

BLOQUE 3, U.D. 1, TEMA 3: PLANIFICACIÓN OPERACIONAL Y
CÁLCULO DEL DESEMBOSQUE CON CABLE AÉREO.



PROFESOR: EDUARDO TOLOSANA
E.T.S.I. MONTES, 2002-2003

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- **ARMEF-CTBA:** *Manuel d'exploitation forestiere*. Tome I. 442 pág. París, 1993.
- **CONWAY, S.**, 1992: *Logging Practices. Principles of Timber Harvesting Systems*. Miller Freeman Publications, Inc. Edición revisada. 432 pág. San Francisco.
- **FAO**, 1981: *Cable logging systems*. 111 pág. Roma.
- **JUANATI, C., J. RODRÍGUEZ, M. PIQUÉ y E. TOLOSANA**, 2003: *Manual del cable aeri*. Ed. Centre Tecnologic Forestal de Catalunya (en prensa).
- **SAMSET, I.**, 1985: *Winch and Cable Systems*. Martinus Nijhorf Publishers (distribuido por Kluwer Academic Publishers). 539 pág. Holanda.
- **TOLOSANA, E.**, 1998: *“El cable aéreo como medio de desembosque”*. Servicio de Publicaciones E.U.I.T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid. 98 pág. Madrid.
- **TOLOSANA, E., V. GONZÁLEZ y S. VIGNOTE**, 2000: *El Aprovechamiento maderero*. Coed. Mundiprensa y Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, 575 pág.
- **VALLADARES, A.**, 1970: *Manual de teleféricos forestales*. Ed. REALIGRAF. 234 pág. Madrid.

PARÁMETROS Y FACTORES CLAVE EN LA PLANIFICACIÓN ESPACIAL DEL DESEMBOSQUE CON CABLE

Factores

- Fisiografía
- Vías/Cargaderos existentes (Posible construcción)
- Costes montaje/aprovechamiento
- Densidad de corta
- Equipo disponible (incluido equipo auxiliar y de transporte)
- Condicionantes socioeconómicos

Parámetros

- Diseño en planta
- Dirección desembosque
- Altura de montaje
- Longitud de los tendidos
- Características de pistas a construir
- Estaciones de descarga y cargaderos intermedios
- Número/situación apoyos intermedios
- Espaciamiento entre líneas

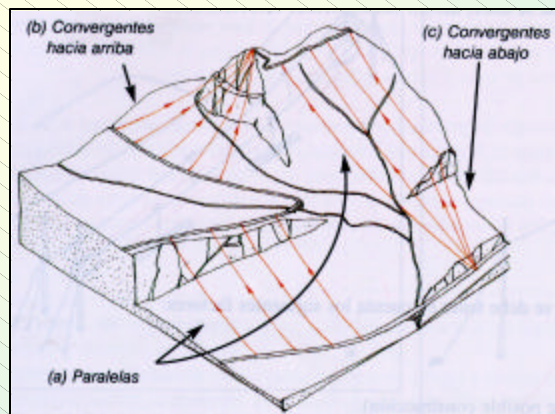
En las explicaciones, si no se indica lo contrario, se hace referencia a cables grúa.

DISEÑO EN PLANTA (I)

DEFINICIÓN: TRAZA DE LAS SUCESIVAS POSICIONES DE UNA LÍNEA DE CABLE

- > **PRINCIPIO GENERAL:** LAS LÍNEAS NO DEBEN ALEJARSE MUCHO DE LA L.M.P. (posible excepción en equipos de suspensión que arrastren sólo desde aguas abajo)
- > **TRES TIPOS BÁSICOS DE TENDIDO EN PLANTA**

- (a) Líneas paralelas
- (b) Líneas convergentes hacia arriba.
- (c) Líneas convergentes hacia abajo.



