

IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE CABLE SINFÍN PARA TRANSPORTE
DE MADERA EN EL BOSQUE

JORGE AURELIO CARO ALZATE

JUAN ESTEBAN HENAO VILLA

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

AREA DISEÑO

AREA PROYECTOS

MEDELLIN

2009

IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE CABLE SINFÍN PARA TRANSPORTE
DE MADERA EN EL BOSQUE

JORGE AURELIO CARO ALZATE

JUAN ESTEBAN HENAO VILLA

Proyecto de grado para optar por el título de:

Ingeniero Mecánico

Asesor

JAIME LEONARDO BARBOSA PEREZ

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

AREA DISEÑO

AREA PROYECTOS

MEDELLIN

2009

AGRADECIMIENTOS

A los mecánicos de la empresa IMAPAN S.A, y a todos quienes hicieron parte de la realización del proyecto.

A nuestro asesor Jaime Leonardo Barbosa, por su disposición, interés y apoyo a lo largo de todo el proyecto.

Por último y especialmente a nuestras familias, por su apoyo incondicional en todo momento a lo largo de nuestra formación profesional.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION.....	8
1. OBJETIVOS	10
1.1 OBJETIVO GENERAL	10
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
2. DESCRIPCION DE SISTEMA ACTUALMENTE EMPLEADO	12
3. PROPUESTA DE CABLE SIN FÍN PARA TRANSPORTE DE TRONCOS DE MADERA.....	18
4. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.	20
5. CALCULOS DEL SISTEMA	21
5.1 CABLE DE CARGA	21
5.2 MINIMA DEFORMACIÓN QUE SUFRE EL CABLE	23
5.3 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN.....	24
5.3.1 Calculo de las rpm transmitidas	24
5.3.2 Calculo de la Banda.....	25
5.4 CALCULO DEL EJE DE POLEA.....	27
5.5 CALCULO DE RODAMIENTO.....	30
6. MODELACION DEL SISTEMA MOTRIZ.....	32
7. EVALUACION DEL SISTEMA.....	33
7.1 OPERACIÓN DEL SISTEMA EN TERRENO DESCENDENTE	33
7.2 OPERACIÓN DEL SISTEMA EN TERRENO PLANO	36
7.3 OPERACIÓN DEL SISTEMA EN TERRENO ASCENDENTE	39
8. RESUMEN VALORES MAXIMOS DE PESO Y LONGITUD DE CARGA ..	43
9. ESTIMACION DE LA PRODUCCIÓN DIARIA	44
10. CONCLUSIONES.....	45

11. MEJORAS	46
BIBLIOGRAFIA.....	47
ANEXOS.....	48

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades de los cables de acero	21
Tabla 2. Rodamiento de rodillo Cilíndrico	31
Tabla 3. Pruebas de campo en terreno descendente	33
Tabla 4. Pruebas de campo en terreno plano	36
Tabla 5. Pruebas de campo en terreno ascendente	39
Tabla 6. Valores máximos de carga en kg	43
Tabla 7. Valores máximos de longitud de carga en m	43
Tabla 8. Producción diaria en Ton.	44

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Montaje mástiles de soporte	12
Figura 2. Tendido de soga plástica	13
Figura 3. Poleas de Transporte.....	14
Figura 4. Mecanismo de tracción: Moto-sierra	15
Figura 5. Mecanismo de Freno	15
Figura 6. Ensayo de envío de cargas	16
Figura 7. Mantenimiento del equipo	17
Figura 8. Diagrama sistema de transmisión.....	27
Figura 9. Diagrama del eje en flexión	29
Figura 10. Diagrama de Fuerza Cortante	29
Figura 11. Diagrama de Momento	30
Figura 12. Ensayo operación del sistema en terreno descendente	35
Figura 13. Envío de la carga en terreno plano	38
Figura 14. Desplazamiento de la carga en terreno plano	39
Figura 15. Comportamiento del sistema en terreno ascendente	41
Figura 16. Movimiento de la carga en terreno ascendente	42

INTRODUCCION

En todo el mundo, la elaboración de planes para abrir la explotación de bosques hasta ahora inaccesibles, está revistiendo una mayor importancia cada día en la economía forestal de muchos países montañosos. La merma de los recursos forestales más fácilmente accesibles, o incluso su agotamiento como consecuencia de una explotación excesiva, ha hecho que el interés se vaya concentrando en los bosques de montaña, donde a menudo se mantienen intactas las últimas reservas forestales, que suelen estar compuestas de especies valiosas, que no se encuentran a menores altitudes.

En la actualidad el uso de métodos convencionales para el transporte de troncos de madera, ha limitado las zonas de corte de árboles para los medianos productores, al igual que ha incrementado sus costos y generado efecto de erosión en el terreno.

La búsqueda de una solución para el transporte de troncos de madera desde el lugar donde es cortada hacia las carreteras ha tomado gran importancia, debido a los altos costos de transporte e impacto ambiental del terreno a los que se ven sometidos los productores de madera al emplear métodos tradicionales como es el caso de animales de carga para el transporte de la madera.

Reemplazar los métodos tradicionales de transporte de madera, requiere del diseño de un sistema motriz, semiautomático que soporte las condiciones ambientales del bosque a las que estaría sometido el equipo, tales como la intemperie, humedad, altas jornadas de trabajo y poco mantenimiento.

En los bosques naturales del litoral pacífico colombiano se ha desarrollado un sistema artesanal con cables para transporte de piezas de madera aserrada, el cual es elaborado con materiales artesanales propios de la región tales como madera y sogas plásticas.

Partiendo de este concepto se busca dar una solución técnica a una necesidad existente dentro del proceso de transporte de troncos de madera desde su lugar de corte hacia la carretera, de forma segura para sus operarios y rentable para sus propietarios.

Se pretende determinar que tan viable es desarrollar un sistema de transporte de madera desde el bosque hasta una vía de acceso, dirigido principalmente a pequeños y medianos productores de madera (i.e. pequeños reforestadores, productores de bosque natural), con un nivel tecnológico sólido, confiable, durable y al mismo tiempo de fácil operación para la población de un nivel educativo bajo, como campesinos e indígenas.

