en trayectos no superiores a 200 m."

Según LE RAY (1964) las carreteras forestales admiten entre un 6 y un 8 % de pendiente.

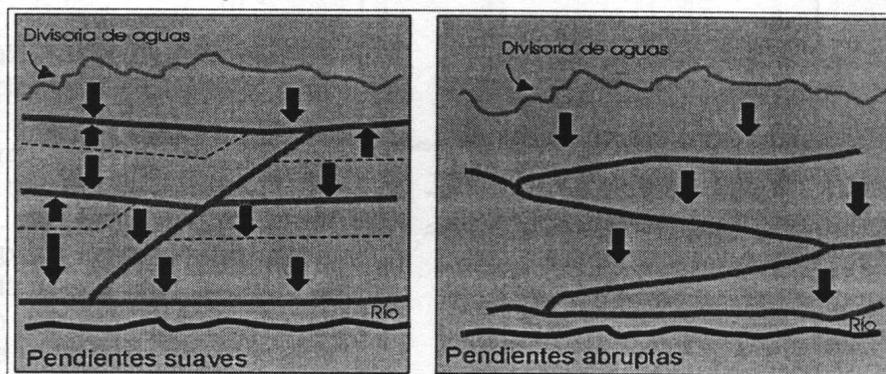


Fig. N° 8: Diseño de caminos en pendiente (modificado de (TOLOSANA et. al., 2000).

2.3.3. Detalles de construcción y mantenimiento de los caminos.

Según LE RAY (1964), Una carretera queda definida por el trazado de su eje en planta, el perfil longitudinal según este eje y los perfiles transversales. Estas características se fijan en los siguientes documentos: planta en que se detalla el trazado del eje; perfil longitudinal según el eje; perfil transversal normal o perfil tipo en que se detallan las anchuras de base; y varios perfiles transversales en puntos particulares, como curvas, terraplenes, excavaciones, etc (Ver Figura N° 10).

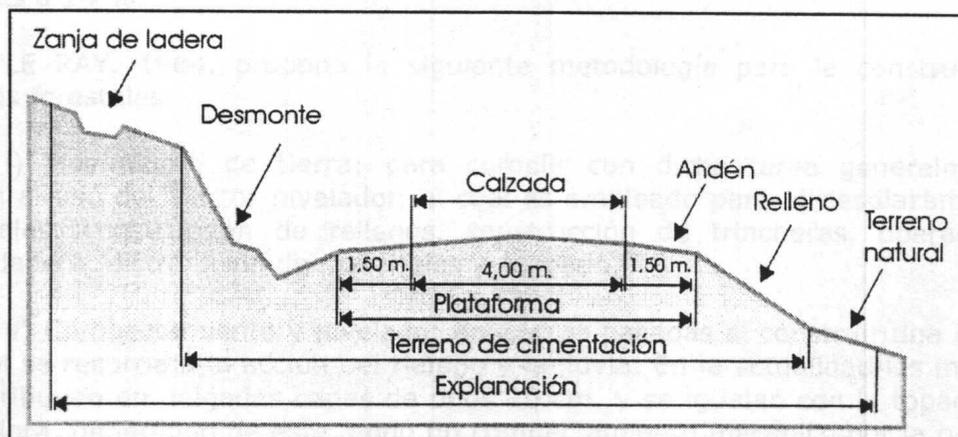


Fig. N° 9: Corte transversal de una carretera forestal (modificado de LE RAY, 1964)

Sin embargo, el mismo autor señala, que es poco común que en un proyecto de carretera forestal se exija la preparación de estos documentos tipo. Generalmente basta con un plano del eje y algunos perfiles transversales correspondientes a las situaciones principales, por ejemplo, tramos en laderas, tramos excavados o terraplenes, curvas en crestas de loma, etc.

El perfil transversal debe incluir: la calzada para la circulación de los vehículos; la plataforma entre cunetas o crestas de terraplenes que comprende la calzada y los paseos o andenes; el terreno de cimentación entre los límites extremos de las excavaciones; y la explanación, que corresponde a los límites del terreno dedicado a carretera. El terreno de cimentación corresponde a la anchura de despejado en las zonas arboladas. La plataforma es suficientemente ancha para que los vehículos puedan cruzarse o adelantarse en las carreteras de pista única. La calzada de una carretera forestal es casi siempre de pista única, atendiendo al número relativamente reducido de vehículos que por ella circulan cada día (LE RAY, 1964),.

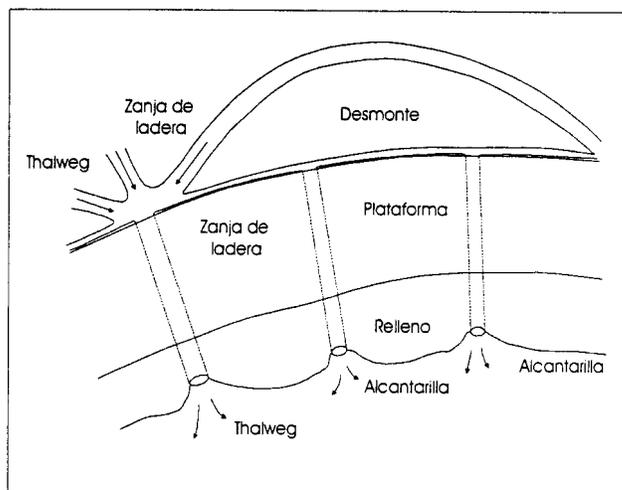


Fig N° 10: Vías de drenaje (extraído de LE RAY, 1964).

El terreno de cimentación corresponde a la anchura de despejado en las zonas arboladas. La plataforma es suficientemente ancha para que los vehículos puedan cruzarse o adelantarse en las carreteras de pista única. La calzada de una carretera forestal es casi siempre de pista única, atendiendo al número relativamente reducido de vehículos que por ella circulan cada día (LE RAY, 1964),.

CHA-DUSONG *et. al.* (1999) recomienda para la construcción de caminos principales, un ancho mayor a 4 m, radios de curva mayores a 20 m, y gradientes longitudinales menores a 8 %. Para caminos secundarios o de acceso el ancho debe ser menor a 3 m, radios de curva menores a 12 m, y gradientes longitudinales menores a 14 %.

LE RAY, 1964, propone la siguiente metodología para la construcción de caminos forestales:

i) Movimiento de tierra: para cumplir con dicha tarea generalmente se recurre al uso del tractor-nivelador, el cual es empleado para el desplazamiento de materiales, construcción de rellenos, construcción de trincheras, operaciones a media ladera, distribución de materiales y acabado.

ii) Compactamiento y nivelado: en épocas pasadas al construir una carretera forestal se recurría a la acción del tiempo y la lluvia. En la actualidad los materiales se distribuyen en delgadas capas de unos 20 cm. y se igualan con la topadora o la niveladora, generando de este modo un compactamiento mecánico por la pasada de

estas máquinas y de rodillos apisonadores. En la realización de carreteras de tierra la acción de sucesivas lluvias es significativa, sumándose al efecto provocado por las excavadoras y las máquinas apisonadoras. Luego de comenzada la circulación, el tránsito de los camiones colabora con la compactación de los materiales del camino.

iii) Drenaje y zanjas de desagüe: teniendo en cuenta el efecto destructivo de los agentes climáticos, en este caso las precipitaciones, es necesario el correcto drenaje y avenamiento de las aguas precipitadas y de escorrentía. Con este fin, se deben diseñar obras que permitan la evacuación de dicho caudal en forma eficiente, protegiendo al camino de la erosión hídrica.

A su vez, el mismo autor, señala distintas obras de evacuación de aguas en función de su finalidad:

- *zanjas laterales*: recogen el agua de escorrentía proveniente de la calzada.
- *desagües hacia las vaguadas*: su función es llevar las aguas de las cunetas hasta las vaguadas naturales o simplemente a las laderas.
- *zanjas de protección*: se construyen en zonas donde la carretera corta la pendiente y tiene como función evitar que el agua escurra por la ladera hasta el camino. Deberán ser construidas a una distancia mínima de 5 m. del camino.
- *alcantarillas bajo la calzada*: este tipo de obra es utilizado cuando el camino transita sobre un desagüe natural, un sangrador, cañada etc.; permitiendo que el agua de escorrentía circule dentro de los tubos, evitando de esta manera que la misma pase por sobre el camino.

ANAYA (1975), por su parte, distingue los siguientes pasos consecutivos en el proceso de construcción de una vía forestal, que difieren sensiblemente de los expuestos en el párrafo anterior:

- i) "Aclareo y extracción de tocones y raíces.
- ii) Movimiento de tierra:
 - Inspección de la zona de aclareo.
 - Estacado y reestacado.
 - Excavación (explosivos).
 - Relleno y compactación.
- iii) Estructura de drenaje:
 - Alcantarillas: cama, deformación (tubos metálicos), manejo y colocación de los tubos y terraplenes.
 - Cunetas.
 - Puentes.
 - Alcantarillas abiertas.
- iv) Afirmado del cascajo.
- v) Mantenimiento".

LE RAY (1964) señala que "la colocación de puentes plantea una situación particular. Los puentes forestales casi siempre son provisionales y de poca anchura. Aún cuando su estado no imponga una parada antes de franquearlos, son

indispensables tramos rectos de al menos 30 m a la entrada y a la salida del puente para evitar falsas maniobras.”

Según GAYOSO *et. al.* (1999) la zona de cruce de cauces no permanentes deberá ser construida con troncos u otros materiales que se quitarán al terminar la faena. En el diseño, se deberá minimizar el impacto sobre el cauce y su zona de manejo, priorizando evitar la destrucción de la biota acuática y la contaminación del agua.

En este sentido dicho autor distingue tres tipos de obras para el cruce de cauces:

- **Puente:** gran volumen de tránsito, volumen de agua considerable y variable, cauces con fondo y laderas frágiles, presencia de fauna ictícola, diferencias de elevación mayores a 2 m entre el cauce y la rasante del camino
- **Alcantarilla:** volumen de agua mediano a bajo; fauna ictícola poco significativa; diferencia de elevación de menos de 2 m entre el cauce y la rasante del camino; alto volumen de tránsito.
- **Vado:** caudal de agua de bajo a intermitente, fauna ictícola inexistente; lecho de base firme de roca o ripio (o donde la base haya sido protegida con material estable), de fondo bajo y estable; donde es posible nivelar la rasante del camino con el fondo del cauce y exista un bajo volumen de tránsito.

SCHWARZHOFF (1988); divide a los puentes forestales en dos categorías: los menores de 24 m de largo (la mayoría de los casos) y los mayores a 152 m. Los puentes de menor tamaño, son construidos generalmente en caminos donde se desconoce por cuanto tiempo será utilizado.

ARNOLD (1995) sostiene que para operaciones de cosecha de corto término los puentes portables o movibles ofrecen una alternativa frente a instalaciones permanentes. Dichos puentes son de diseño simple y mínimos costos de material lo que les otorga un gran potencial para su uso en Nueva Zelanda.

2.3.3.1. Mantenimiento.

El mantenimiento de las carreteras forestales es un elemento fundamental de gestión para que el flujo de transporte no se vea interrumpido en el transcurso de la cosecha. En la medida de que el tráfico sea más intenso o se utilicen camiones de mayor peso, dicha tarea se torna crítica. La degradación de las carreteras en suelo natural se observa como formación de una superficie ondulada, formación de carriles y repechos, desprendimiento de la grava debido al esfuerzo tangencial de las ruedas, formación de cárcavas erosivas y arrastre de las partículas finas arcillosas por las aguas superficiales desde las calzadas hacia las cunetas. La mantención tiene por objetivo, conservar la eficacia de los desagües y mantener o restablecer el perfil convexo de la calzada (LE RAY, 1964).

DIKSTRA (1986), agrega también que "el mantenimiento de las carreteras debe ser permanente, pero es especialmente importante cuando el transporte se realiza con camiones pesados. Cuando no se lleva a cabo un trabajo adecuado de mantenimiento, las carreteras pueden hundirse, registrándose erosión excesiva y problemas de seguridad".

GAYOSO *et. al.* (1999), señala que los caminos y obras de desagües deberán ser mantenidos de manera de "prevenir la erosión de calzada y la entrada de sedimentos a cursos de agua". Las obras de drenaje laterales deberán ser mantenidos en forma regular especialmente antes del invierno o de una lluvia esperada.

El mismo autor afirma que se deberán desactivar las obras de caminos y drenajes cuando no sea posible realizar un adecuado mantenimiento. De igual forma se desactivarán aquellos caminos que hayan cumplido su vida útil y aquellos que están en exceso.

QIU-RONG ZU *et. al.* (1999) sostiene que existe una relación significativa entre el óptimo período de mantenimiento y los costos de construcción de caminos, pero no es significativa con respecto a la densidad de caminos. Concluye que el período de mantenimiento de un camino no debe ser menor a 4 años.

2.3.4. Densidad óptima de caminos.

Cuanto más separadas se encuentren las carreteras forestales en un área determinada, mayor es la distancia de transporte de la madera cosechada hacia las mismas, y al mismo tiempo mayor es el área a la cual sirve dicha sección de camino (SUNDBERG *et. al.*, 1990).