DISEÑO EN PLANTA (II)

FACTORES QUE FACILITAN CADA MODELO DE TRAZADO

- **Líneas paralelas**

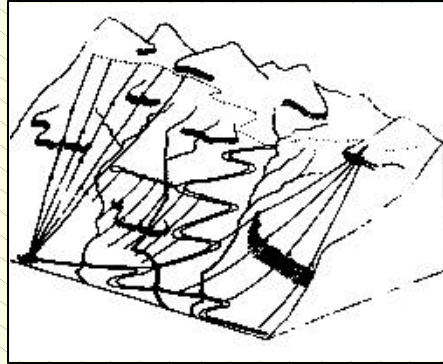
- Equipos ligeros
- Máxima economía (superficie atendida máxima a igualdad de longitud de tendido y de separación máxima).
- Fisiografía: laderas uniformes.
- Existencia de pista aguas arriba o abajo.

- **Líneas convergentes hacia arriba.**

- Equipos pesados con grupo motriz arriba.
- Fisiografía: loma o "teso".
- Existencia de punto forzado de descarga arriba o pista abajo.

- **Líneas convergentes hacia abajo.**

- Equipos pesados con grupo motriz abajo.
- Fisiografía: cuenca cerrada.
- Existencia de punto forzado de descarga abajo o pista arriba.



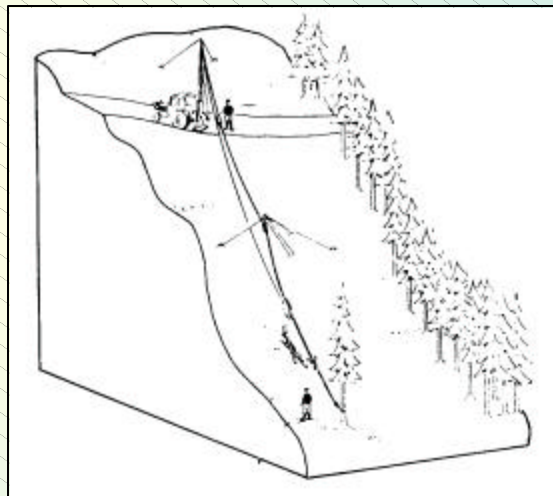
DIRECCIÓN DEL DESEMBOSQUE (I)

Condicionado por la situación de pistas y cargaderos: el desembosque se debe dirigir a un punto de descarga accesible al transporte.

En todo caso, en bicables es interesante que el grupo motriz esté arriba (para evitar largos montajes de "ida y vuelta" de la línea de tracción - retorno).

- **Hacia arriba**

- Equipos que trabajen en semiarrastre
- Especialmente en bicables con grupo motriz sobre tractor, para descargar en pista aguas arriba del área de corta.

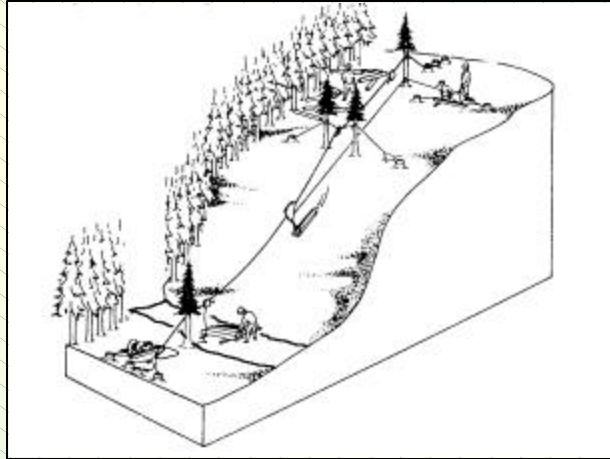


DIRECCIÓN DEL DESEMBOSQUE (II)

- **Hacia abajo.**

- Mejor equipos que no trabajen en semiarrastre (aunque los equipos pesados de suspensión no tienen problemas hacia arriba)

- Especialmente en bicables con grupo motriz autoportante, tipo "trineo", para descargar en pista aguas abajo del área de corta.