El desarrollo de un sistema para el transporte de troncos de madera en el bosque es una necesidad con la que actualmente cuenta el sector maderero, por tal razón es de gran importancia encontrar una solución viable desde el punto de vista técnico y económico que partiendo de los sistemas ya existentes, se llegue a un sistema de fácil fabricación operación y montaje.

La explotación forestal es un problema fundamentalmente de transporte. El apeo y la preparación de las trozas, aunque a veces presentan algunas dificultades, son operaciones fáciles de resolver comparadas con la operación de transporte la cual absorbe el 60 al 70 % o más del costo total de aprovechamiento del bosque. El 30 a 40 % restante es absorbido por las actividades previas de apeo y troceo. (Sanchez, 1995)

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de transporte de madera desde el bosque hasta una vía de acceso vehicular.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Diseñar el sistema de transporte incluyendo los cálculos y planos de los componentes del sistema.
- 2) Evaluar la operación del sistema en sus posibles sentidos de movimiento, subiendo y bajando.
- 3) Determinar la capacidad de carga máxima, inicialmente con cargas puntuales pequeñas, del orden de 75-100 kg con longitudes de 1.5 a 3 metros, hasta alcanzar cargas en lo posible de 150 kg y 6 metros de longitud.
- 4) Determinar la longitud máxima de los corredores, haciendo pruebas en campo inicialmente de 200 a 500 metros con cargas unitarias y tratando de llegar a los 2.000 metros para cargas en intervalos de 150 metros.
- 5) Estimar si la producción diaria, que para pequeños cultivadores es optima en el orden de las 10-15 toneladas, es factible lograr con el equipo.

- 6) Determinar si el sistema es económicamente viable para los pequeños y medianos cultivadores.

- 7) Concluir los principales resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

2. DESCRIPCION DE SISTEMA ACTUALMENTE EMPLEADO

Para el diseño del sistema cable sinfín para transporte de troncos de madera, partimos de un concepto de sistema de cables que es empleado actualmente en algunas regiones productoras de madera.

Este sistema se encuentra construido con materiales artesanales tales como troncos de madera y soga plástica o pita. Como mecanismo motriz, emplea una moto sierra acoplada a un sistema de poleas que permite entregar al mecanismo las revoluciones y velocidad lineal requeridas para su funcionamiento. Los mástiles de soporte pueden ser artificiales o un árbol fijo, los cuales mantienen su posición al suelo a través de cuerdas tensionadas y empotradas al suelo.

Figura 1. Montaje mástiles de soporte



Proyecto JATUN SACHA

El tendido de cable de acero se efectúa de forma manual evitando el roce con objetos fijos como piedras. El tensionado se realiza con un tensor tipo Tirfor y posteriormente el cable es asegurado con grapas.

El tendido de la soga plástica se realiza de forma manual de ida y vuelta, evitando el cruce de las líneas, luego se realiza la instalación de las poleas de tracción y el tendido de la soga a través de estas, tensionando la soga con ayuda de tira sepe y sogas de apoyo que son aseguradas a los mástiles.

Figura 2. Tendido de soga plástica



Proyecto JATUN SACHA.

Luego de que es tensionado el cable, se define el sitio de carga y de descarga. Este sitio se ubica antes de cada mástil dentro del tramo y a ambos lados.

A la altura de los sitios de carga y de descarga se realiza la fijación de las poleas de transporte en las en las sogas plásticas, tanto de ida como de vuelta en los mástiles.

Figura 3. Poleas de Transporte



Proyecto JATUN SACHA.

Una vez se fijan las poleas de transporte, se debe instalar un mecanismo motriz, en este caso la moto-sierra debidamente equipada con una polea acoplada al piñón. La ubicación de la motosierra debe ser sobre una plataforma fija, alineada en la dirección de las poleas de transporte, formando un ángulo de tracción que evite el roce de la correa con algún objeto al momento de realizar el movimiento.

La tensión a la banda en V, se da con la componente del peso de la motosierra, en dirección de la plataforma fija, con el fin de garantizar una transmisión de potencia apropiada entre la motosierra y la polea del cable de tracción.

Figura 4. Mecanismo de tracción: Moto-sierra



Proyecto JATUN SACHA.

El sistema de freno que es empleado en este tipo de mecanismo, es un trozo de madera en forma de palanca que es presionado contra las poleas de tracción, produciendo la reducción de velocidad del sistema.

Figura 5. Mecanismo de Freno



Proyecto JATUN SACHA.

Con el equipo instalado se deben realizar pruebas de envío con cargas livianas y realizar los ajustes necesarios en la tensión del cable, como la sogas, mástiles y tensores.

Figura 6. Ensayo de envío de cargas



Proyecto JATUN SACHA.

El mantenimiento del equipo y de todo el sistema debe ser constante como el engrasado de las poleas de transporte para evitar el desgaste por roce de fricción con el cable. Se realiza una revisión constante del estado del cable y de la sogas de transporte principalmente. Se verifica el tensionado del cable y de la sogas cada mañana antes de su uso, se revisa las uniones de la sogas y de las grapas que ajustan el cable.

Una vez concluida la operación de transporte, se procede al desmontaje del sistema, puede ser para cambiar el tramo, puede ser para cambiar cable y o sogas, también se puede realizar el desmontaje para ajustar los mástiles u otros mantenimientos que requiera el sistema.

Figura 7. Mantenimiento del equipo



Proyecto JATUN SACHA.