HALL, P (1999) afirma que los caminos de extracción de madera podrán ocupar hasta un 15% de la potencial área productiva.

Según GAYOSO *et. al.* (1999) "el área cubierta por vías de saca no debe exceder un 5 % del área intervenida, y debe reducirse el número de canchas". En este sentido afirma que "las canchas de acopio no deberán tener una superficie mayor 0.1 ha, incluyendo las áreas para el acopio de madera".

PICMAN *et. al.* (1996) señala que las soluciones óptimas para un área forestal determinada se obtienen determinando la red caminera óptima asociadas a los distancias de arrastre y los mínimos costos de: construcción y mantenimiento de caminos, transporte maderero y de valor de la tierra.

En el siguiente gráfico (Ver Figura N° 12), extraído de (SUNDBERG *et. al.*, 1990), se presentan las curvas de costos de construcción de caminos (2), costos de transporte (1) y costos conjuntos (3), en función del espaciamiento entre caminos. El espaciamiento óptimo entre caminos y por lo tanto su densidad óptima se encuentran justo donde se hacen mínimos los costos conjuntos.

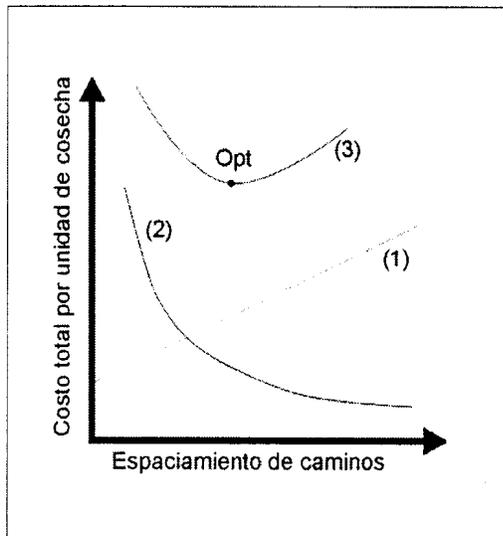


Fig. N° 11: “Costo del transporte en función del espaciamiento de caminos” (1) Costo de transporte; (2) Costo de construcción de caminos; (3) Costo combinado (modificado de SUNDBERG *et al* 1990)

“La densidad óptima de la red de vías de saca, persigue reducir al mínimo, el coste conjunto de la saca - que suben mucho si hay grandes distancias de desembosque - y de la construcción y mantenimiento de las propias pistas (que, se eleva cuando su densidad es excesiva, además de provocar pérdidas de producción y efectos ambientales desfavorables)” (TOLOSANA *et. al.*, 2000).

Para el cálculo de la densidad óptima de caminos Von Segebaden (en TOLOSANA *et. al.*, 2000). propone un modelo con las siguientes condicionantes: terreno rectangular y homogéneo; rodeado en uno de sus límites por una carretera pública de la cual se generan los caminos internos perpendicularmente a ésta; paralelos y equidistantes entre sí, con longitud L y separación S ; la madera a extraer se encuentra distribuida homogéneamente en el predio, la distancia mínima de desembosque será nula para la madera junto al borde del camino y máxima para la que se encuentra equidistante entre dos caminos $S/2$. De esta manera la distancia media de desembosque sería $S/4$ (Ver Figura N° 13).

TOLOSANA *et. al.*, 2000, señala que para este modelo teórico propuesto por Von Segebaden, el valor de la densidad de caminos forestales (Y_{opt}) que hace mínimo los costos conjunto se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Y_{opt}(m^3/ha) = \sqrt{\frac{5 \cdot X \cdot C_{ht}}{P \cdot V_t \cdot v}}$$

Siendo: $X = m^3/ha$
 C_{ht} = Costo horario de tractor
 P = Costo de const. y mant. caminos
 V_t = Capacidad de tractor ($m^3/viaje$)
 V = Velocidad (km/hora)

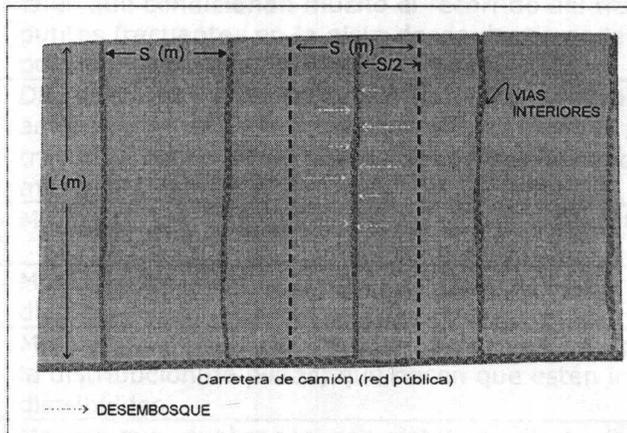


Fig. N° 12 "Modelo de Von Segebaden" (adaptado de TOLOSANA et. al., (2000).

En la realidad estas condicionantes de homogeneidad no se cumplen por lo que es necesario adaptar modelos de acuerdo a las características propias de cada situación (corrección de Klemencic). De esta manera, generando modelos que se adapten a distintas situaciones reales se logra encontrar aquella densidad de caminos que sea óptima en cuanto a los costos conjuntos del sistema, es decir los costos de construcción de caminos y los del transporte de la madera (TOLOSANA et. al., 2000).

Por este motivo Klemencic citado por TOLOSANA et. al.(2000) propone la siguiente adaptación al modelo inicial de Von Segebaden:

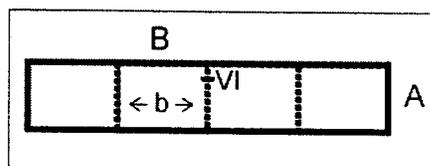
$$Y_{opt} (m/ha) = \sqrt{\frac{(k_1 + k_2) X * C_h}{p * V_t * v}}$$

El coeficiente k_1 es función de las condiciones fisiográficas, y el k_2 es función de la regularidad en la distribución de las pistas (Ver Cuadro N° 4).

$k_1 = 3$	Terreno sin ninguna dificultad, llano y con el monte accesible a partir de toda la longitud de la pista
$k_1 = 5$	Dificultad media, terrenos con pendiente, escabrosidad y adherencia que condiciona ligeramente el recorrido del vehículo. Algunos puntos del monte no son directamente accesibles desde la pista.
$k_1 = 7$	Dificultad alta. Terrenos con pendiente, escabrosidad y adherencia tales que condicionan mucho el recorrido del tractor. Existen puntos frecuentes en la pista desde donde poder acceder al monte, pero en los demás puntos no se puede.
$k_1 = 9$	Dificultad muy alta. Terreno con pendiente escabrosidad y adherencia tales que condicionan totalmente el recorrido del tractor. Existen pocos puntos de la pista desde donde acceder al monte.
$k_2 = 3$	Montes llanos, con pistas paralelas, casi equidistantes.
$k_2 = 5$	Montes ondulados, con pistas no paralelas pero homogéneamente distribuidas.
$k_2 = 7$	Montes muy ondulados, con muchos puntos de paso forzado para la distribución de pistas, que hacen que estén irregularmente distribuidas.
$k_2 = 9$	Montes muy quebrados, con pistas muy irregularmente distribuidas, incluso sólo perimetralmente.

Cuadro N° 4 : Coeficientes de corrección de Klemencic para el modelo de Von Segebaden de densidad óptima de caminos forestales (Adaptado de TOLOSANA *et. al* 2000)

ANAYA (1975), propone un modelo para determinar la densidad óptima de caminos en el cuál el área en estudio se reduce a una forma geométrica definida por un rectángulo y se calcula de la siguiente manera:



$$D = \frac{(B/b)(A - V_i)}{\text{Area}}$$

Fig. N° 13: "Densidad óptima de caminos" (extraído de ANAYA, 1975).

Donde: D = densidad de caminos (m/ha)
 A = lado menor del rectángulo (m)
 B = lado mayor del rectángulo (m)
 b = distancia óptima entre caminos
 Vi = b/2 = reducción económica de la distancia de camino

En este sentido dicho autor sostiene que "la densidad de caminos puede oscilar entre 7 a 20 m/ha, aumentando cuando las condiciones topográficas se hacen difíciles".

Por otra parte SUNDBERG *et. al.* (1989) adaptado por TOLOSANA *et. al.* (2000), plantean una tabla (Ver Cuadro N° 5) con las densidades óptimas de caminos de distintas calidades recomendadas en Suecia.

	Fisiografía		
	Suave/Ondulado	Montañoso	Muy abrupto
Densidad de pistas (m/ha)	36	26	32

Cuadro N° 5: "Densidades de pista recomendadas (SUNDBERG *et. al.*, 1989 adaptado por TOLOSANA *et. al.*, 2000).

CHRISTIANSEN (1977) estima que para las condiciones de Guatemala la densidad económica óptima sería de 12 m/ ha. Sin embargo sostiene que debido a los beneficios adicionales que brinda la red de caminos como supervisión de bosques y otras actividades la red ideal tendría que ser algo más densa, en el entorno de 20 m/ha.

Según DIKSTRA *et al* (1996) para las condiciones europeas las densidades óptimas de caminos forestales es de 25 m/ha de bosque. A su vez expresa esa densidad en volumen de madera extraída, lo que corresponde a unos 100 metros de caminos por cada 1000 m³ de madera.

TRZESNIOWSKI (1990) afirma que las densidades de caminos en bosques comerciales en Austria promedian los 41 metros por hectárea.

GAYOSO *et. al.* (1999) señala que se deberán utilizar densidades menores a 30 m/ha.

PARK *et al* (1994) determina que para operaciones de raleo en Japón, la densidad adecuada de la red de caminos es de más de 40 metros por hectárea.

DULSALAM (1997), estableció una ecuación que determina la intensidad de cosecha en función de la densidad de caminos. Dicha ecuación de regresión es la siguiente:

$$Y = 9.2598 + 1.8569 X$$

Siendo : Y = intensidad de cosecha (m³/ha)
X = densidad de caminos (m/ha)

KIM-JONG YOON (1996) en un estudio realizado para tres regiones en Korea del Sur, afirma que para volúmenes de 46,60,100,150 y 200 m³/ha, las densidades óptimas de la red de caminos son de 7.7,10,16,23 y 29 m/ha respectivamente.

"La densidad de caminos promedio en los bosques de Slovenia es de 14.3 m/ha, 18.5 m/ha en bosques públicos, y 12.4 m/ha en bosques privados" (DOBRE 1998)

HAUK *et. al.* (1995) en base al Inventario Forestal de Austria determinó que para ese país la densidad de caminos es de 41.7 m/ha.

Según CIGARSKY (1996) en un estudio realizado en Slovakia para tres condiciones ecológicas diferentes (expuesta, ácido y fértil) las densidades óptimas calculadas fueron entre 19.5 y 25.5 m/ha para zonas fértiles y de gran altitud, entre 17.0 y 23.5 m/ha para zonas ácidas y entre 15.1 y 19.2 m/ha para sitios expuestos.

CHA-DUSONG *et. al.* (1999) determinó para Korea del Sur que las densidades óptimas de caminos para distancias de extracción estándar (100 y 500 m.), fueron de entre 13 y 65m/ha para caminos unidireccionales y de entre 6.5 y 32.5 m/ha para caminos bidireccionales.

2.3.5. Distancia Optima entre Caminos.

ANAYA (1975) plantea que para caminos temporales (1 año o menos) en donde no se toma en cuenta la amortización de la inversión, el cálculo para determinar la distancia óptima entre caminos se puede hacer de la siguiente manera:

$$CT = C_f + C_v = \frac{10 * C}{V * b} + \frac{tr * b}{4}$$

Siendo: CT = Costos totales
 Cf = Costos fijos
 Cv = Costos variables
 C = Costo de construcción del camino (\$/km)
 V = Volumen aprovechable en m³/ha
 b = Distancia entre caminos
 tr = Costo de arrastre (\$/m/m³)

La distancia óptima b ocurre cuando el costo total se hace mínimo, por lo que se deriva a CT con respecto a b y se iguala a 0, obteniéndose de esta manera el valor óptimo de b:

$$b_{opt} = 2 \sqrt{\frac{10 * C}{V * tr}}$$

Siendo: b_{opt} = Distancia entre caminos

En el caso de caminos permanentes se deberá considerar la amortización de la inversión. De la misma manera que en el caso anterior, derivando e igualando a 0 se obtiene la distancia óptima entre caminos:

$$b_{opt} = 2 \sqrt{\frac{Y}{tr * p \text{ m}^3}}$$

Siendo: Y = C * Factor de amortización
 p = producción m³/m²/año
 tr = Costo de arrastre en \$/m/

Estos modelos son teóricos ya que presuponen caminos paralelos, situación poco probable, por que se genera un modelo adaptado:

$$b \text{ corregido} = 2 \sqrt{\frac{Y * F}{P * tr * T}}$$

Siendo : F = factor de corrección para la red de caminos
T = factor de corrección por arrastre

$$T = \frac{\text{Distancia promedio verdadera de arrastre}}{\text{Distancia recta promedio de arrastre}}$$

El factor F varía entre 1.35 y 2.0

“Este valor de b (distancia óptima) no es un valor inflexible, sino que hay un espacio considerable alrededor de esta distancia óptima dentro del cuál el costo total difiere muy poco. Esta oscilación puede llegar hasta el 30 % con un incremento en costos de sólo 4%.” (ANAYA 1975)

MATSUMOTO (1999) para un estudio realizado en Toei, una región montañosa de Japón, determinó que la distancia promedio de madereo es de 210 metros, menor al promedio de la región que es de 275 metros. Dicho autor sugiere para remediar la situación agregar 6 m/ha de caminos.