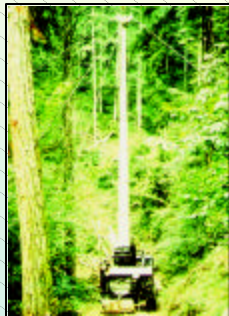
ALTURA DE MONTAJE

Es función de:

- Forma prevista de desembosque (semiarrastre o suspensión) - relacionada con el tamaño del equipo-

- Tamaño de la madera: debe ser entre 3 y 6 metros mayor la altura de los anclajes y apoyos que la longitud de las trozas si deben ir suspendidas.

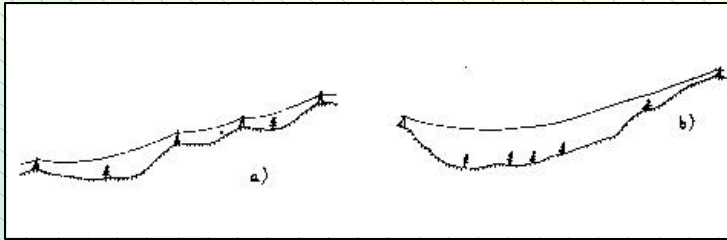
- Dirección del desembosque: los anclajes y apoyos deben hacerse con 2 metros más de altura si el desembosque es en suspensión hacia abajo, en evitación de enganches, atascos y problemas en la zona de descarga.



LONGITUD DE LOS TENDIDOS

- **Función de:**

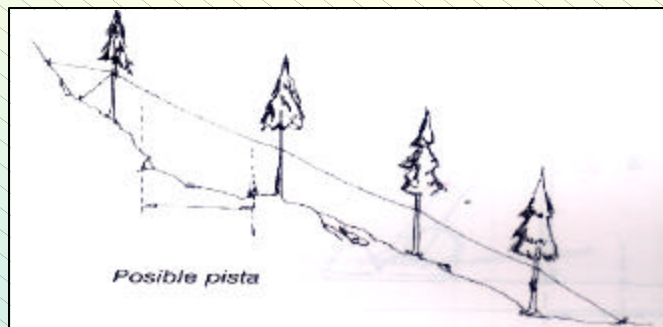
- Altura de montaje y perfil de las laderas: el objetivo suele ser reducir apoyos intermedios, lo que llevaría a acortar longitudes.
- Red de pistas - existente o que se pueda construir -. Si la separación es S , la longitud de las líneas no puede ser menor de $S/2$ ó S según los sentidos de desembosque. Los equipos ligeros o tendidos cortos necesitarán alta densidad de pistas.
- Puede ser interesante, en equipos grandes, el anclaje en contrapendiente: aunque la longitud aumenta, se evitan apoyos intermedios.



CARACTERÍSTICAS DE LAS PISTAS A CONSTRUIR (I)

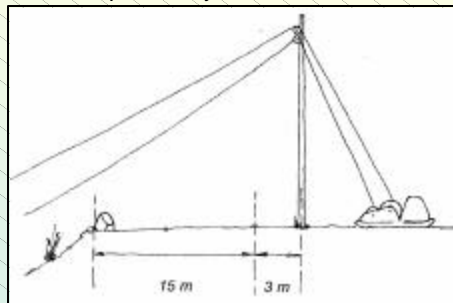
- **Si se puede y se necesita abrir pistas, PRINCIPIOS GENERALES:**

- Aproximadamente según curvas de nivel.
- En pendientes, es mejor poner las vías en la parte superior de la ladera, más si semiarrastra y/o grupo motor sobre tractor o camión.
- Tener en cuenta el perfil de la ladera, para evitar apoyos y por economía constructiva, pistas en tramos con menor pendiente transversal.