3. PROPUESTA DE CABLE SIN FÍN PARA TRANSPORTE DE TRONCOS DE MADERA

La propuesta de sistema de cable sinfín para transporte de madera que se realiza, parte del principio de funcionamiento del sistema artesanal construido y operado actualmente, sin embargo, el nuevo sistema propuesto presenta cambios significativos tales como:

- Cambios en los materiales con los cuales está construido el sistema: El sistema implementado actualmente está construido con materiales artesanales, tales como madera, con el cual se construyen los mástiles de soporte, la estructura de soporte del elemento motriz, en este caso la moto-sierra STIHL de 6.6 HP, entre otros elementos que componen el sistema. En el sistema propuesto, se plantea cambiar los elementos de madera por estructuras de acero modulares, que permitan ser desensambladas fácilmente. La sogá plástica que es empleada como elemento de arrastre, en el nuevo sistema se propone cambiarlo por cable de acero de menor calibre al empleado en la línea de carga de la madera.
- Cambio en el sistema de freno: El sistema de freno empleado en el sistema actual, es un mecanismo netamente artesanal, que consiste en un trozo de madera, que al hacer contacto con la polea, permite frenar el sistema, corriendo el riesgo de lesionar al operario o incluso reventar la sogá plástica, quedando así la carga en plena libertad de movimiento y sin forma de controlar. El sistema de freno que inicialmente se propone, está formado por un freno de mano, con una platina de asbesto que va a la polea, que al ser accionado manualmente por medio de una palanca, disminuye la velocidad de operación del sistema.
- Cambios en los cálculos del diseño del sistema: El sistema actual no cuenta con cálculos de diseño del sistema. En el nuevo sistema se

calculan los elementos más críticos, tales como cables, rodamientos, bandas y elementos que puedan estar sometidos a altos esfuerzos, cargas cíclicas o incluso piezas que al fallar puedan colocar en riesgo la vida de los operarios del sistema.

- Cambios en el trazo del recorrido: Inicialmente se busca realizar un sistema que funcione adecuadamente en terrenos planos o de muy baja pendiente.

4. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.

Se busca que el sistema sea operado bajo las siguientes condiciones:

- Terreno plano: Inicialmente se propone un sistema que trabaje en terreno plano, facilitando el montaje del corredor.
- Tramos que tengan una distancia de 50 metros: Los tramos que inicialmente se toman, son de de 50 metros, para abarcar una distancia total de 100 metros (2 tramos)
- Cargas de aproximadamente 40 - 50 kilogramos: Las cargas con las que se iniciara la operación del sistema, son de 50 kg, buscando aumentar a 75 – 100 kg.

5. CALCULOS DEL SISTEMA

5.1 CABLE DE CARGA

Cuando el peso del cable es importante en el análisis de fuerzas, la función de carga a lo largo del cable se vuelve una función de la longitud de arco s en vez de la longitud proyectada x . (Hibbeler, 2004)

De acuerdo a las condiciones de trabajo de nuestro sistema, el cable de carga se ve sometido a su propio peso, y al peso de la carga de la madera.

Inicialmente vamos a analizar el comportamiento del cable sometido a su propio peso. Para esto vamos a encontrar la curva de deflexión, la longitud y la tensión máxima en el cable.

Partiendo de las propiedades del cable que son las siguientes:

Tabla 1. Propiedades de los cables de acero

Dimensión Nominal		Peso Aproximado		Área Efectiva		Resistencia a la Ruptura	
$(in)^2$	$(mm)^2$	lb/ft	N/m	$(in)^2$	$(mm)^2$	lb	kN
0,5	12	0,42	6,1	0,119	76,7	23100	102

(Gere, 2002)

La ecuación que define la forma de una curva catenaria está dada por:

$$y = \frac{F_H}{W_0} \left[\cosh\left(\frac{W_0}{F_H} x\right) - 1 \right] \quad (1)$$

La constante F_H se obtiene usando la condición de frontera $y = h$ en $x = L/2$ en cuyo caso:

$$h = \frac{F_H}{W_0} \left[\cosh\left(\frac{W_0 L}{2F_H}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

donde:

W_0 : El peso/metro del cable

h : Longitud de caída del cable

L : Longitud entre apoyos del cable

Para nuestro caso de análisis los valores son los siguientes:

$$W_0 = 6,1 \text{ N/m} ; h = 1\text{m} \text{ y } L = 50\text{m}$$

Al reemplazar estos valores en la ecuación (2) tenemos:

$$1 \text{ m} = \frac{F_H}{6,1 \text{ N/m}} \left[\text{Cosh} \left(\frac{6,1 \text{ N/m} \times 50\text{m}}{2F_H} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

A partir de esta ecuación podemos despejar F_H usando el procedimiento de tanteo. El resultado es:

$$F_H \approx 1906 \text{ N}$$

Reemplazando el valor de F_H en la ecuación (1) tenemos:

$$y = \frac{1906 \text{ N}}{6,1 \text{ N/m}} \left[\text{Cosh} \left(\frac{152,5 \text{ N}}{1906 \text{ N}} \times x \right) - 1 \right] \quad (1)$$

$$y = 312,459 [\cosh(0,08x) - 1]$$

Tomando la curva de deflexión:

$$S = \frac{F_H}{W_0} \text{senh} \left(\frac{W_0}{F_H} x \right) \quad (3)$$

Empleando esta ecuación (3), con $x = 25\text{m}$, que corresponde a la mitad del cable.

$$\frac{L}{2} = \frac{1906 \text{ N}}{6,1 \text{ N/m}} \text{Senh} \left(\frac{6,1 \text{ N/m}}{1906 \text{ N}} \times 25\text{m} \right)$$

$$L = 50,053364 \text{ metros}$$

Para un cable sometido a su propio peso:

$$T = \frac{F_H}{\cos\theta} \quad (4)$$

La tensión máxima ocurre cuando θ es máximo, es decir en:

$$s = L/2 = 25,026682 \text{ m}$$

Empleando la ecuación:

$$\frac{dy}{dx} \text{ para } s = 25,026682$$

$$\tan\theta_{max} = \frac{6,1 \text{ N/m} (25,026682 \text{ m})}{1906 \text{ N}}$$

$$\tan\theta_{max} = 0,080095 \rightarrow \theta_{max} = 4,5793^\circ$$

Entonces:

$$T_{max} = \frac{F_H}{\cos\theta_{max}} = \frac{1906 \text{ N}}{\cos(4,5793^\circ)} = 1912,1038 \text{ N}$$