2.3.6. Costos del Sistema Caminos.

SAWAGUCHI (1995) afirma que el desarrollo de modelos para la determinación de estándares de uso está compuesto por cuatro costos: construcción reparación y mantenimiento; costos de tierra; costos de transporte de madera y costos de transporte de otras labores.

La construcción de las carreteras forestales con el mínimo costo implica la conjugación entre las condiciones naturales del terreno y las exigencias del tráfico previsto. Si se construye una carretera insuficiente no se podrá lograr el objetivo de extraer los productos forestales; por otra parte, si se realizan construcciones desproporcionadas en donde se incurre en desembolsos demasiado onerosos no podrá amortizarse con la producción forestal del bosque. El estudio y construcción de carreteras forestales deberá basarse en un criterio permanente de relativa economía (LE RAY, 1964).

Cuando el transporte se realiza dentro del predio, es decir, sobre caminos privados, probablemente el principal factor de costos del sistema transporte lo constituye la construcción y mantenimiento de caminos. Por lo tanto el análisis de costos debe ser integrado, considerando los costos de transporte junto con el de caminos (NEUENSCHWANDER, 1998).

2.3.6.1. Valorización del Uso de los Caminos Forestales.

CHACÓN (1995) propone dos métodos para valorizar el uso de un bien de capital:

Costo anual equivalente del bien de capital: toma en cuenta el costo de adquisición de este bien, su valor de reventa, la vida útil de este bien, y la tasa alternativa del capital. Es el resultado del producto del valor actualizado neto del activo y un factor de recuperación del capital. Esta forma de cálculo en su equivalente periódico es poco utilizada en cálculo de costos en el ámbito forestal. Es mucho más habitual el uso del cálculo de la depreciación más el costo de oportunidad de la inversión bajo la modalidad de **IIMA** (Interés sobre la Inversión Media Anual), que es el promedio de los costos de oportunidad aplicados período a período sobre el valor residual de la inversión, que disminuye a medida que se deprecia.

De esta manera el costo anual por kilómetro se puede calcular mediante el IIMA:

$$A = R + IIMA + M$$

O mediante el costo anual equivalente (CAE):

$$A = CAE + M$$

siendo :

A = costo anual por kilómetro

R = depreciación

M = costo de mantención anual

La empresa forestal deberá amortizar los gastos de construcción con el volumen de madera a extraer en la zona servida. Dicho volumen estará siempre limitado por las características del predio y por la situación del mercado al momento de la corta.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL PREDIO.

Sé procuró, entre distintas empresas forestales, un establecimiento forestal que constituya en cierto modo una situación productiva promedio, de manera de proporcionarle "aplicabilidad" al método.

El establecimiento sobre el cual se realizó el análisis, ocupa una superficie de 1161 ha. forestadas en el departamento de Tacuarembó. El mismo se encuentra dividido en 15 potreros limitados por alambrados convencionales. La superficie forestada que presenta cada potrero se presenta en el siguiente cuadro (Ver Cuadro N° 6).

La especie forestal, plantada (1992) en el establecimiento es *Eucalyptus grandis*. Si bien la plantación presenta objetivos múltiples, a los efectos de la aplicación del análisis, se asume un fin único: madera de aserrío de alta calidad por lo que será transportada hasta un aserradero. La plantación presenta raleos y podas. Los datos volumétricos utilizados son extrapolaciones proporcionadas por la empresa, a partir de los datos actuales. Por otra parte, la optimización se plantea a partir del volumen a los 18 años (fecha de tala rasa), de esta manera no se tiene en cuenta el posible incremento volumétrico que se genera durante el transcurso de la operación de cosecha (3 años).

3.1.1 Sistema de cosecha.

El sistema de cosecha propuesto por la empresa consiste en el apeo y desramado con una cosechadora mecánica (harvester). El arrastre hasta la zona de procesamiento se realizará por un tractor forestal de arrastre (skidder). Luego, la madera es trozada mediante un sierra de espada (slayer), y cargada sobre los camiones con la ayuda de una grúa, montada en el mismo equipo. Luego de cargada la madera sobre los camiones de la empresa contratista, la madera es conducida hasta el aserradero, recorriendo unos 80 km. por rutas nacionales.

Potrero	Superficie Forestada (ha.)
1	63.8
2	37.1
3	90.3
4	129.5
5	19.2
6	64.4
7	132.5
8	193
9	214.1
10	68.4
11	46.6
12	14.6
13	17.9
14	19.4
15	50.2

Cuadro N° 6: Superficie (ha) forestada según potreros

3.1.2. Características ambientales del establecimiento.

3.1.2.1. Topografía.

El predio presenta un relieve moderado con pendientes que no superan el 8%. La altura máxima no supera los 170 m. sobre el nivel del mar, mientras que la cota mínima ronda los 110 m.

El predio no presenta accidentes topográficos relevantes (cerros, barrancos), que constituyan una dificultad mayor a la hora de trazar los caminos.

3.1.2.2. Suelos.

Según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay publicada por el MGAP, a escala 1/1.000.000, el establecimiento se encuentra sobre la Asociación de Suelos Tacuarembó. La misma se caracteriza por presentar:

Suelos dominantes

Luvisoles Ocricos (Melánicos) Abrúpticos/Típicos Ar (pa), Hm.
Acrisoles Ocricos Abrúpticos Ar pa

Suelos asociados

Planosoles Dístricos Ocricos/Umbricos Ar pa/ae (h)
Acrisoles Ocricos/Melánicos Abrúpticos/Albicos Ar (mp), pa/ae
Inceptisoles Umbricos/Melánicos Ar mp/s

3.1.2.3. Geología.

Según la Carta Geológica (BOSSI, *et. al.* 1998), el predio se encuentra sobre litologías correspondientes al Gondwana sedimentario, representadas (en este caso) por las siguientes formaciones: Rivera, Tacuarembó y Yaguarí y sobre aluviones recientes (Neógeno), ocupando la costa del Río Tacuarembó.

La *formación Yaguarí* se compone (a grandes rasgos), de psamitas y pelitas (macizas o laminadas), asociadas con escasas facies heterolíticas (flaser) y calcáreas (lentes micríticos concrecionales).

Las litologías de la *formación Rivera* se definen como areniscas medias y medias a finas, con menor participación de psamitas finas de colores rojizos, presentando comúnmente una muy débil silicificación.

La secuencia sedimentaria de la *formación Tacuarembó* está integrada por un alto número de ciclos granodecrecientes. En el área tipo esta formación fue definida litológicamente como representada por areniscas finas y muy finas y

subordinadamente pelitas e intraconglomerados. Los colores más comunes son claros, neutros a levemente reductores.

3.2. ESTUDIO DE ANTECEDENTES Y RELEVAMIENTO DE CAMPO.

Mediante fotografías aéreas a escala 1:10.000, proporcionadas por la empresa, se construyó un mosaico – con la ayuda de un ordenador -, sobre el cual se realizó la cartografía (digital) para el predio, a través de técnicas de fotointerpretación y foto lectura.

Luego, utilizando la misma técnica, se construyó la carta hipsométrica del predio, utilizando las cartas topográficas del Servicio Geográfico Militar a escala 1:50.000. (Ver Apéndice Nº 1)

Por otra parte, con la ayuda de un mapa de plantación a escala 1:15.000 proporcionado por la empresa (producto de un Sistema de Información Geográfico), se digitalizó el trazo de los caminos actuales.

Luego de procesada la información cartográfica de base, se visitó el predio, con el objetivo de verificar lo observado en el mosaico. En esta instancia se tomaron fotografías del estado general de los caminos actuales, de las características de dichos caminos y de las zonas críticas de la red caminera (Ver Apéndice Nº 2 y 5)

3.3. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS.

En la salida de campo, se buscó identificar las zonas o tramos de la red caminera, que presentan mayores complicaciones, ya sea por defectos en el trazado o conformación o bien por características propias del terreno. De esta manera se identificaron aquellas zonas críticas de los caminos existentes: cruces de cauces, pendientes abruptas y rugosidad por pedregosidad. A su vez, se identificaron las características topográficas relevantes de manera de contar con la información a la hora de determinar los requerimientos de potencia.

3.4. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS ESTÁNDARES Y LOS COSTOS DE CADA UNO.

Para calcular el costo del sistema caminos se determinaron los diferentes estándares presentes en el predio, o bien los tipos de obras, corrientemente manejados por la empresa forestal. Los datos de costo de las distintas alternativas camineras, fueron proporcionados por la empresa constructora que habitualmente trabaja con la empresa forestal. Los valores, no comprenden consideraciones acerca de las características de los áridos utilizados, es decir, propiedades mecánicas y distancia del flete.

Para la construcción de un camino se deben de realizar dos tareas básicas, la conformación y el compactado. Sobre esta base se le agrega material y de esta forma se mejoran las carpetas, diferenciando el trazado inicial en distintos estándares, según la mejora en calidad que se le proporcione al mismo.

De esta forma se establecieron 4 estándares de caminos. El estándar 4 no tiene costo de construcción ya que no tiene siquiera conformación (camino denominado corrientemente como "trillo"). Los tres restantes se diferencian en calidad de acuerdo al espesor de material incorporado. El ancho de los caminos es en todos los casos de 3.5 m. La duración de los caminos se estima en 5 años.

El **estándar 3** presenta los siguientes requerimientos:

- Conformación, que implica 16 horas de trabajo de máquina por kilómetro a un costo de 40 U\$/hora.
- Compactado, de 1 hora y media de rodillo por kilómetro con un costo horario de 25 U\$/hora.

Como resultado de estas tareas el costo de construcción de camino por kilómetro se eleva a U\$S 678.

El **estándar 2** además de las tareas requeridas para conformación y compactado incluye el agregado de balasto con el fin de generar una carpeta de 15 centímetros de material.

- Conformación, que implica 16 horas de trabajo de máquina por kilómetro a un costo de 40 U\$/hora.
- Compactado, de 1 hora y media de rodillo por kilómetro con un costo horario de 25 U\$/hora.
- Agregado de 1750 m³ de material por kilómetro con un costo de 1 U\$/m³.
- Extendido de dicho material, con 4 horas de máquina por kilómetro con un costo de 40 U\$/hora.
- Compactado, con 2 horas de máquina por kilómetro a un costo de 25 U\$/hora.

El costo de construcción por kilómetro se eleva a U\$S 2637.

El **estándar 1** es similar al 2 pero la carpeta de material alcanza los 25 centímetros.

- Conformación, que implica 16 horas de trabajo de máquina por kilómetro a un costo de 40 U\$S/hora.
- Compactado, con 1 hora y media de rodillo por kilómetro con un costo horario de 25 U\$S/hora.
- Agregado de 3500 m³ material por kilómetro con un costo de 1 U\$S/m³
- Extendido de dicho material, con 8 horas de máquina por kilómetro con un costo de 40 U\$S/hora
- Compactado, con 4 horas de máquina por kilómetro a un costo de 25 U\$S/hora

El costo de construcción por kilómetro se eleva a U\$S 4597 (Ver Cuadro Nº 7).

Estándar	Costo de Construcción por Kilómetro
1	U\$S 4597
2	U\$S 2637,5
3	U\$S 677,5
4	U\$S 0

Cuadro Nº 7: Costo de construcción de caminos por kilómetro según tipo de estándar.

Los costos de alcantarillado no se toman en cuenta en el análisis ya que son los mismos sea cual sea el tipo de camino, ya que el flujo no varía.

3.5. CONFECCIÓN DE LA CARTA DE CAMINOS ACTUALES.

A partir del relevamiento realizado y luego de identificados los distintos tipos de caminos, se sintetizó toda la información compilada a través del trazado digital de los caminos existentes (Ver Apéndice 3).

Sobre la base de toda la información compilada, se comenzó con el cálculo de los costos con el objetivo de abordar la optimización del sistema, comenzando con la determinación de los distintos estándares de caminos.

3.8. CÁLCULO DEL PUNTO DE INDIFERENCIA PARA EL CAMBIO DE ESTÁNDAR.

Una vez calculados los costos para cada estándar, se procedió a la determinación de los puntos de indiferencia económicos, en donde se hace conveniente el cambio de estándar. Para dicha determinación se igualaron las funciones de costos del Sistema Transporte y se establecieron los volúmenes críticos.

Luego de establecido los valores en toneladas de madera que hacen conveniente el cambio de estándar, se procedió a medir los volúmenes y determinar los puntos del camino en donde el modelo recomienda mejorar el estándar.