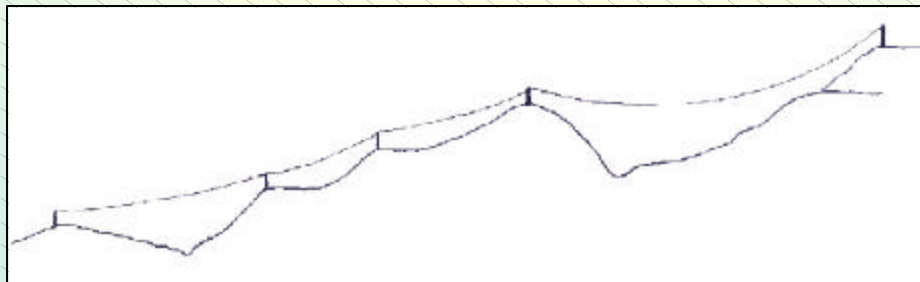
CARACTERÍSTICAS DE LAS PISTAS A CONSTRUIR (II)

- El espaciamiento entre vías dependerá del equipo, sentido de la saca y fisiografía: para sistemas ligeros, una pista cada 200-400 metros.
- La anchura de las pistas deberá planificarse en función de la madera a descargar y apilar en su longitud.
 - En equipos ligeros, pistas con suficiente anchura para descargar en cuneta, previendo medio auxiliar de despeje.
 - En equipos más pesados, lo normal es planificar estaciones de descarga en sobreeanchos para depositar la madera de uno o dos días de trabajo. También conviene pensar en la conveniencia, localización y tamaño de cargaderos intermedios para mayores cantidades de madera.



NÚMERO Y SITUACIÓN DE LOS APOYOS INTERMEDIOS

- El principio es minimizar su número, aunque ello implique aumentar la altura del tendido, reducir algo la longitud, modificar el espaciamiento previsto entre líneas, en equipos pesados anclar en contrapendiente, etc.
- Para ello, es conveniente situarlos en puntos sobresalientes en que el perfil de la ladera cambie de cóncavo a convexo.
- Esto mismo cabe decir de los anclajes inicial y final, aunque al menos uno de ellos suele estar condicionado por la situación de la estación de descarga, cercana a vías de transporte.



ESPACIAMIENTO ENTRE LÍNEAS

- Es una función del tipo y la densidad de corta, la fisiografía, el equipo empleado y sus costes de instalación, intrínsecos y también en relación con los de la mano de obra del aprovechamiento (taladores, enganchadores):

> Para líneas medias o pesadas, en cortas finales o con densidad alta, los espaciamientos oscilan entre 50 y más de 100 metros, con menores espaciamientos para densidades de corta mayores o fisiografías complicadas que dificulten la reunión lateral.

> Para equipos muy ligeros, de instalación fácil y con condiciones de enganche complicadas (p. ej. primeras claras en masas densas) estos espaciamientos se pueden rebajar hasta 20 o 30 metros o menos.

En todo caso, como se verá, la rentabilidad es una función del volumen extraído por línea: es económicamente arriesgado acercar las líneas más de lo necesario.

CÁLCULO DE CABLES: EL CÁLCULO DEL CABLE VÍA (I)

- OBJETIVOS:

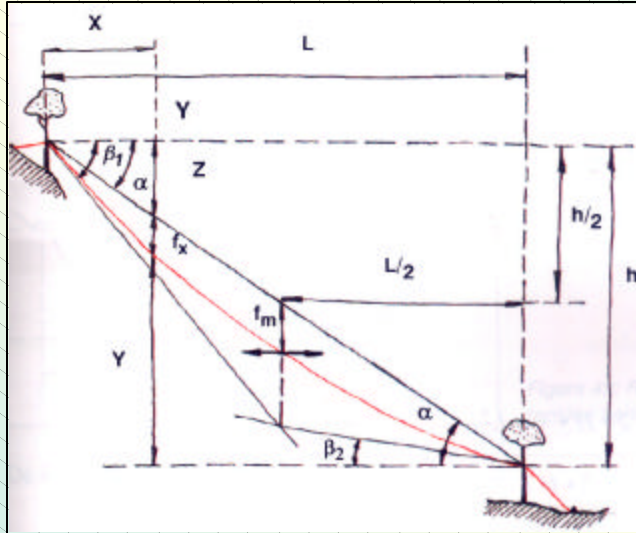
> Garantizar la resistencia del cable para unas ciertas condiciones intrínsecas (resistencia), geométricas (flecha máxima, longitud y pendiente del tendido) y de transporte (peso de la carga a transportar).