5.2 MINIMA DEFORMACIÓN QUE SUFRE EL CABLE

La siguiente ecuación muestra que el alargamiento es directamente proporcional a la carga P y a la longitud L e inversamente proporcional al módulo de elasticidad E y al área de la sección transversal A . (Gere, 2002)

$$\delta = \frac{PL}{EA} \quad (5)$$

donde:

P: carga

L: Longitud

E: Modulo Efectivo

A: Area Efectiva

Para nuestro caso de análisis los valores son los siguientes:

$$P = 1912,1038 \text{ N} ; L = 50,053364 \text{ m} ; E = 140 \text{ GPa} ; A = 76,7 \text{ mm}^2$$

$$\delta = \frac{1912,1038 \text{ N} \times 50,053364 \text{ m}}{140 \times 10^9 \text{ Pa} \times 76,7 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 0,00891294 \text{ m}$$

5.3 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

5.3.1 Calculo de las rpm transmitidas

Para el motor (Conductor)

$$V_T = W \times r = 4000 \text{ rev}/\text{min} \times 1,5 \text{ in} = 152,4 \text{ metros}/\text{minuto}$$

Para el eje del cable de tracción (Conducido)

$$4000 \times 3 = n_{\text{conducida}} \times 12$$

$$n_{\text{conducida}} = 1000 \text{ rev}/\text{min}$$

Si queremos que el cable de tracción se mueva a una velocidad lineal de $1,5 \text{ m}/\text{s}$ encontramos que la polea del cable de tracción debe tener un radio mínimo de la siguiente dimensión:

$$r = \frac{V_T}{W} = \frac{1,5 \text{ m}/\text{s}}{16,66 \text{ rev}/\text{s}} = 3,5 \text{ in.}$$

5.3.2 Cálculo de la Banda

- Estimando el factor de servicio (F_s) :

De acuerdo a las condiciones a las que se encuentra sometido la correa, tal como lo es la intemperie, trabajo continuo, ambiente sucio con mantenimiento deficiente, optamos por seleccionar el factor de servicio con un valor de 1,2.

- Estimación de la potencia teórica (P_t):

La potencia teórica tiene un valor de 6 hp.

- Cálculo de la potencia de diseño (P_d) :

$$P_d = P_t \times F_s \rightarrow P_d = 6Hp \times 1,2 = 7,2 \text{ hp.}$$

- Determinación del perfil de la correa: De acuerdo al grafico de selección de perfil de correas, la sección que se debe tomar con 7,2 hp y con 4000 rpm, determinan el perfil A.

- Cálculo de relación de velocidades:

$$R_T = \frac{4000}{1000} = 4$$

- Elección de diámetros primitivos de las poleas (D_p, d_p)

Como conocemos el diámetro de la polea menor $d_p = 3''$ entonces:

$$D_p = 4 \times 3'' = 12''$$

- Cálculo de la Velocidad Periférica (V):

$$V = 0,262 \times 3 \times 4000 = 3144 \text{ ppm}$$

- Determinación de la distancia entre centros de los ejes (C) y del largo primitivo de la correa (L_p).

Distancia media entre centros:

$$C = \frac{D_p + 3d_p}{2} = \frac{12 + 9}{2} = 10,5''$$

$$L_p = 2 \times C + 1,57 \times (D + d) + \frac{(D - d)^2}{(4 \times C)}$$

donde:

C: distancia entre centro de poleas (en pulg o mm)

D: diametro de la polea mayor (en pulg o mm)

d: diametro de la polea menor (en pulg o mm)

$$L_p = 2 \times 10,5 \text{ in} + 1,57 \times (12 \text{ in} + 3 \text{ in}) + \frac{(12 \text{ in} - 3 \text{ in})^2}{(4 \times 10,5 \text{ in})}$$

$L_p = 46,47 \text{ in}$. La correa que más se aproxima es la A-45 con un largo primitivo $L_p=46,1''$.

Corrección de la distancia entre centros

$$C = 10,5'' - \frac{46,47'' - 446,1''}{2} = 10,315 \text{ in}''$$

- Determinación de la potencia clasificada y número de correas.

$$\text{Arco de contacto} \rightarrow A_c = 180^\circ - 60^\circ \times \frac{(D_p - d_p)}{C}$$

$$\text{Arc} = 180^\circ - 60^\circ \times \frac{(12 \text{ in} - 3 \text{ in})}{10,315 \text{ in}} = 127,64^\circ \approx 128^\circ$$

Encontramos que para un arco de contacto de 128° el factor de correlación (F_{AC}) es de 0,85..

- Para $L_p = 46,1''$, una correa A-45, el factor de corrección $F_{LP} = 0,91$.

- La potencia básica por correa para un perfil A, 4000 rpm en el eje más rápido, $d_p = 3''$ corresponde a un valor de 2,26.
- La potencia adicional por correa, para 4000 rpm y $R_t = 4$, es 0,53.
- Para la determinación de la potencia clasificada = potencia adicional + potencia básica.
Potencia clasificada = $2,26 + 0,53 = 2.79$.
- Potencia efectiva = Potencia clasificada $\times F_{AC} \times F_{LP}$
Potencia efectiva = $2.79 \times 0,85 \times 0,91 = 2,158$

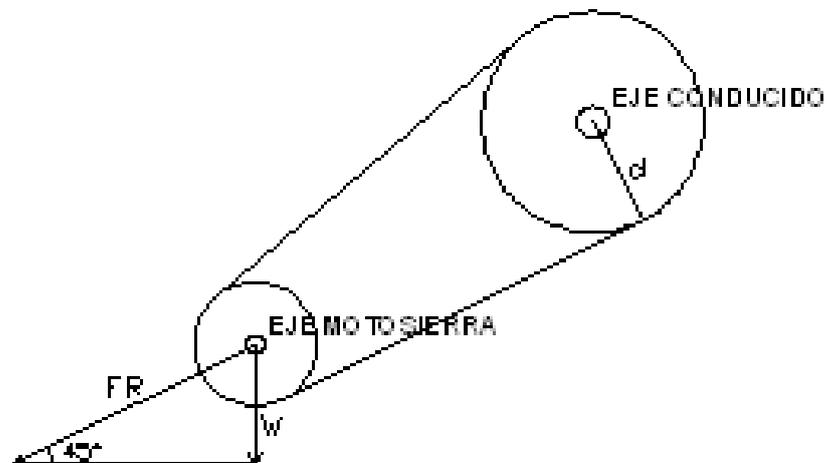
$$\text{Numero de Correas} = \frac{7,2}{2,158} = 3,33 \rightarrow 4 \text{ Correas.}$$

5.4 CÁLCULO EJE DE LA POLEA

Se busca realizar el cálculo del eje sometido a torsión y luego sometido a flexión, seleccionando el eje de mayor diámetro.