El cálculo de los volúmenes se realizó sobre la base de la medición de la superficie de cada rodal, por medio de una cuadrícula sobre un mapa de plantación a escala 1:15.000. Para cada potrero de acuerdo a su rendimiento se estableció el valor de madera en toneladas representadas por un cuadrado de 0.25 cm. de lado. De manera de reducir el error, cada medición se realizó tres veces modificando la posición de la cuadrícula en cada caso. De esta manera se contabilizaron los cuadros y se transformaron de acuerdo a la escala en toneladas de madera a extraer. Dicha madera transitará por sucesivos tramos de camino, por lo que se contabilizó cada 250 metros, el volumen de madera que tendrá que soportar dicho tramo. La distancia de 250 metros se toma como referencia por ser la distancia promedio que se traslada el slayer. A medida que se avanza en el camino, los tramos soportan cada vez más tonelaje, por lo que se fue sumando las toneladas hasta llegar al volumen crítico de cambio de estándar. En dicho lugar del camino, queda establecido el punto en el cuál se hace indiferente un estándar u otro. Por lo tanto al avanzar y sumar toneladas se establece el nuevo estándar de calidad superior. Esta situación queda ejemplificada en la figura a la derecha del texto (Ver Figura Nº 15).

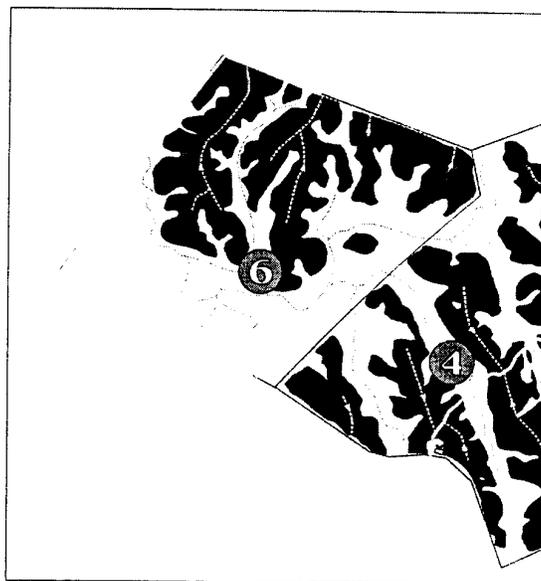


Figura Nº 14: Puntos de indiferencia y flujo de madera

Establecida la red de caminos con sus respectivos estándares en la situación proyectada, se sumaron las

distancias de cada estándar para el proyecto y para el testigo, con el fin de calcular los costos de construcción de caminos.

Para el cálculo del costo de transporte se determinaron las distancias a recorrer sobre cada estándar y para cada potrero hasta llegar al límite predial, utilizando un curvímeter. Estas mediciones se hicieron tanto para la situación testigo como para la proyectada. A partir de los costos de transporte en ton/km para cada estándar, se multiplicó por los kilómetros de cada estándar para cada potrero, y se sumaron los costos de los 15 potreros obteniendo un costo total de transporte.

3.9. REPLANTEO DE LA RED CAMINERA OPTIMIZADA.

La diagramación de la red de caminos en el proyecto se realizó sobre la base de la caminería existente, teniendo en cuenta que según el sistema de cosecha a utilizar las distancias máximas de arrastre con skidder son de 250 m, y que el slayer se desplazará en promedio cada 250 metros. En zonas donde no existe caminería para la extracción de la madera se diagramaron en función de la topografía, la presencia de cursos de agua y la ubicación de los rodales a cosechar (Ver Apéndice N° 4).

3.10. PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DE LA SECUENCIA DE COSECHA.

Luego de determinada la red de caminería que hace óptimo el transporte de madera se procedió a proyectar la secuencia de cosecha más adecuada, teniendo en cuenta que se realizará de a un potrero por vez. El criterio para ordenar la secuencia de cosecha, se compone de distintas restricciones como la topografía, probabilidad de anegamiento, época del año y volumen a extraer.

3.11. CÁLCULO DE LOS COSTOS ABSOLUTOS PARA EL SISTEMA OPTIMIZADO.

Para la obtención del Costo del Sistema Transporte se sumaron los costos de transporte del predio y los costos de construcción de caminos para la situación testigo y para la proyectada. Luego se realizó la comparación de los costos del Sistema para ambas situaciones en términos absolutos.

Para los Costos del Sistema Transporte de la situación proyectada se realizó, además, una distribución de los mismos en los distintos años. El costo de transporte se asignó en función de la planificación de cosecha previamente establecida, mientras que para los costos de caminos se calculó el costo anual mediante el cálculo de la depreciación anual, el mantenimiento y el Interés sobre la Inversión Media Anual (IIMA) de acuerdo a lo propuesto por Chacón, 1998.

3.12. CÁLCULO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA.

Luego de optimizado la red, se determinó la densidad óptima de caminos con el modelo de Von Segebaden adaptado por Klemencic, según se plantea en la revisión bibliográfica.

Cabe destacar que el costo de construcción y mantenimiento de caminos es promedio de los costos manejados en el análisis, sumado un costo de mantenimiento.

El cálculo de este parámetro, se realizó con el objetivo de orientarnos o posicionarnos, acerca del grado de perfección que presenta la geometría del grafo, ya que el modelo no plantea la modificación de dicha geometría.

3.13. DIMENSIONAMIENTO DEL PARQUE MOTRIZ.

Para dimensionar el parque de maquinaria se calculó por un lado la potencia requerida de acuerdo a las características topográficas, carga máxima y velocidad para las condiciones críticas del predio; y por otro el número de camiones necesarios para extraer la madera de cada potrero de acuerdo a la restricción diaria de madera a entregar en la industria.

El cálculo de la demanda de potencia se realizó de acuerdo a lo establecido por Neuenschwander (1998). Se tomaron en cuenta la resistencia a la rodadura, la resistencia a la pendiente y la resistencia por fricción, no incluyendo a la resistencia aerodinámica por no desarrollar velocidades mayores a 50 km/hora dentro del predio. Las formulas utilizadas fueron las planteadas por NEUENSCHWANDER, 1998.

Para el cálculo de la pérdida de Potencia por Fricción se toma en cuenta lo establecido en la bibliografía para motores de transmisión directa con configuración del vehículo 6 x 4, con un factor de eficiencia de 0.85.

Para el cálculo del número de vehículos necesarios para extraer la madera se estableció el numero de vueltas que es capaz de realizar un camión en las horas disponibles por día (10 horas). El número de vueltas por día está en función del tiempo de vuelta de los camiones para cada potrero, basándose en los kilómetros que se deben circular sobre cada estándar. Una vez calculado dicho tiempo, se determinó de acuerdo a la capacidad de carga de cada camión, a la demanda diaria de madera y a las horas disponibles diarias de cada vehículo, el número de camiones necesarios y los días requeridos para la extracción total de cada potrero en particular.

$$T_v = 2D / V_m$$

Donde: T_v = Tiempo de vuelta (Hr)
 D = Distancia (km)
 V_m = Velocidad media (km/hr)

$$V_m = (2 * V_{Vc} * V_{Vv}) / (V_{Vc} + V_{Vv})$$

Donde: V_{Vc} = Velocidad en Viaje Cargado
 V_{Vv} = Velocidad en Viaje Vacío

$$N_v = H_d / (T_t + \text{SUM} (2D_i / V_{m_i}))$$

Donde: N_v = Número de vueltas
 T_t = Tiempo en terminales
 H_d = Horas disponibles

En el Apéndice se presentan las planillas de cálculo utilizadas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. COSTO DE TRANSPORTE.

Para el calculo de los costos de transporte se consideraron las siguientes variables:

Estandar 1	Velocidad viaje vacío:	50 km/h
	Velocidad viaje cargado:	40 km/h
	Costo horario:	U\$S 30
	Velocidad media:	44 km/h
	Carga del camión:	27,5 Ton

Estándar 2	Velocidad viaje vacío:	40 km/h
	Velocidad viaje cargado:	30 km/h
	Costo horario:	U\$S 30
	Velocidad media:	34 km/h
	Carga del camión:	27,5 Ton

Estándar 3	Velocidad viaje vacío:	30 km/h
	Velocidad viaje cargado:	20 km/h
	Costo horario:	U\$S 30
	Velocidad media:	24 km/h
	Carga del camión:	27,5 Ton

Estándar 4	Velocidad viaje vacío:	12 km/h
	Velocidad viaje cargado:	9 Km/h
	Costo horario:	U\$S 30
	Velocidad media:	10.3 km/h
	Carga del camión:	27,5 Ton

El costo horario fue calculado en función de datos proporcionados por la empresa, de la siguiente manera:

Costo de flete por t en aserradero = 2,5 U\$S/t

Carga por viaje = 27,5 t

Costo del viaje = 2,5 x 27.5 = 68,75 U\$S

Distancia sobre a recorrer sobre carretera = 81 km

Velocidad media = 72 km/h

Tiempo de viaje en carretera 67,5 min

Distancia a recorrer sobre estandar 2 = 18 km

Velocidad media = 34 km/h

Tiempo sobre estándar 2 = 31,8 min

Tiempo de carga en monte = 1,5 min/t

Tiempo de descarga en aserradero = 1 min/t

Tiempo en terminales = $(1,5 \times 27,5) + (1 \times 27,5) = 68,75$ min

Tiempo de vuelta 2,34 h.

Costo horario = $68,7 / 2,34 = 29,9$ U\$S

Las velocidades a ser desarrolladas sobre cada estándar fueron suministradas por la empresa constructora de los caminos.

Los cálculos de costo de transporte para cada Estándar dieron los siguientes resultados:

Estándar 1	0.049 U\$S/t/km
Estándar 2	0.064 U\$S/t/km
Estándar 3	0.091 U\$S/t/km
Estándar 4	0.21 U\$S/t/km

Cuadro N° 8: Costo del transporte según tipo de estándar.

La diferencia fundamental está dada por las distintas velocidades que se pueden desarrollar en cada uno de los estándares. Para el estándar 1 la velocidad media es de 44 km/h mientras que para el peor estándar (el 4), la velocidad es de 10.3 km/h.

Cabe destacar que en la realización de estos cálculos se tomo un costo horario para los camiones, común para los 4 estándares. Dicha situación no es real debido a que en función de las calidades de los caminos el costo horario (C Fijos + C Variables) varía por diferencias en el consumo de combustible, desgaste de neumáticos, consumo de lubricantes y filtros, y demás piezas. Sin embargo la variable determinante (en este caso) de estas diferencias es, como se mencionó, la velocidad media.

4.2. COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS

Los costos de Construcción de Caminos fueron los siguientes:

Estándar 1	4597 U\$S/km
Estándar 2	2657 U\$S/km
Estándar 3	680 U\$S/km
Estándar 4	0 U\$S/km

Cuadro N° 9: Costo de construcción de caminos según tipo de estándar.

4.3. COSTOS DEL SISTEMA TRANSPORTE

El Costo del Sistema Transporte (CST) es función del costo de transporte y del costo de construcción de caminos, y varía para cada uno de los estándares. Para calcular dicho costo, es necesario expresar el costo de construcción de caminos en U\$/km/t, de manera de poder sumárselo al costo de transporte utilizando las mismas unidades.

$$CST_{E1} = 0.06322 \text{ U\$/t/km}$$

$$CST_{E2} = 0.07180 \text{ U\$/t/km}$$

$$CST_{E3} = 0.09300 \text{ U\$/t/km}$$

$$CST_{E4} = 0.21212 \text{ U\$/t/km}$$

Donde :

CST_{E1} = Costo del Sistema Transporte Estándar 1

CST_{E2} = Costo del Sistema Transporte Estándar 2

CST_{E3} = Costo del Sistema Transporte Estándar 3

CST_{E4} = Costo del Sistema Transporte Estándar 4

Analizando estos resultados es posible apreciar que el peso relativo del costo de transporte es decisivo en el costo total del sistema, relegando a un segundo plano, al costo de construcción de caminos. De esta manera, el estándar 1 presenta el mayor costo de construcción de caminos, sin embargo debido a un menor costo de transporte el costo del sistema es el menor.

4.3.1. Puntos de indiferencia.

Para determinar aquellos puntos críticos en donde se hace indiferente la utilización de uno u otro estándar de camino, se plantea una función lineal que explica el Costo del Sistema Transporte (U\$/km), en función del volumen (expresado en toneladas), de la siguiente manera:

$$CST = CCC + CT * t$$

CCC = Costo de construcción de caminos (U\$/km)

CT = Costo de transporte (U\$/km/t)

t = Toneladas

$$CST_{E1} = 4597 + 0.049 * t$$

$$CST_{E2} = 2657 + 0.064 * t$$

$$CST_3 = 680 + 0.091 * t$$

$$CST_{E4} = 0.21 * t$$

Basándose en estas funciones se determinaron los puntos críticos (intersección entre las distintas rectas), en donde se hace necesario el cambio de estándar de manera de mantenerse en el óptimo del modelo. Es decir, los puntos (volumen) en donde las rectas se cruzan, indican el volumen a partir del cual, una inversión en la mejora de los caminos hace óptimo el costo del Sistema Transporte para ese rango de cantidad de madera. Dichos volúmenes (expresados en Toneladas) son los siguientes:

P Crítico $E_1-E_2 = 133375$ t.