> Cálculo de la tensión en vacío que debe aplicarse para conseguir esas prestaciones en cuanto a resistencia, flecha y capacidad de transporte en unas condiciones geométricas y del tendido dadas y en condiciones de seguridad

- DEFINICIONES PREVIAS:

> Parámetros del tendido (ver figura en página siguiente).

CÁLCULO DE CABLES: EL CÁLCULO DEL CABLE VÍA (II)



- L es la longitud total del tendido, en proyección horizontal.
- h es el desnivel total superado por el cable.
- α es la pendiente del tendido.
- f_m o f_{\max} es la flecha máxima, separación del tendido del cable respecto a la recta que une los anclajes que se produce cuando la carga máxima concentrada se encuentra en medio del vano, que es el espacio que separa los anclajes.

CÁLCULO DE CABLES: EL CÁLCULO DEL CABLE VÍA (III)

Hay diversos procedimientos (*vid.* Samset, Valladares, Tolosana *et al.*, etc.). Uno sencillo es el de Lyssons & Mann (en Conway, 1992), que requiere como entradas:

- la longitud en proyección horizontal del tendido L (m),
- el peso del cable por unidad de longitud \bar{q} (kg/m),
- la pendiente expresada en grados α ,
- la carga máxima incluido el peso del carro Q_{\max} (KNw) o la tensión de rotura del cable S_{rotura} , en las mismas unidades (lo que no es entrada, se obtiene como resultado).
- La flecha máxima en tanto por ciento de la longitud (estimada por métodos analógicos, topográficos clásicos o con *software* específico).

La expresión de la tensión en vacío es $S_v(\text{KNw}) = 9,8 \cdot f_v \cdot L \cdot \bar{q} / 100 \cdot \cos \alpha$ y la expresión de la condición de seguridad es:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{TENSIÓN EN VACÍO} + & \text{TENSIÓN DEBIDA} & \text{TENSIÓN MÁXIMA} \\
 \downarrow & \text{A LA CARGA} & \text{ADMISIBLE} \\
 [9,8 \cdot f_v \cdot L \cdot \bar{q} / 100 \cdot \cos \alpha] + & f_c \cdot Q_{\max} & \leq S_{\text{rotura}}(\text{KNw}) / C_{\text{seg}}
 \end{array}$$

Siendo C_{seg} el coeficiente de seguridad (de 3 a 5 según tamaño, cond. de trabajo y tiempo de uso del cable) y f_v y f_c factores de las Tablas 1 y 2 - páginas siguientes -.

TABLA 1: fv

PENDIENTE DEL VANO (%)	FLECHA MÁXIMA ADMISIBLE (%L)						
	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0
0	.137	.131	.127	.122	.118	.115	.111
5	.140	.134	.129	.125	.121	.117	.114
10	.143	.138	.133	.128	.124	.121	.117
15	.147	.141	.137	.132	.128	.124	.121
20	.152	.146	.141	.136	.132	.128	.125
25	.157	.151	.146	.141	.137	.133	.130
30	.163	.157	.151	.147	.142	.138	.135
35	.169	.163	.157	.152	.148	.144	.140
40	.176	.170	.164	.159	.154	.150	.146
45	.184	.177	.171	.166	.161	.157	.152
50	.192	.185	.179	.173	.168	.164	.159
55	.201	.194	.187	.181	.176	.171	.166
60	.211	.203	.196	.190	.184	.179	.173
65	.221	.213	.206	.199	.193	.188	.182
70	.231	.223	.216	.209	.203	.197	.191
75	.243	.234	.226	.219	.212	.206	.200
80	.255	.246	.237	.230	.223	.216	.211
85	.268	.258	.249	.241	.234	.227	.221
90	.281	.271	.261	.253	.245	.238	.232
95	.295	.284	.274	.265	.257	.250	.243
100	.309	.298	.288	.278	.270	.262	.255
105	.325	.313	.302	.292	.283	.274	.267
110	.340	.328	.316	.306	.296	.287	.279