Para calcular la fuerza que actúa sobre el eje conducido partimos del siguiente diagrama, donde W =Peso de la motosierra que es igual a 70N.

Figura 8. Diagrama sistema de transmisión



Autoría propia

$$F_R = \frac{W}{\text{sen}(45^\circ)} \rightarrow \frac{70 \text{ N}}{\text{sen}(45^\circ)} = 99 \text{ N}$$

Hallando momento torsor sobre eje conducido producto de esta fuerza.

$$T = F_R \times d \rightarrow 99 \text{ N} \times 0,1524 \text{ m} = 15,0876 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Calculando diámetro del eje en cortante:

$$\frac{\tau}{n} = \frac{T \cdot c}{J}$$

donde:

$$c = \frac{D}{2}$$

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{32}$$

$$T = 15,0876 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

$$n = 3$$

$$\tau = 80 \text{ GPa}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T \cdot n}{\pi \cdot \tau}} \rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{724,2048}{\pi \cdot 80 \text{ GPa}}} \rightarrow D = 14,23 \text{ mm}$$

Calculando diámetro del eje en flexión:

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{M \cdot c}{I}$$

donde:

$$c = \frac{D}{2}$$

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$

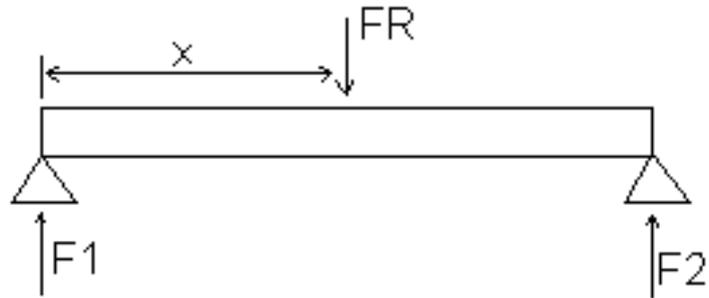
$$n = 3$$

$$M = M_{\text{maximo}}$$

$$\sigma = 200 \text{ GPa}$$

Hallando M_{maximo} :

Figura 9. Diagrama del eje en flexión



Autoría propia.

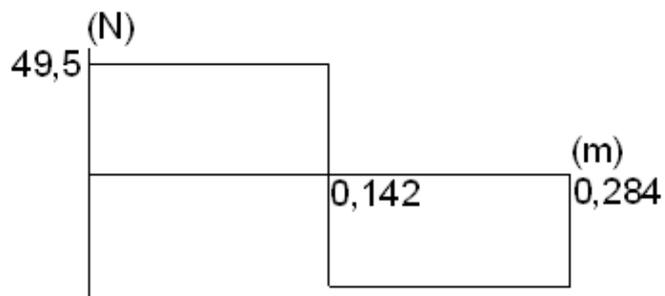
$$\sum F = 0; \rightarrow F_1 + F_2 = F_R$$

$$\sum MF_1 = 0; \rightarrow -F_R \times 0,142 + F_2 \times 0,284 = 0$$

$$F_2 = \frac{F_R \times 0,142}{0,284} = 49,5 \text{ N.}$$

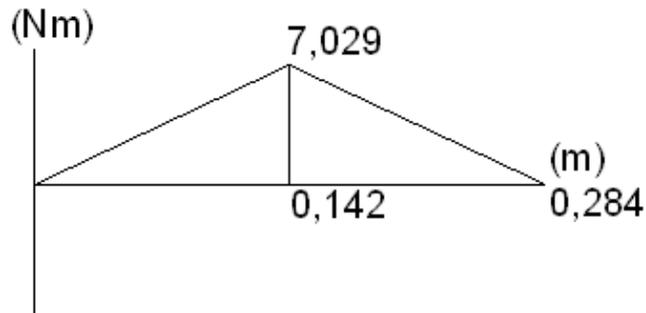
$$F_1 = F_R - F_2 = 49,5 \text{ N.}$$

Figura 10. Diagrama de Fuerza Cortante



Autoría propia

Figura 11. Diagrama de Momento



Autoría propia

A partir del diagrama de momento encontramos el momento máximo:

$$M_{maximo} = 7,029 \text{ N} \cdot \text{m} ; \text{ en } x = 0,142 \text{ m}.$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{224,928 \cdot n}{\pi \cdot \sigma}} \rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{674,784}{\pi \cdot 200 \text{ GPa}}} \rightarrow D = 10,24 \text{ mm}$$

Seleccionamos para el eje el diámetro mayor, que corresponde a:

$$D = 14,23 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$

5.5 CALCULO DE RODAMIENTO

Para un diámetro de eje de 15 mm, una carga radial, que actúa en dirección perpendicular al eje, que tiene un valor de 49,5 Newton, y unas RPM de 1000 rev/min, se seleccionó el siguiente rodamiento.

Tabla 2. Rodamiento de rodillo Cilíndrico

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Límite de velocidad		Designaciones	
d	D	B	dinám. C	estát. Co	Lub. Con grasa	aceite	Tipo	
mm			N		r/min		NU	NJ
15	35	11	8970	4250	19000	24000	NU 202	NJ 202

(SKF)

6. MODELACION DEL SISTEMA MOTRIZ

Partiendo de los cálculos realizados, se modeló y construyó el sistema motriz, que luego de ser ensamblado con todo el montaje de cables y poleas, se colocó en completo funcionamiento.