P Crítico $E_2-E_3 = 72490$ t.

P Crítico $E_3-E_4 = 5610$ t.

Donde :

P Crítico E_1-E_2 = Punto de intersección entre Estándar 1 y 2

P Crítico E_2-E_3 = Punto de intersección entre Estándar 2 y 3

P Crítico E_3-E_4 = Punto de intersección entre Estándar 3 y 4

Los puntos de intersección se plantean en los siguientes gráficos:

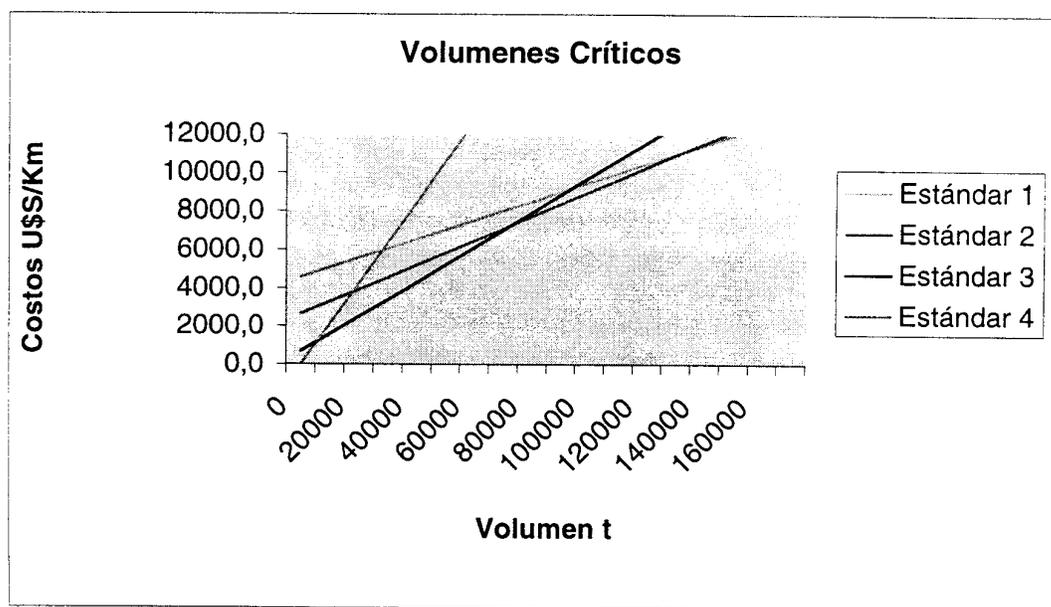


Figura N° 15: Volúmenes críticos según costo de transporte para cada estándar.

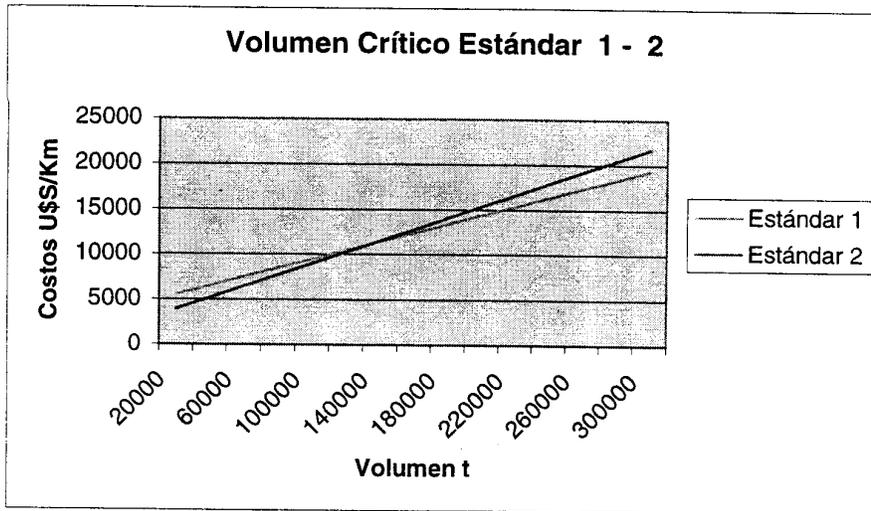


Figura N° 16: Volúmenes críticos según costo de transporte para los estándar 1 y 2.

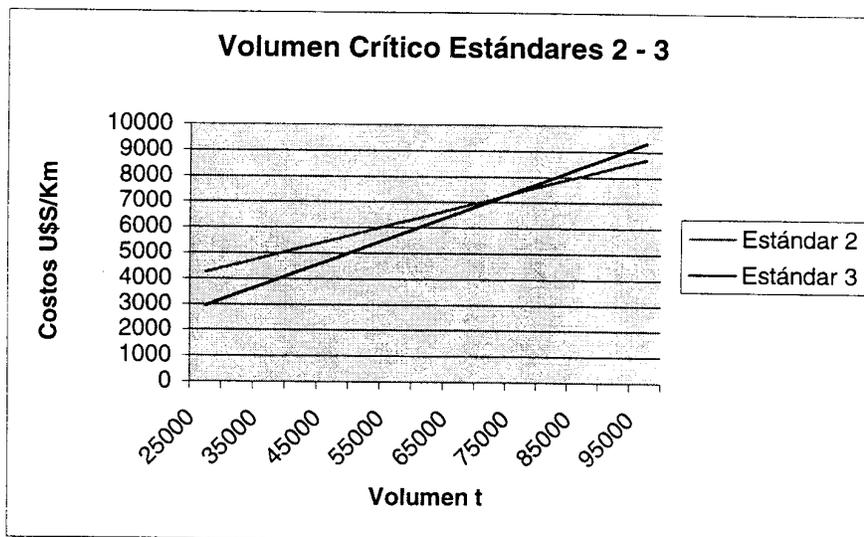


Figura N° 17: Volúmenes críticos según costo de transporte para los estándar 2 y 3.

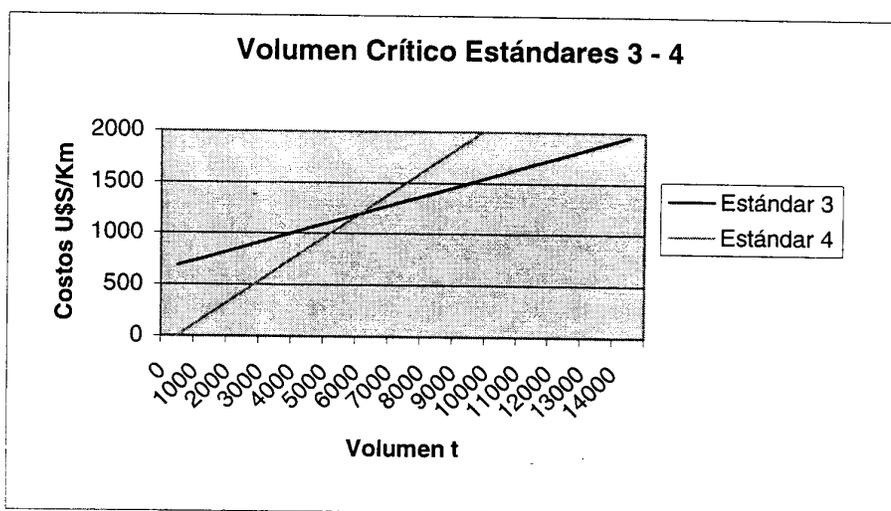


Figura N° 18: Volúmenes críticos según costo de transporte para los estándar 3 y 4.

Estos valores determinan la planificación de la red vial (calidad de los distintos tramos) en función del volumen a extraer para cada zona del predio. En este sentido se determinó la red con los cambios de estándar según el volumen en toneladas y se comparó con la situación testigo. Para realizar dicha comparación se calcularon los costos totales del sistema (costos de caminos más costos de transporte) para la situación actual y para el proyecto.

Para la situación actual y la proyectada, se calcularon los costos de transporte en función de los kilómetros que se deben recorrer por cada estándar para extraer la madera de cada potrero.

Número de Potrero	Volumen (Ton)	Valorización Actual U\$S	Valorización Optimizada U\$S
1	18484,80	6223,87	5487,95
2	17238,30	6385,12	6253,01
3	24988,00	11800,73	8346,97
4	37318,30	19640,33	16845,94
5	6690,00	2645,48	2359,63
6	21759,00	21201,26	22820,15
7	24701,00	21710,38	12776,68
8	38119,60	54870,16	47426,32
9	59226,30	30172,16	28791,19
10	23339,50	9746,22	8180,68
11	15983,40	6478,32	3066,45
12	5414,00	1147,67	837,35
13	7294,40	3200,87	2901,58
14	6830,70	1039,25	1109,06

15	17992,60	4873,11	4469,05
Total	325379,90	201134,90	171672,01

Cuadro N° 10: Costo de transporte para cada potrero en función de los kilómetros que se deben recorrer por cada estándar.

Para los Costos de Caminos se determinaron los kilómetros existentes para cada estándar y se les multiplicó por el respectivo costo unitario.

	ACTUAL (KM)	PROYECTO (Km)
Estándar 1	0	6,15
Estándar 2	14,40	2,10
Estándar 3	8,25	25,80
Estándar 4	52,73	41,33

Cuadro N° 11: Kilómetros de caminos según tipo de estándar para el proyecto y para el testigo.

	ACTUAL U\$S	PROYECTO U\$S
Estándar 1	0	28087,05
Estándar 2	37972,80	5537,70
Estándar 3	5263,50	16460,40
Estándar 4	0	0
Total	43236,30	50085,15

Cuadro N° 12: Costo de caminos según tipo de estándar para el proyecto y para el testigo.

El costo de Mantenimiento se calculó en base a información proporcionada por la empresa a razón de U\$S 100 por kilómetro y por año para los estándares 1, 2 y 3.

	ACTUAL U\$S	PROYECTO U\$S
Estándar 1	0	2460
Estándar 2	5760	840
Estándar 3	3300	10320
Estándar 4	0	0
Total	9060	13620

Cuadro N°13: Costo de mantenimiento según tipo de Estándar para los 4 Años

Para determinar el Costo Total del Sistema Transporte se suman el Costo de Transporte y el Costo de Construcción de Caminos incluido su Mantenimiento.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

	ACTUAL	PROYECTO
Costo de Transporte	201134.9 U\$S	171672.0 U\$S
Costo de Caminos	52296.3 U\$S	63705.2 U\$S
TOTAL	253431.2 U\$S	235377.2 U\$S

Cuadro N° 14: Costo Total del Sistema Transporte para el proyecto y para el testigo.

El Costo Total del Sistema Transporte es de U\$S 253431.2 para la situación actual y de US\$ 235377.2 para el proyecto. Esto determina una diferencia en términos absolutos de US\$ 18054.0

Dicha diferencia a favor del Proyecto es en términos relativos de un 7.1%, y está explicada básicamente por un ahorro en el transporte de la madera, que como fue mencionado anteriormente depende fundamentalmente de la velocidad a desarrollar en cada uno de los estándares. El estándar determinante es el 4 cuya velocidad promedio es de 10.3 Km/hora.

Las diferencias de costos de Construcción de caminos no tienen un peso significativo. Si bien en términos absolutos existe un mayor gasto en la construcción y mantenimiento de caminos en el proyecto con una diferencia de U\$S 11408.9 la diferencia en costos de transporte determina un ahorro de **U\$S 18054.0** del proyecto en relación al testigo.

En el análisis de los costos del sistema no solo es importante el conocer el monto total, sino que es de suma importancia la determinación de los costos anuales y por ende de los montos a desembolsar en cada año de la cosecha. Por esta razón se determinaron los costos de transporte en los cuales se incurren cada año y se estableció un equivalente anual de los costos de la construcción de caminos. Una vez obtenido dichos valores, se suman para cada año y de esta forma se determina el costo del Sistema Transporte discriminado año por año.

Para realizar dicho cálculo se estimaron los volúmenes de madera a extraer (t) para cada año en función de la planificación de la secuencia de cosecha.

Años	2011	2012	2013	2014
Volumen a extraer (t)	29613,16	118697,64	119847,3	57320,849

Cuadro N° 15: Volumen a extraer (t) a lo largo del ciclo.

Cabe resaltar que en el año 5 no se incurre en gastos por transporte, sin embargo al tener los caminos vida útil de 5 años, existe una anualidad que se toma en cuenta como costo del sistema. El mantenimiento anual se considera solo para los 4 años de cosecha.

Costo Anual de Transporte

Años	2011	2012	2013	2014
Total U\$S	14395.6	43363.1	95347.37	18565.9

Cuadro N° 16: Costo del transporte a lo largo del ciclo de cosecha.

Costo anual de Construcción de Caminos

IIMA U\$S 2404,09	
Depreciación Anual	U\$S 10017,03
Mantenimiento Anual	U\$S 3405
Costo Anual de Construcción de Caminos	U\$S 15826.03

Costo anual del Sistema Transporte

Años	2011	2012	2013	2014	2015
Costo del Sistema U\$S	30221,71	59189,24	111173,5	34392,0	12421,12

Cuadro N° 17: Costo del sistema a lo largo del ciclo de cosecha.