TABLA 2: fc

PENDIENTE DEL VANO (%)	FLECHA MÁXIMA ADMISIBLE (%L)						
	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0
0	2.54	2.43	2.32	2.23	2.14	2.06	1.98
5	2.52	2.41	2.30	2.20	2.11	2.03	1.96
10	2.53	2.39	2.28	2.19	2.10	2.02	1.94
15	2.50	2.38	2.27	2.17	2.08	2.00	1.93
20	2.49	2.37	2.27	2.17	2.08	1.99	1.92
25	2.50	2.37	2.27	2.17	2.07	1.99	1.91
30	2.50	2.38	2.27	2.17	2.08	1.99	1.91
35	2.52	2.40	2.28	2.18	2.09	2.00	1.92
40	2.54	2.41	2.30	2.19	2.10	2.01	1.93
45	2.57	2.44	2.32	2.21	2.11	2.01	1.93
50	2.60	2.47	2.35	2.24	2.14	2.05	1.97
55	2.64	2.51	2.38	2.27	2.17	2.08	1.99
60	2.68	2.55	2.42	2.31	2.20	2.11	2.02
65	2.73	2.59	2.46	2.35	2.24	2.14	2.05
70	2.79	2.64	2.51	2.39	2.28	2.18	2.09
75	2.84	2.70	2.56	2.44	2.33	2.23	2.13
80	2.91	2.76	2.62	2.49	2.38	2.27	2.17
85	2.97	2.82	2.68	2.55	2.43	2.32	2.22
90	3.04	2.88	2.74	2.61	2.49	2.38	2.27
95	3.12	2.95	2.81	2.67	2.55	2.43	2.33
100	3.19	3.03	2.87	2.74	2.61	2.49	2.38
105	3.27	3.10	2.95	2.80	2.67	2.55	2.44
110	3.36	3.18	3.02	2.87	2.74	2.62	2.50

CÁLCULO DE CABLES: EL CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRACCIÓN (I)

- OBJETIVOS:

> Garantizar la resistencia del cable para unas ciertas condiciones intrínsecas (resistencia), sometido al esfuerzo de tracción máximo que puede proporcionar el grupo motriz.

$$S_{c\text{máx}} \text{ (kNw)} = 0,765 \cdot P_b \cdot (1-p_t) / v_{\text{mín}} \leq S_{\text{rotura}} \text{ (kNw)} / C_{\text{seg}}$$

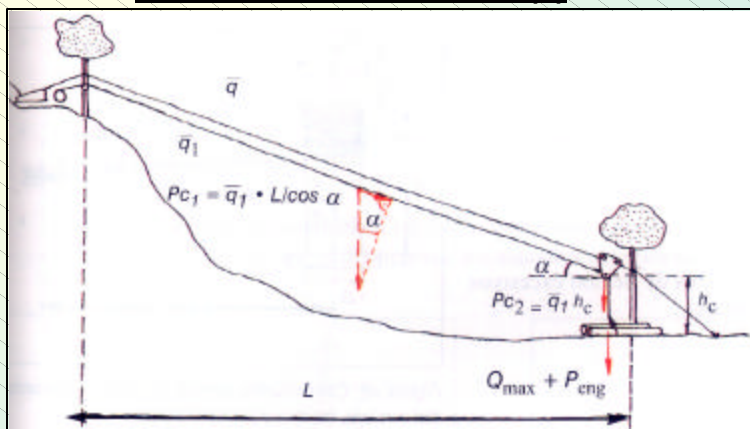
siendo $S_{c\text{máx}}$ la tensión máxima en el cable, transmitida por el motor de potencia a la barra P_b (CV) y pérdidas en transmisión p_t (tanto por uno) a la velocidad mínima de servicio $v_{\text{mín}} \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}) = \pi \cdot (N/60 \cdot U) \cdot D$, donde N es el régimen del par máximo (rpm), U la relación de engranajes, en un tambor medio es usual $U=10$, y D es el diámetro del tambor en vacío, en m.

> Garantizar la suficiencia del grupo motriz para el transporte de la carga estimada ($Q_{\text{máx}}$) partiendo de la situación más desfavorable.