Para el diseño del sistema motriz, se tuvo en cuenta factores como el fácil montaje, operación y transporte, al igual que se emplearon materiales comerciales que hacen un equipo óptimo para altas jornadas de trabajo.

Figura 12. Modelo del Sistema Motriz



Autoría Propia.

7. EVALUACION DEL SISTEMA

El sistema cable sinfín para transporte de troncos de madera, se evaluó con cargas inferiores a 40 kg y corredores de 50 m, y se observó que el sistema sube y baja las cargas fácilmente.

Por esta razón se encontró necesario incrementar las cargas transportadas al igual que su longitud, para alcanzar los valores máximos respectivos para cada uno de los corredores.

Este análisis se realiza para los diferentes sentidos del terreno: Descendente, Terreno plano y Ascendente.

7.1 OPERACIÓN DEL SISTEMA EN TERRENO DESCENDENTE

Al realizar pruebas del sistema de cable para transporte de troncos de madera, en terreno descendente, con una pendiente aproximada de 2%, se encontraron los siguientes datos para las diferentes cargas y longitudes de los corredores.

Tabla 3. Pruebas de campo en terreno descendente

<i>LONGITUD DEL CORREDOR</i>	<i>PENDIENTE</i>	<i>SENTIDO</i>	<i>PESO DE LA CARGA</i>	<i>LONGITUD DE LA CARGA</i>	<i>TIEMPO</i>
<i>EN METROS</i>			<i>EN KILOGRAMOS</i>	<i>EN METROS</i>	<i>EN SEGUNDOS</i>
50	2%	DESCENDENTE	68	1,1	52
			72	1,4	58
			87	1,3	45
			94	1,8	59
			120	1,5	65
			137	2,1	72
			144	2,15	68
			151	2,2	89
			163	2,8	61
CARGA MAXIMA PARA 50 m→			175	3,9	90
100	2%	DESCENDENTE	65	1,4	120
			72	1,38	131
			90	1,67	112

<i>LONGITUD DEL CORREDOR</i>	<i>PENDIENTE</i>	<i>SENTIDO</i>	<i>PESO DE LA CARGA</i>	<i>LONGITUD DE LA CARGA</i>	<i>TIEMPO</i>
<i>EN METROS</i>			<i>EN KILOGRAMOS</i>	<i>EN METROS</i>	<i>EN SEGUNDOS</i>
			92	1,6	93
			111	1,08	108
			116	2,37	117
			142	1,9	114
			150	2,12	86
			151	2,35	105
CARGA MAXIMA PARA 100 m→			179	2,8	98
200	2%	DESCENDENTE	61	1,3	181
			74	1,4	160
			85	1,72	203
			90	1,68	193
			117	1,4	197
			114	2,6	207
			148	2,68	219
			151	3	211
			161	2,32	221
CARGA MAXIMA 200 m→			165	2,88	232
500	2%	DESCENDENTE	62	1,2	407
			78	1,1	489
			83	1,75	507
			87	1,71	512
			120	1,3	491
			123	2,48	479
			152	3,45	518
			151	4,21	520
CARGA MAXIMA 500 m→			172	5,32	567
			169	6,06	543

Autoría Propia.

A medida que aumenta la carga es mejor bajarla frenada, con el fin de evitar un accidente al dejarla en caída libre.

No se consideró necesario realizar pruebas de 1000 a 2000 metros bajando debido a que un sistema en este sentido trabaja prácticamente por gravedad, a excepción de cuando pasa a través de los pasacables que es necesario

acelerar levemente la motosierra, sin embargo este esfuerzo es similar a lo largo de cualquier recorrido, entre 50 y 2000 metros.

Analizando el comportamiento del sistema en estas distancias, se concluye que el sistema trabaja bien para cualquier otra distancia en el sentido bajando, más aun si se incrementa la pendiente del terreno.

Figura 13. Ensayo operación del sistema en terreno descendente



Proyecto Cable Sinfín para transporte de madera

En el corredor de 500 metros se trabajó con cargas de hasta 140 kg, en intervalos de 150 metros, y el sistema no presentó ninguna novedad. Al intentar colocar más peso, se presentó un problema de tensión en el cable de carga (se colgaba mucho) por lo que se decidió trabajar solo con ese peso.

Para una carga de 169 kg y 6 metros de longitud, el sistema no presentó ningún problema.

En el descenso, el consumo de combustible es muy bajo (no consumió el tanque de la motosierra en ninguna de las longitudes probadas).

El freno presentaba alta temperatura, pero no se veía alto desgaste.

7.2 OPERACIÓN DEL SISTEMA EN TERRENO PLANO

Al realizar pruebas del sistema de cable para transporte de troncos de madera, en terreno plano, se encontraron los siguientes datos para las diferentes cargas y longitudes de los corredores.

Tabla 4. Pruebas de campo en terreno plano

<i>LONGITUD DEL CORREDOR</i>	<i>PENDIENTE</i>	<i>SENTIDO</i>	<i>PESO DE LA CARGA.</i>	<i>LONGITUD DE LA CARGA.</i>	<i>TIEMPO</i>	<i>ESFUERZO EN EL MOTOR</i>
<i>EN METROS</i>			<i>EN KILOGRAMOS</i>	<i>EN METROS</i>	<i>EN SEGUNDOS</i>	<i>x=alto</i>
50	0	HORIZONTAL	66	1,2	48	
			71	1,3	58	
			93	1,1	56	
			87	1,7	53	
			121	1,4	62	
			145	2,3	73	
			136	2,48	76	x
			150	1,98	73	x
			162	2,7	78	x
CARGA MAXIMA PARA 50 m→			165	3,05	77	x
100	0	HORIZONTAL	72	1,2	130	
			76	1,34	134	
			91	2,45	145	
			97	2,35	139	
			113	3,4	142	
			115	4,2	147	
			139	2,5	168	x
CARGA MAXIMA PARA 100 m→			152	5,1	179	x
			100	5,5	138	
			98	6,03	131	
200	0	HORIZONTAL	58	1,1	192	
			67	1,3	203	
			75	1,78	201	