4.4. DENSIDAD DE CAMINOS.

Con relación a los caminos se determinó sobre la base del modelo de Von Segenbaden adaptado por Klemencic la densidad óptima para el predio. Para dicho cálculo se aplicaron los factores de corrección $K_1=5$ en función de las condiciones fisiográficas, y $K_2=5$ en función de la regularidad en la distribución de las pistas. También se aplicó como costo de caminos el promedio de los estándares y se les sumo los costos de mantenimiento para los 5 años. Los valores de costos, carga media y velocidad de skidder, así como los costos de caminos fueron suministrados por la empresa.

Coeficiente de corrección K1 = 5
 Coeficiente de corrección K2 = 5
 Volumen m³/ha = 350
 Costo horario de Skidder U\$/hora = 30
 Carga media por viaje m³/viaje = 7
 Costo caminos U\$/ m. Lineal = 2.48
 Velocidad de Skidder km/hora = 7

El resultado de la aplicación del modelo es 29.37 metros/ha. La densidad existente en el predio es de 28.1 metros/ha.

Como se observa la densidad de caminos esta muy cerca de ser la optima, por lo que se concluye que la diagramación de la red caminera es correcta.

Por otra parte dichas densidades se encuentran dentro de los parámetros normales que se cita en la bibliografía.

4.5. DIMENSIONAMIENTO DEL PARQUE DE MAQUINARIA.

4.5.1. Demanda de potencia.

En el calculo de la demanda de potencia de los camiones para este predio en particular, se obtuvieron los siguientes resultados:

Resistencias	Potencias Requeridas (HP)
Resistencia de la rodadura	176
Resistencia a la pendiente	63
Resistencia de transmisión	42
Resistencia a la fricción del aire	0
Total	281

Cuadro N° 18: Potencias requerida para contrarrestar las distintas resistencias.

Por lo tanto para extraer madera de este predio los vehículos de transporte tendrán que tener por lo menos 281 HP de potencia, de manera de poder superar las zonas de máximas exigencias.

De acuerdo con las características de potencia que presentan los camiones usualmente usados por la empresa (300 HP), éstos podrían transitar a carga máxima en cualquier zona del predio.

4.5.2. Número de camiones necesarios.

En cuanto a la cantidad de camiones requerido para extraer la madera del predio, se planificó la cosecha por potreros, considerando cosechar de a uno a la vez. Para determinar las necesidades de camiones para cada potrero se tomaron en cuenta las restricciones de madera diaria que son de 330 Ton a entregar en aserradero, la distancia a recorrer en cada uno de los estándares y sus respectivas velocidades, y la capacidad de carga.

A su vez se determinaron los días requeridos para la cosecha de cada potrero en función de las restricciones diarias.

Rodal	Días	Camiones
1	56	6
2	53	6
3	76	6
4	114	6
5	21	4
6	66	6
7	75	6
8	116	6
9	180	6
10	71	6
11	49	4
12	17	4
13	23	4
14	21	4
15	55	6

Cuadro N° 19: Número de camiones y de días requeridos para la cosecha de cada potrero.

De acuerdo a un criterio topográfico se planificó cronológicamente la secuencia de potreros a cosechar. El criterio empleado toma en cuenta el reservar aquellas áreas de difícil acceso (ya sea por tipo de camino y probabilidad de anegamiento) para las épocas del año de mayor evaporación y menor carga de agua en el suelo.

En la fecha de inicio y finalización se incluyen domingos y feriados, por lo que para una correcta determinación de los días se debería hacer la corrección correspondiente.

Potrero	Días requeridos	Fecha de inicio	Fecha de finalización
9	180	1/10 de 2011	31/3 de 2012
11	49	01/04 de 2012	19/5 de 2012
12	17	20/5 de 2012	5/6 de 2012
14	21	6/6 de 2012	27/6 de 2012
5	21	28/6 de 2012	19/7 de 2012
1	56	20/7 de 2012	13/9 de 2012
4	114	14/9 de 2012	5/1 de 2013
8	116	6/1 de 2013	1/5 de 2013
7	75	2/5 de 2013	15/7 de 2013
6	66	16/7 de 2013	19/9 de 2013
10	71	20/9 de 2013	30/11 de 2013
3	76	1/12 de 2013	15/2 de 2014
2	53	16/2 de 2014	9/4 de 2014
13	23	10/4 de 2014	3/5 de 2014
15	54	4/5 de 2014	28/6 de 2014

Cuadro N° 20: Secuencia y días necesarios para la cosecha de los distintos potreros.

El total de días requeridos para extraer toda la madera del predio es de 993.

El ancho de los caminos presenta como inconveniente, la imposibilidad de circular simultáneamente, dos camiones en sentidos contrarios. Para solucionar este problema se plantea la alternativa de construir zonas de pasaje en las cuales se ensancha el camino. En la ubicación de estos pasajes se tomaron en cuenta la posición topográfica, el estándar de camino y el volumen a circular por dichas zonas. El criterio topográfico se basa en elegir aquellas zonas de mayor altitud donde las posibilidades de interrupción del flujo sean mínimas.

5. CONCLUSIONES.

A partir del análisis de los resultados, es posible concluir que, se produce una disminución de costos en el Sistema Transporte interno del predio, del 7,1 % lo que equivale a U\$S 18504.

La reducción obtenida es pequeña si se considera dentro del costo de transporte total, debido a que la distancia máxima recorrida dentro del monte, (aproximadamente 12,5 km) es insignificante frente a la distancia total (112,5 km). La conveniencia del método se presenta para situaciones en las cuales el destino final de la madera esté dentro del predio o próximo a él, y en las cuales exista una restricción de entrega diaria.

La empresa debería negociar con los transportistas una disminución de costos de transporte debido a la calidad de los caminos que disminuyen costos de combustible, mantenimiento y desgaste, y genera una estabilidad en la entrega, permitiendo la reducción del acopio.

El método se adapta a aquellas empresas que trabajan con flota de camiones propia o con contratistas que calculan sus costos de transporte sobre la base de costo horario.

Con el diseño de caminos proyectados, los camiones que usualmente utiliza la empresa pueden transportar madera a plena carga sin problemas, y no existe un sobredimensionamiento de potencia de los mismos.

Se disminuye el número de camiones necesarios para el transporte ya que el nuevo diseño de estándares permite realizar dos o tres viajes por camión.

La densidad actual de caminos es de 28,1 m/ha, mientras que la densidad óptima calculada por el modelo Von Segebaden adaptado por Klemencik es de 29,37 m/ha, por lo que dicho modelo se adapta a las condiciones de este predio.

6. RESUMEN.

En esta tesis, se prueba la eficiencia de la aplicación de una metodología de optimización del transporte de la madera cosechada en un establecimiento forestal. La misma comienza con la caracterización de los distintos tipos de caminos, en estándares según los distintos niveles de calidad. A partir de los costos de construcción de cada estándar, y junto con los valores del transporte de madera en función del volumen, se determinaron los puntos de indiferencia (volumen de madera), a partir de los cuales es conveniente mejorar el estándar, es decir invertir en mejorar el camino. Al comparar los valores absolutos del costo del sistema transporte en ambas alternativas, los mismos, plantean una reducción de costos de 7.1 %, para el caso optimizado. Por otra parte, la aplicación de dicha metodología, permitió realizar una mejor planificación estratégica del transporte de la madera cosechada y un correcto dimensionamiento del parque motriz.

7. SUMMARY.

In this research, it is probed the application of a optimization methodology applied to the timber transport of wood. The study is started by determinating different kind of forestry roads according to the quality. Bearing in mind the building costs of different kinds of roads, and adding the value of timber transportation in function of the volume. The point of indifference (volume of wood) were determined from these points .It means that it is convenient to improve the roads .To do that you must invest money. Comparing the cost absolute values of the transport system in both alternatives they set out a reduction of costs of about 7.1% for the optimized case. On the other hand the implementation of this methodology make it possible to implement a better strategy pacification to optimize the timber transport of wood and a correct dimension of the Trucks.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- AEDO, DARIO; NEUENSCHWANDER, RODOLFO A.; CHACÓN, IVÁN. 1998. Sistemas de cosecha forestal en Chile: situación y perspectivas. *In* X Seminário de atualização: sistemas de colheita de madeira e transporte florestal, (10ª, 1998, Brasil). Brasil, pp. 151-162.
- ARBE BAEZ, ALFREDO ERNESTO; CORREA VAZ, RAMÓN JOSÉ. 1995. Estudio de tiempo en una explotación de pino en la localidad de Piedras Coloradas (Departamento de Paysandú): evaluación técnica y económica de cosecha forestal. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 67 p.
- BOSSI, JORGE; FERRANDO, LORENZO; MONTAÑA, JUAN; CAMPAL, NESTOR; SCHIPILOV, ALEJANDRO; PIÑEIRO, DANIEL; MORALES, HECTOR; GANCIO, FERNANDO. 1998. Carta Geológica Del Uruguay. Escala 1/500.000. Geoeditores, Montevideo.
- CARDOSO MACHADO, CARLOS; MALINOVSKI, JORGE ROBERTO. 1981. A planificação da rede rodoviara em reflorestamentos. *In* Simposio sobre exploração, transporte, ergonomia e segurança em reflorestamentos, (1º, 1981, Brasil). pp. 1-13.
- CARDOSO MACHADO, CARLOS; MARTINS DOS SANTOS, SERGIO LUIS. 1993. Influência da distancia e da qualidade da superficie de rolamento da rodovia no custo de transporte de madeira, com diferentes vehículos. Árvores, Volumen 17 (nº 2): 181-189.
- CARVALHO, LUIZ ANTONIO. 2000. A Rede Viária e sua Interação com o meio Ambiente. *In* XI Seminário Sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal. (11ª, 2000, Brasil) Nombro. Brasil. pp. 54-72.
- CONTRERAS SALGADO, LUIS GERARDO. 1999. Costos de transporte para tres configuraciones diferentes de camiones forestales. Tesis de Ingeniero Forestal. Talca, Chile, Universidad de Talca. 65 p.
- * CORDERO, RONALD; AEDO, DARÍO. 1997. Toma de decisiones operativas de producción usando programación matemática. *In* Sistemas de Producción Forestal: análisis, cuantificación y sustentabilidad. Universidad de Talca. pp. 57-71.
- * CONWAY, S. 1982. Logging Practice. Pinciples of timber harvesting systems. Miller Freeman Publications Inc. Edición revisada. 432 p.
- CHA-DUSONG; KIM-JONGYOON; JUNG-DOHYUN; CHA-DS; KIM-JY; JUNG-DH. 1999. Studies on the investigation of optimum road density for main and branch forest roads. FRI-Journal-of-Forest-Science-Seoul 1 (60), 33-40 Tomado de: CAB Abstracts 1998/08-2000/07.

- DE CARVALHO, LUIZ ANTONIO. 1995. Estradas florestais e sua influencia na adiministração dos estoques de madeira. In 1º Congreso Florestal Panamericano - 7º Congreso Florestal Brasileiro, (1º, 1995, Brasil). Brasil, pp. 13 - 16.
- DINEV-D. 1993. Technique for carrying out thinnings in oak stands of seedling and coppice origin. Nauka-za-Gorata 30 (1): 71-79 Tomado de: CAB Abstracts 1995.
- FAO. 1975. Ingeniería y planificación de caminos forestales. Roma, 478 p. (Seminario FAO/SIDA)
- FAO. 1977. Guatemala, estudio de transporte forestal en bosques de coníferas. Roma, 28 p. (Informe Técnico nº 3).
- FAO. 1983. El transporte de madera en la selva central. Roma, 67 p. (Documento de trabajo nº 8).
- FAO. 1992. Cost control in forest harvesting and road construction. Roma, pp. 106 (Forestry Paper, Nº 99).
- ✘ FAO. 1996. Aprovechamiento forestal y transporte; La ingeniería de las carreteras forestales. Roma, pp. 24 - 30 (Código modelo de prácticas de aprovechamiento forestal de la FAO nº 1).
- ✘ FAO. 1998. Aprovechamiento forestal y transporte. Roma, pp. 173-186. (Estudio FAO Montes Nº 3).
- FORO SOBRE ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS DE LA ACTIVIDAD FORESTAL Y SU IMPACTO EN LA REGION, (1º , 1997, Tacuarembó)1997. Tacuarembó, BIRF UR 3697- PRENADER Componente Forestal, 195.
- GARCÍA, ANGEL MARÍA; MARTÍN, RODRIGO. 1985. El sistema PERT: método para la planificación, evaluación y control de proyectos; Aplicación a nivel forestal. 1ª Ed. Madrid, Fundación del Cónde del Valle de Salazar-Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 95 p.
- GAYOSO AGUILAR, JORGE. 1990. Mecánica de suelos en la ingeniería vial forestal. 2ª Ed. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 93 p.
- GAYOSO AGUILAR, JORGE. 1999. INTERNET.
- GRYAZIN-AD. 1996. Road construction for the forest resource. Lesnaya-Promyshlennost' 1 (3): 18-19 Tomado de: CAB Abstracts 1996-1998/07.