- DEFINICIONES PREVIAS:

> Parámetros del tendido (ver figura en página siguiente).

CÁLCULO DE CABLES: EL CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRACCIÓN (II)



- q_1 el peso del cable tractor por unidad de longitud (kg/m)
- L la longitud en proyección horizontal, en metros.
- α la pendiente en grados.
- h_c la altura de la línea sobre el punto de carga
- Q_{max} la carga máxima en kg (ahora sin incluir peso del carro)
- P_{eng} el peso en kg de los accesorios de enganche

CÁLCULO DE CABLES: EL CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRACCIÓN (III)

La segunda comprobación se expresa:

ESFUERZO EN CABLE \geq SUMA DE RESISTENCIAS (SITUACIÓN + DESFAVORABLE)

$$S_c \text{ (kNw)} \geq [q_l \cdot (L \cdot \operatorname{tg} \alpha + h_c) + Q_{\max} + P_{\text{eng}} + (\Sigma(\pi/4) \cdot n \cdot \delta^3 / D_i) \cdot E_R] \cdot 0,011$$

siendo, además de lo ya indicado:

- $(\Sigma(\pi/4) \cdot n \cdot \delta^3 / D_i) \cdot E_R$ es el incremento de tensión por la flexión en poleas y zapatas, siendo n el nº de alambres del cable, δ su diámetro en mm, D_i el diámetro de las poleas, también en mm, y E_R el módulo de elasticidad del acero (muy variable, su valor medio es 8806 Kgr/mm²).

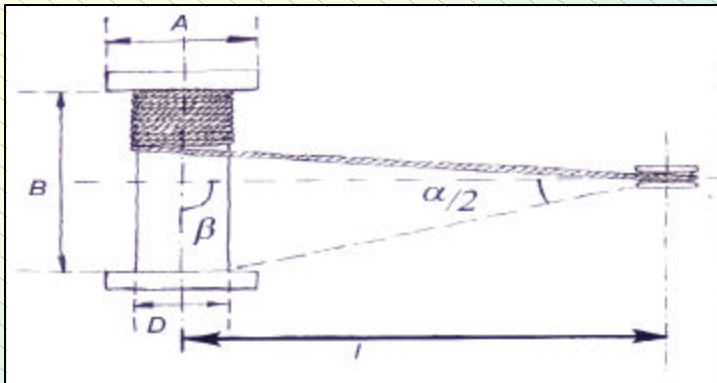
- El factor 1,125 supone un aumento de la tensión en un 10-15 % para tener en cuenta el incremento debido al frenado, aceleración, etc.

- S_c la tensión de servicio en el cable, se obtiene de:

$$S_c \text{ (kNw)} = 0,765 \cdot P_b \cdot (1-p)/v$$

, donde los símbolos tienen el mismo significado que en la expresión anterior, y v es la velocidad media de desplazamiento del carrillo durante el desembosque, en m/s.

CÁLCULO DE CABLES: EL CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE ACCESORIOS (I)



Posición del grupo motriz --> c.d.g. alineado con su anclaje y la primera polea.

Además, deben cumplirse las siguientes condiciones geométricas

- $\beta = 90^\circ$
- $\alpha = 1.5-2^\circ$
- $l > 20 \cdot D$

CÁLCULO DE CABLES: EL CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE ACCESORIOS (I)

Además, para evitar flexión excesiva en el cable, se debe verificar que:

$$D \geq 400 \cdot \delta$$

$$D \geq 26 \cdot d$$

siendo δ el diámetro del alambre más grueso, y d el diámetro del cable. La segunda condición se refiere a cables 6x19 de construcción normal, el coeficiente pasa de 26 a 32 en cables Seale.

Por otro lado, para garantizar que toda la línea, de longitud L y diámetro d , se puede enrollar en un tambor de diámetro externo A , diámetro interior D y anchura B (todos en metros), se debe cumplir que:

$$L \leq (\pi \cdot B / 5 \cdot d^2) \cdot [(A + 4d)^2 - D^2]$$