<i>LONGITUD DEL CORREDOR</i>	<i>PENDIENTE</i>	<i>SENTIDO</i>	<i>PESO DE LA CARGA.</i>	<i>LONGITUD DE LA CARGA.</i>	<i>TIEMPO</i>	<i>ESFUERZO EN EL MOTOR</i>
<i>EN METROS</i>			<i>EN KILOGRAMOS</i>	<i>EN METROS</i>	<i>EN SEGUNDOS</i>	<i>x=alto</i>
			87	1,6	217	
			110	1,4	221	
CARGA MAXIMA 200 m→			116	2,45	298	x
			72	4,08	198	
			79	4,9	204	
			81	5,76	209	
			92	6,2	214	
500	0	HORIZONTAL	56	0,9	413	
			67	1,4	428	
			81	2,01	460	x
			89	2,3	456	x
CARGA MAXIMA 500 m→			110	1,9	478	x
			85	3,85	479	x
			71	4,3	432	
			65	5,09	431	
			92	6,05	523	x
			79	5,87	529	x
1000	0	HORIZONTAL	71	1,3	1112	
			120	1,9	1450	x
			119	2,03	1444	x
			145	2,1	1670	x
CARGA MAXIMA 1000 m→			150	2,5	1754	x
			52	3,09	1003	
			65	4,21	1098	
			59	5,2	1056	
			79	5,34	1123	
			92	5,9	1231	

Autoría propia

Con una carga superior a la carga máxima para cada uno de los corredores, el sistema no funciona, por lo que se evalúa a partir de acá la longitud máxima.

Para cargas con intervalos el sistema no es capaz, pues los pasos de la carga a través del pasa cables fuerzan mucho el sistema y pueden encontrarse dos o más cables en el pasa cables al mismo tiempo.

Figura 14. Envío de la carga en terreno plano



Proyecto Cable Sinfín para transporte de madera

La velocidad es excesiva y difícil de controlar con cargas livianas.

Figura 15. Desplazamiento de la carga en terreno plano



Proyecto Cable Sinfín para transporte de madera

En este sentido del terreno, el sistema presenta deslizamiento y calentamiento del freno y los cables de carga.

7.3 OPERACIÓN DEL SISTEMA EN TERRENO ASCENDENTE

Al realizar pruebas del sistema de cable para transporte de troncos de madera, en terreno ascendente, con una pendiente aproximada de 3%, se encontraron los siguientes datos para las diferentes cargas y longitudes de los corredores.

Tabla 5. Pruebas de campo en terreno ascendente

<i>LONGITUD DEL CORREDOR</i>	<i>PENDIENTE</i>	<i>SENTIDO</i>	<i>PESO DE LA CARGA.</i>	<i>LONGITUD DE LA CARGA.</i>	<i>TIEMPO</i>	<i>ESFUERZO EN EL MOTOR</i>
<i>EN METROS</i>			<i>EN KILOGRAMOS</i>	<i>EN METROS</i>	<i>EN SEGUNDOS</i>	<i>x=alto</i>
50	3%	ASCENDENTE	66	1,1	56	
			71	2,05	62	
			93	1,98	78	x

LONGITUD DEL CORREDOR	PENDIENTE	SENTIDO	PESO DE LA CARGA.	LONGITUD DE LA CARGA.	TIEMPO	ESFUERZO EN EL MOTOR
EN METROS			EN KILOGRAMOS	EN METROS	EN SEGUNDOS	x=alto
			87	3,05	82	x
CARGA MAXIMA PARA 50 m→			98	1,76	116	x
			55	2,3	54	
			67	3,05	68	
			72	4,19	82	
			68	5,87	79	
			81	6,03	88	x
100	3%	ASCENDENTE	53	0,9	165	
			61	1,12	171	
			75	1,67	172	x
			82	3,16	197	x
CARGA MAXIMA PARA 100 m→			90	1,78	214	x
			55	2,1	139	
			67	3,56	157	
			72	4,04	169	x
			68	5,67	171	
			81	6,15	216	x
200	3%	ASCENDENTE	49	1,45	217	
			54	2,31	231	
			67	1,76	243	
			79	2,56	256	x
			82	3,03	264	x
			91	1,89	287	x
			93	2,31	321	x
CARGA MAXIMA PARA 200 m→			96	1,95	453	x
			57	5,3	245	
			61	5,72	261	
500	3%	ASCENDENTE	42	0,87	443	
			56	1,14	467	
			61	2,13	492	
			73	1,61	513	x
			87	2,34	561	x
CARGA MAXIMA PARA 500 m→			91	2,3	613	x
			53	3,89	456	
			48	4,27	449	
			64	5,14	513	
			71	5,3	536	x
1000	3%	ASCENDENTE	66	1,23	1478	
			71	1,35	1654	x

LONGITUD DEL CORREDOR	PENDIENTE	SENTIDO	PESO DE LA CARGA.	LONGITUD DE LA CARGA.	TIEMPO	ESFUERZO EN EL MOTOR
EN METROS			EN KILOGRAMOS	EN METROS	EN SEGUNDOS	x=alto
CARGA MAXIMA PARA 1000 m→			81	2,03	1765	x
			43	2,15	1378	
			46	2,45	1405	
			51	2,56	1509	
			56	3,41	1498	
			48	4,98	1396	

Autoría propia.

Con una carga superior a la carga máxima para cada uno de los corredores, el sistema no funciona, por lo que se evalúa a partir de acá la longitud máxima.

En terreno ascendente la motosierra no puede con más de 100 kg.

Por presupuesto (costo del cable) no se realizaron pruebas de más de 1000 metros.

Figura 16. Comportamiento del sistema en terreno ascendente



Proyecto Cable Sinfín para transporte de madera

En terreno ascendente con longitudes superiores a 200 metros, la motosierra olía a “embrague quemado” y trataba de apagarse.

A medida que aumenta la distancia, la comunicación entre los operadores es muy complicada, se debe buscar una buena confiabilidad de los elementos y un buen trazo de los corredores.

El sistema trabaja bien con troncos de hasta 6 metros (para algunos casos) pero la manipulación de estos entre dos personas es complicada.