- KRAJCIC-D. 1997. The influence of road construction on increased forest value. *Gozdarski-Vestnik* 55 (2): 87-96 Tomado de: CAB Abstracts 1996-1998/07.
- LEE-JOONWOO; LEE-JW. 1996. Improvement of forest road construction related to the running speed of cargo truck. *Journal-of-Korean-Forestry-Society* 85 (3): 513-523 Tomado de: CAB Abstracts 1998/08-1999/10.
- LE RAY, JEAN. 1964. Las carreteras de explotación forestal. *Unasyva*. nº 17. pp. 1-46.
- MALINOVSKI, ROBERTO. 1999. Cosecha Mecanizada de Bosques Artificiales. Montevideo. Facultad de Agronomía - Unidad de Educación Permanente. 52 p.
- MATSUMOTO-T; KITAGAWA-K. 1999. Relationship between current forest operations and provision of roads in private forests. *Journal-of-Forest-Planning* 5 (1), 19-27 Tomado de: CAB Abstracts 1998/08-2000/07.
- MONTEIRO, HUGO MARCOS. 1981. Otimização do transporte de teretes de eucalipto em regio accidentada. *In* Simposio sobre exploração, transporte, ergonomia e segurança em reflorestamentos, (1º, 1981, Brasil) pp. 212-217.
- MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCION DE SUELOS Y FERTILIZANTES. "Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay". Montevideo. 1976.
- NEUNSWANDER A., RODOLFO. 1995. Características Operacionales Del Transporte Forestal Con Camiones. *In* Actas Seminario Internacional. Sistema de producción forestal. Decisiones y técnicas. Universidad de Talca, Chile.
- NEUNSWANDER, RODOLFO. 1996. Optimización de redes en planificación forestal. Talca. Universidad de Talca. p. 9.
- NEUNSWANDER, RODOLFO; AEDO ORTIZ, DARIO. 1997. Dimensional variables in harvest road spacing. *IUFRO*. nº S3.04: 205-213.
- NEUNSWANDER, RODOLFO A. 1998. Transporte vial de madera rolliza. Universidad de Talca, Talca. 130 p.
- NEUNSWANDER A., RODOLFO. 2000. Sistema Caminero de Transporte Forestal en Chile. *In* XI Seminário Sobre de Colheita de Madeira e Transporte Florestal (11ª, 2000, Brasil) Nombre. Brasil. pp. 101-123.
- PICMAN-D; PENTEK-T; SEVER-S. 1996. Factors influencing the necessity of building a forest road network. *Zastita-suma-i-pridobivanje-drva.-Hrvatsko-*

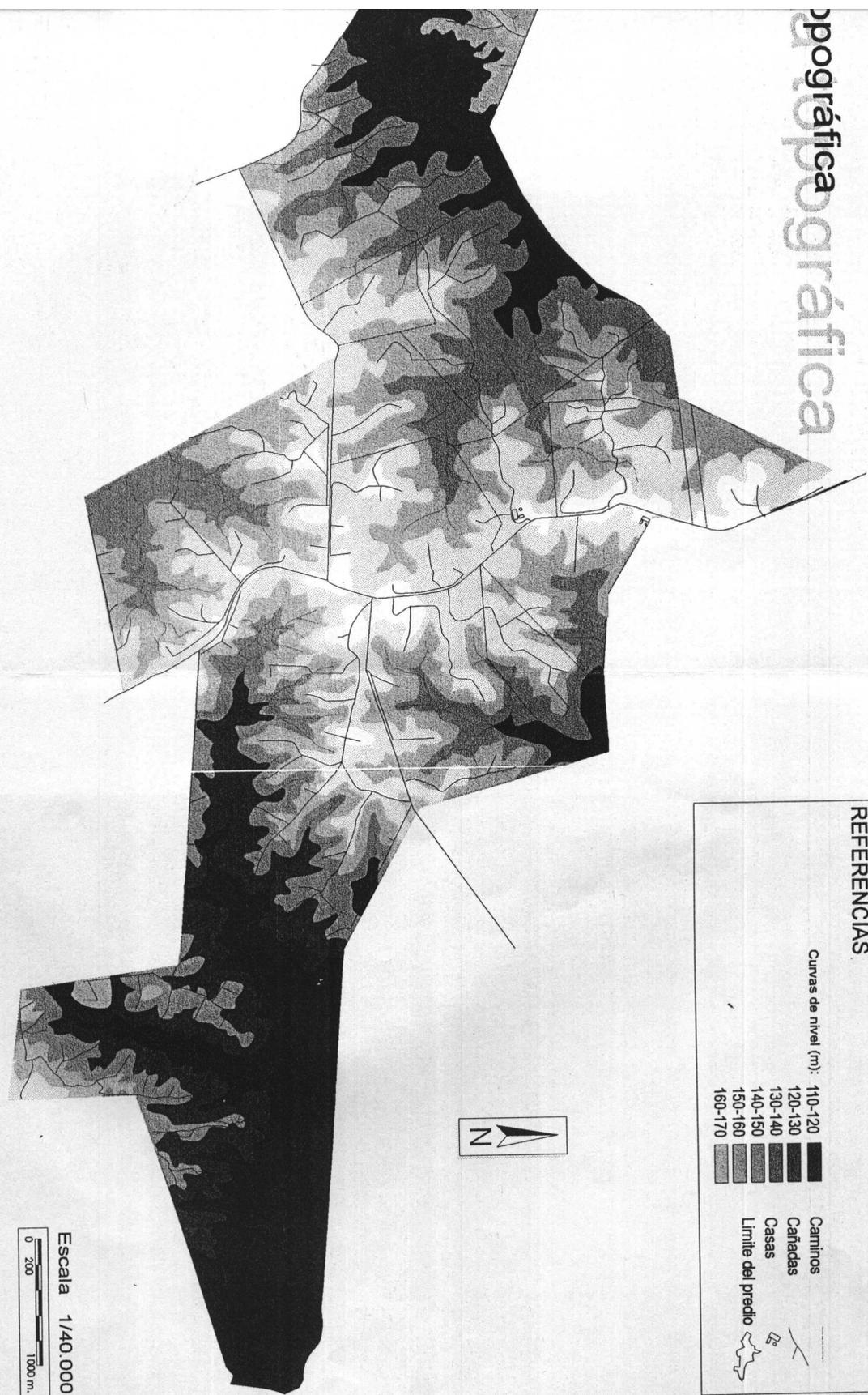
- sumarsko-drustvo.-Skrb-za-hrvatske-sume-od-1846.-do-1996:-knjiga-2 :
293-300 Tomado de: CAB Abstracts 1998/08-2000/07.
- PINTO LEITE, ANGELO MARCIO; DE SOUZA, AMAURY PAULO; CARDOSO MACHADO, CARLOS. 1993. Análise do ciclo de transporte de madeira para tres tipos de caminhos. Árvores, Volumen 17 nº2 : pp. 190-201.
- PLAMONDON-JA; FAVREAU-J. 1994. Establishing the optimal skidding or forwarding distance as a function of road cost. Technical-Note -Forest-Engineering-Research-Institute-of-Canada 1 (TN-219): 8 pp. Tomado de: CAB Abstracts 1995.
- QIU-RONGZU; SU-JINGYUN; ZHONG-GUANGMING; XU-MINFENG; SU-GUOHUI; QIU-RZ; SU-JY; ZHONG-GM; XU-MF; SU-GH. 1999. Study on optimum years for maintaining forest road network. Journal-of-Fujian-College-of-Forestry 19 (4): 289-291 Tomado de: CAB Abstracts 1998/08-2000/07.
- SAWAGUCHI-I; OHKAWABATA-O; ICHIHARA-K. 1995. The efficient planning of the specifications of forest road systems. (II.) Decision on road specification by means of estimating the forestry use. Journal-of-the-Japanese-Forestry-Society 77 (3), 187-196 Tomado de: CAB Abstracts 1995.
- SCHWARZHOFF, CHRIS. 1988. Road construction in the Forest Service. USDA. EM 7170-011^a. 21 p.
- SEIXAS, FERNANDO; WIDMER, JOAO ALEXANDRE. 1993. Seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira utilizando-se de programação linear não inteira. IPEF. Nº 15: pp. 107-108
- STAAF, KAG; WIKSTEN, NA. 1984. Tree harvesting techniques. 1^a Ed. Boston, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. 371 p.
- STENZEL, GEORGE; WLABRIDGE, THOMAS A.; PEARCE, KENNETH. 1990. Logging and pulpwood production. 2^a Ed. Boston, Kluwer academic publishers. 374 p.
- ☒ SUNDBERG, U.; SILVERSIDES, CR. 1990. Operational efficiency in forestry; Vol. 1. 1^a Ed. Boston, Kluwer academic publishers. 219 p.
- SUNDBERG, U.; SILVERSIDES, CR. 1990. Operational efficiency in forestry; Vol. 2. 1^a Ed. Boston, Kluwer academic publishers. 169 p.
- TRONCOSO, JUAN; NEUENSCHWANDER, RODOLFO; GUTIERREZ, JUAN. 1998. Modelo determinístico para la planificación táctica y operativa de sistemas de cosecha. In Sistemas de Producción forestal: análisis, cuantificación y sustentabilidad. Universidad de Talca. pp. 73-89.

- TUSSET, RINALDO. 1985. Estudios del trabajo y estudios de tiempos: recolección de datos en actividades forestales. Montevideo. Facultad de Agronomía. 35 p.
- ✕ URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN FORESTAL. 1998. Uruguay Forestal: Antecedentes, Legislación y Política, Desarrollo Actual y Perspectivas.
- URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS. 1979. Carta de suelos del Uruguay a escala 1/1.000.000.
- YU CHUEN-TAO, LUIS. 1989. Aplicaciones prácticas del PERT y CPM. 6ª Ed. Bilbao, Duesto S.A. 166 p.
- WEINTRAUB, A.; Morales, R; EPSTEIN, R; SERON, J; TRAVERSO, P. 1990. Un sistema de asignación de camiones para el transporte de productos forestales. In Revista Ingeniería de Sistemas. Vol. VII, Nº 1. Santiago, Chile.

9. APÉNDICES.

9.1. APÉNDICE N° 1

Topografía



REFERENCIAS

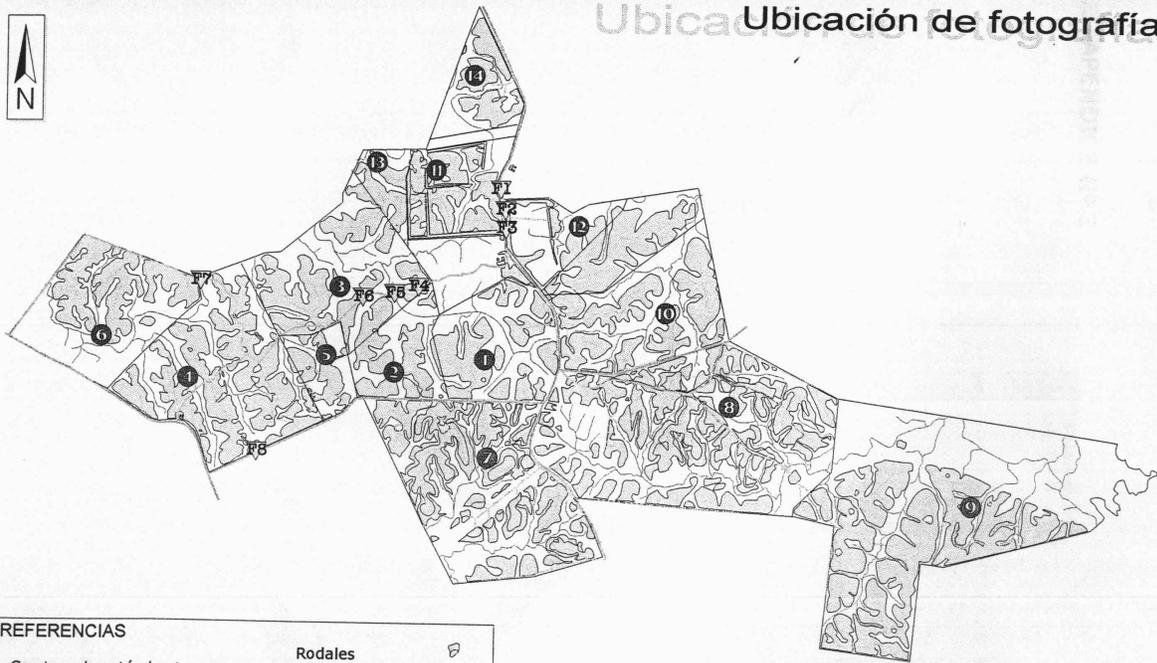
- Curvas de nivel (m):
- 110-120
 - 120-130
 - 130-140
 - 140-150
 - 150-160
 - 160-170
- Caminos
- Cañadas
- Casas
- Limite del predio



Escala 1/40.000

0 200 1000 m.

Ubicación de fotografías



REFERENCIAS

Caminos de estándar 1	—————	Rodales	
Caminos de estándar 2	—————	Hidrografía	
Caminos de estándar 3	—————	Casas	
Caminos de estándar 4	—————	Limite del predio	
Ubicación de las fotografías		Potreros	



Foto N° 1



Foto N° 5



Foto N° 2



Foto N° 6



Foto N° 3



Foto N° 7



Foto N° 4

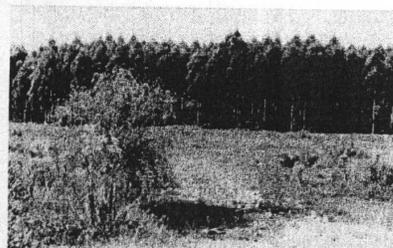
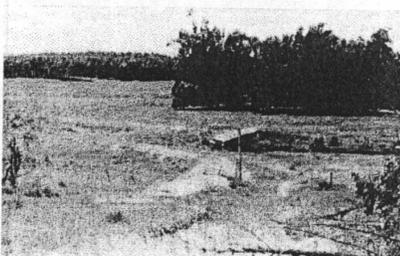


Foto N° 8



Dimensionamiento del Parque de Maquinaria

POTRERO 1

Horas Disponibles	10	Velocidad VV en Carretera	90	Km/hora
Tiempos Terminales (horas)	1,15	Velocidad VC en Carretera	60	Km/hora
Distancia a Recorrer Carretera	81			
Distancia a Recorrer Estándar 1	4,8			
Distancia a Recorrer Estándar 2	0			
Distancia a Recorrer Estándar 3	0,75			
Distancia a Recorrer Estándar 4	2,1			
Velocidad Media en Carretera	72	Número de Vueltas disponibles por Día	2,45	
			2	
		Volumen por Vuelta	27,5	Ton
		Volumen Total	18484,8	Ton
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	672,17	
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,216	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	336,09	
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0	Restricción diaria ton	330	
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,063	Numero de camiones	6	
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,408333	Dias según restricción	56,0	
			56	
Tiempo de Vuelta Total	2,94			

POTRERO 3

Horas Disponibles	10	Velocidad VV en Carretera	90	Km/hora
Tiempos Terminales	1,15	Velocidad VC en Carretera	60	KM/hora
Distancia a Recorrer Carretera	81			
Distancia a Recorrer Estándar 1	2,55			
Distancia a Recorrer Estándar 2	0			
Distancia a Recorrer Estándar 3	4,95			
Distancia a Recorrer Estándar 4	1,43			
Velocidad Media en Carretera	72	Número de Vueltas Disponibles por Día	2,38	
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	Volumen por Vuelta	27,5	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,115	Volumen Total	24988	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	908,7	
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,41	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	454,3	
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,28	Restricción diaria ton	330	
Tiempo de Vuelta Total	3,05	Numero de camiones	6	
		Dias según restricción	75,7	
			76	

Dimensionamiento del Parque de Maquinaria

POTRERO 4

Horas Disponibles	10			
Tiempos Terminales	1,15	horas		
Distancia a Recorrer Carretera	81	Km	Velocidad VV en Carretera	90 Km/hora
Distancia a Recorrer Estándar 1	4,8	Km	Velocidad VC en Carretera	60 Km/hora
Distancia a Recorrer Estándar 2	0,15	Km		
Distancia a Recorrer Estándar 3	6	Km		
Distancia a Recorrer Estándar 4	1,2	Km		
Velocidad Media en Carretera	72	Km/hora	Número de Vueltas Disponibles por Día	2,30
				2
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	horas	Volumen por Vuelta	27,5 Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,22	horas	Volumen Total	37318,3 Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0,009	horas	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	1357
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,5	horas	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	678,5
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,233333	horas	Restricción diaria ton	330
Tiempo de Vuelta Total	3,21	horas	Numero de camiones	6
			Dias según restricción	113,1
				114

POTRERO 5

Horas Disponibles	12	Velocidad VV en Carretera	90	Km/hora
Tiempos Terminales	1,15	Velocidad VC en Carretera	60	Km/hora
Distancia a Recorrer Carretera	81			
Distancia a Recorrer Estándar 1	4,8			
Distancia a Recorrer Estándar 2	0,15			
Distancia a Recorrer Estándar 3	1,5			
Distancia a Recorrer Estándar 4	0,225			
Velocidad Media en Carretera	72	Número de Vueltas Disponibles por Día	3,17	
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	Volumen por Vuelta	27,5	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,216	Volumen Total	6689,9	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0,009	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	243,3	
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,125	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	81,1	
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,044	Restricción diaria ton	330	
Tiempo de Vuelta Total	2,64	Numero de camiones	4	
		Dias según restricción	20,3	
			21	

Dimensionamiento del Parque de Maquinaria

POTRERO 7

Horas Disponibles	12	Velocidad VV en Carretera	90	Km/hora
Tiempos Terminales	1,15	Velocidad VC en Carretera	60	Km/hora
Distancia a Recorrer Carretera	81			
Distancia a Recorrer Estándar 1	4,2			
Distancia a Recorrer Estándar 2	0			
Distancia a Recorrer Estándar 3	5,4			
Distancia a Recorrer Estándar 4	5,85			
Velocidad Media en Carretera	72	Número de Vueltas Disponibles por Día	2,32	
			2	
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	Volumen por Vuelta	27,5	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,189	Volumen Total	24701	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	898,2	
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,45	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	449,11	
Tiempo de Vuelta Estándar 4	1,14	Restricción diaria ton	330	
Tiempo de Vuelta Total	4,03	Numero de camiones	6	
		Dias según restricción	74,85	
			75	

POTRERO 8

Horas Disponibles	10	Velocidad VV en Carretera	90	Km/hora
Tiempos Terminales	1,15	Velocidad VC en Carretera	60	Km/hora
Distancia a Recorrer Carretera	81			
Distancia a Recorrer Estándar 1	5,25			
Distancia a Recorrer Estándar 2	0			
Distancia a Recorrer Estándar 3	6,3			
Distancia a Recorrer Estándar 4	2,85			
Velocidad Media en Carretera	72	Número de Vueltas Disponibles por Día	2,123	
			2	
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	Volumen por Vuelta	27,5	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,24	Volumen Total	38119,6	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	1386,17	
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,53	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	693,1	
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,55	Restricción diaria ton	330	
		Numero de camiones	6	
Tiempo de Vuelta Total	3,57	Dias según restricción	115,51	
			116	

POTRERO 9

Horas Disponibles	12	Velocidad VV en Carretera	90	Km/hora
Tiempos Terminales	1,15	Velocidad VC en Carretera	60	Km/hora
Distancia a Recorrer Carretera	81			
Distancia a Recorrer Estándar 1	4,95			
Distancia a Recorrer Estándar 2	0			
Distancia a Recorrer Estándar 3	6,3			
Distancia a Recorrer Estándar 4	4,95			
Velocidad Media en Carretera	72	Número de Vueltas Disponibles por Día	2,35	
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	Volumen por Vuelta	27,5	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,22	Volumen Total	59226,3	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	2153,7	
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,53	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	1076,8	
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,96	Restricción diaria ton	330	
Tiempo de Vuelta Total	3,96	Numero de camiones	6	
		Dias según restricción	179,47	
			180	

Dimensionamiento del Parque de Maquinaria

POTRERO 10

Horas Disponibles	10	Velocidad VV en Carretera	90	Km/hora
Tiempos Terminales	1,15	Velocidad VC en Carretera	60	Km/hora
Distancia a Recorrer Carretera	81			
Distancia a Recorrer Estándar 1	3,65			
Distancia a Recorrer Estándar 2	0			
Distancia a Recorrer Estándar 3	3,3			
Distancia a Recorrer Estándar 4	1,2			
Velocidad Media en Carretera	72	Número de Vueltas Disponibles por Día	25	
			2	
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	Volumen por Vuelta	27,5	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,16	Volumen Total	23339,5	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	848,7	
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,276	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	424,4	
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,233333	Restricción diaria ton	330	
Tiempo de Vuelta Total	2,923	Numero de camiones	6	
		Dias según restricción	70,73	
			71	

POTRERO 12

Horas Disponibles	12	Velocidad VV en Carretera	90	Km/hora
Tiempos Terminales	1,15	Velocidad VC en Carretera	60	Km/hora
Distancia a Recorrer Carretera	81			
Distancia a Recorrer Estándar 1	3,15			
Distancia a Recorrer Estándar 2	0			
Distancia a Recorrer Estándar 3	2,4			
Distancia a Recorrer Estándar 4	0,15			
Velocidad Media en Carretera	72	Número de Vueltas Disponibles por Día	3,2	
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	Volumen por Vuelta	27,5	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,14	Volumen Total	5414,9	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	196,9	
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,2	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	65,6	
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,029167	Restricción diaria ton	330	
Tiempo de Vuelta Total	2,62	Numero de camiones	4	
		Dias según restricción	16,41	

Dimensionamiento del Parque de Maquinaria

POTRERO 13

		Velocidad VV en Carretera	Km/hora
		Velocidad VC en Carretera	Km/hora
Horas Disponibles	12	90	
Tiempos Terminales	1,15	60	horas
Distancia a Recorrer Carretera	81		Km
Distancia a Recorrer Estándar 1	1,875		Km
Distancia a Recorrer Estándar 2	0		Km
Distancia a Recorrer Estándar 3	1,5		Km
Distancia a Recorrer Estándar 4	0,75		Km
Velocidad Media en Carretera	72		Km/hora
			Número de Vueltas Disponibles por Día
		27,5	Ton
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	7294,4	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,084		NUMERO DE VUELTAS TOTALES
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0		DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,125		Restricción diaria ton.
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,145833		Numero de camiones
Tiempo de Vuelta Total	2,61		Días según restricción
			3,20
			3
			265,3
			88,42
			330
			4
			22,10
			23

POTRERO 14

Horas Disponibles	12	Velocidad VV en Carretera	90	Km/hora
Tiempos Terminales	1,15	Velocidad VC en Carretera	60	Km/hora
Distancia a Recorrer Carretera	81			
Distancia a Recorrer Estándar 1	0,75			
Distancia a Recorrer Estándar 2	0			
Distancia a Recorrer Estándar 3	0,45			
Distancia a Recorrer Estándar 4	0,45			
Velocidad Media en Carretera	72	Número de Vueltas Disponibles por Día	3,4	Km/hora
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	Volumen por Vuelta	27,5	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,034	Volumen Total	6830,7	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	248,4	
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,038	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	82,80	
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,0875	Restricción diaria ton	330	
Tiempo de Vuelta Total	2,41	Numero de camiones	4	
		Dias según restricción	20,70	
			21	

POTRERO 15

Horas Disponibles	10	Velocidad VW en Carretera	90	Km/hora
Tiempos Terminales	1,15	Velocidad VC en Carretera	60	Km/hora
Distancia a Recorrer Carretera	81			
Distancia a Recorrer Estándar 1	1,95			
Distancia a Recorrer Estándar 2	0			
Distancia a Recorrer Estándar 3	1,35			
Distancia a Recorrer Estándar 4	1,35			
Velocidad Media en Carretera	72	Número de Vueltas Disponibles por Día	2,59	
Tiempo de Vuelta Carretera	2,25	Volumen por Vuelta	27,5	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 1	0,088	Volumen Total	1792,6	Ton
Tiempo de Vuelta Estándar 2	0	NUMERO DE VUELTAS TOTALES	654,3	
Tiempo de Vuelta Estándar 3	0,11	DIAS EFECTIVOS REQUERIDOS	327,1	
Tiempo de Vuelta Estándar 4	0,26	Restricción diaria ton	330	
Tiempo de Vuelta Total	2,71	Numero de camiones	6	
		Dias según restricción	54,52	
			58	

Costo Anual Transporte Proyecto

Potrero	Total U\$\$
1	5487,95
2	6253,01
3	8346,97
4	16845,94
5	2359,63
6	22820,15
7	12776,68
8	47426,32
9	28791,19
10	8180,68
11	3066,45
12	837,35
13	2901,58
14	1109,06
15	4469,05
Total	171672,01

Potrero	2011	2012	2013	2014
9	14395,6	14395,6		
11		3066,45		
12		837,35		
14		1109,06		
5		2359,63		
1		5487,95		
4		16107,1	738,857	
8			47426,32	
7			12776,68	
6			22820,15	
10			8180,68	
3			3404,685	4942,2849
2				6253,01
13				2901,58
15				4469,05
Total U\$\$	14395,6	43363,1	95347,37	18565,925
				171672

Costo Anual de Construccion de Caminos

Costo de Construccion de Caminos	U\$\$	50065,15
Depreciación Anual	U\$\$	10017,03
Vida util	U\$\$	5
Tasa de descuento	U\$\$	0,03
Costo de Mantenimiento Anual	U\$\$	3405

IIMA (U\$\$)

2404,09

DENSIDAD OPTIMA DE LA RED DE VIAS DE SACA

DENSIDAD OPTIMA Modelo de Von Segeboden adaptado por Klemencic

Coefficiente de corrección K1	5	Densidad Optima	29,37
Coefficiente de corrección K2	5		
Volumen m3/ha	350		
Costo horario de Skidder US\$/hora	30		
Carga media por viaje m3/viaje	7		
Costo caminos US\$/ m. Lineal	2,4835		
Velocidad de Skidder km/hora	7		