La relación de velocidad es alta, por tanto el sistema es muy rápido, a veces esto es muy difícil de manejar por las inercias que manejan las cargas.

Figura 17. Movimiento de la carga en terreno ascendente



Proyecto Cable Sinfín para transporte de madera

8. RESUMEN VALORES MAXIMOS DE PESO Y LONGITUD DE CARGA

A continuación se presenta un resumen de los valores máximos del peso (kg) y longitud (m) para cada uno de los terrenos y las longitudes de corredor.

Tabla 6. Valores máximos de carga en kg

LONGITUD CORREDOR					
TERRENO	50 m	100 m	200 m	500 m	1000 m
DESCENDENTE	175	179	165	172	-
PLANO	165	152	116	110	150
ASCENDENTE	98	90	96	91	81

Autoría propia

Tabla 7. Valores máximos de longitud de carga en m

LONGITUD CORREDOR					
TERRENO	50 m	100 m	200 m	500 m	1000 m
DESCENDENTE	3,9	2,8	2,88	6,06	-
PLANO	3,05	6,03	6,2	6,05	5,9
ASCENDENTE	6,03	6,15	5,72	5,03	4,98

Autoría propia

9. ESTIMACION DE LA PRODUCCIÓN DIARIA

Para calcular la estimación de la producción diaria, partimos del tiempo que toma desplazar la carga de mayor peso para cada una de los sentidos del terreno y las diferentes longitudes de corredores. A este valor de tiempo, le sumamos 10 minutos que corresponde al tiempo que toma cargar y descargar los troncos de madera. Con este valor de tiempo estimado y para jornadas diarias de trabajo de 6 horas, encontramos el número de cargas transportadas en un día, y al multiplicar por el peso de cada carga encontramos la producción diaria de madera que puede transportar a través del sistema.

Modelo de Calculo de la producción Diaria.

$$\text{Numero Cargas} = \frac{21600 \text{ Seg. (6 Horas)}}{\text{Tiempo desplazamiento carga max (seg.)} + 600(\text{seg.})}$$

$$\text{Producción diaria} = \text{Numero de Cargas} \times \text{Peso de la Carga}$$

Tabla 8. Producción diaria en Ton.

LONGITUD CORREDOR	50 m	100 m	200 m	500 m	1000 m
TERRENO					
DESCENDENTE	5,48	5,54	4,28	3,18	-
PLANO	5,26	4,21	2,79	2,20	1,38
ASCENDENTE	2,96	2,39	1,97	1,62	0,74

Autoría propia.

10. CONCLUSIONES

De acuerdo a la producción diaria de madera estimada en toneladas, encontramos que la mayor producción es de 5,54 toneladas para una longitud de corredor de 100 metros, en terreno descendente. Encontramos que para ningún corredor en los diferentes terrenos (Descendente, Plano y Ascendente), se cumple el transporte de la madera producida por medianos productores, que corresponde a cerca de 10-15 Toneladas diarias.

Inicialmente se planteó trabajar con un solo elemento motriz, es decir, con la motosierra, la cual es empleada para cortar la madera y posteriormente mover la carga. Luego de realizar el montaje y los ensayos, encontramos que se presentaban los siguientes inconvenientes:

- La velocidad que maneja el sistema es muy alta.
- El dispositivo que se empleó para acoplar la polea en la motosierra, presenta gran desgaste.
- La transmisión de fuerza al sistema la está realizando la motosierra de manera directa, y es importante tener en cuenta que ella no fue diseñada para esto.
- La motosierra es un motor de 2 tiempos, y el consumo de combustible y aceite es alto generando costos adicionales y contaminación.
- Como la motosierra auto lubrica la cadena de corte para aserrar, y esta se bajó, arroja mucho aceite al suelo contaminándolo.
- Las bandas (correas en V) se desgastan fácilmente.

La posición del freno y disposición del equipo pueden resultar peligrosas cuando se trabaja el equipo en terrenos pendientes.

El sistema cable sinfín para transporte de madera, requiere unos cambios para que sea viable su operación.

11. MEJORAS

Para continuar con la idea de usar la motosierra se sugiere lo siguiente:

- Hacer una reducción de velocidad con poleas intermedias. (Primero con una hasta alcanzar la velocidad ideal).
- Rediseñar el acople de la polea conductora en la motosierra.

Analizar costos entre una motosierra y un motor diesel, ambos de 6 HP.

El motor diesel, presenta las siguientes ventajas:

- Es más eficiente.
- Produce menos velocidad.
- Es más fácil manipular ACPM que Gasolina.

Se presenta deslizamiento y desgaste en la carreta que hala el cable de arrastre.

Como solución se plantea:

- Mejorar el arco de contacto, ya sea con mayor diámetro o con un sistema que permita darle más vueltas al cable en la carreta.

Se debe cambiar la disposición del sistema, para que el operario no quede al frente de la carga.

Se debe disponer de un mejor sistema de comunicación, a medida que aumentan las distancias.

Acondicionar un sistema de freno comercial, en lo posible de disco y de motocicleta.

BIBLIOGRAFIA

Equipo técnico Yungas, A. p. (Dirección). (Bolivia, 2005.). *Proyecto JATUN SACHA* [Película].

Faires. (1997). *Diseño de elementos de Maquinas*. Mexico: Limusa.

Gere, J. M. (2002). *Mecanica de Materiales*. Mexico: Thomson Learning.

Hibbeler, R. C. (2004). *Mecanica Vectorial para Ingenieros : Estática*. Mexico: Pearson Educación.

Juvinall, R. C. (1999). *Fundamentos de diseño para Ingeniería Mecánica*. Mexico: Limusa.

Sanchez, R. H. (1995). *Sistema de Informacion para la conservacion (SIC)*.

Recuperado el 1 de 10 de 2009, de

http://www.conservacion.unalmed.edu.co/rodolfoparra/documentos/cosecha_for_estal.pdf

SKF. *SKF Catalogo General*.

ANEXOS

Se anexan en formato impreso, planos de taller del sistema motriz diseñado y fabricado para el Sistema de Cable Sinfín para transporte de troncos de madera.