WIRE ROPE
TECHNOLOGY AACHEN

Nuevos diseños de cable de acero para tambores multicapa

Nuevos diseños de cable de acero para tambores multicapa

por el Dipl.-Ing. Roland Verreet
traducido y comentado por el Ing. Ricardo Muñiz

Índice

1. Daños en el cable de acero debidos a la fatiga y al aplastamiento en el tambor.4
2. El mecanismo de la fatiga a la flexión 4
3. Ciclos de flexión sobre una polea 6
4. Distribución del daño por fatiga en sistemas de enrollado monocapa 10
5. Distribución del daño por fatiga en sistemas de enrollado multicapa 12
6. Enrollamiento multicapa en tambores helicoidales 13
7. Enrollamiento multicapa en tambores Lebus 14
8. Influencia de la relación D/d 16
9. Influencia de la tensión del cable 18
10. Influencia de la tolerancia del diámetro del cable 21
11. Remedio 1: Cambiar los puntos de cruce 23
12. Remedio 2: Ayudas para el enrollado 24
13. Soluciones con el cable 25

© 2003, 2013, 2018, 2021 Ingenieurbüro für Drahtseiltechnik Wire Rope Technology Aachen GmbH
Caricatura de tapa: Rolf Bunse
Maquetado: Benedikt Dolzer, Aachen
Traducción y notas en español: Ing. Ricardo Muñiz
Reproducción, parcial o total, solo con permiso por escrito del autor

1. Daños en el cable de acero debidos a la fatiga y al aplastamiento en el tambor

El cable de acero de una grúa bien diseñada y mantenida debería tener una vida útil razonablemente larga y un día ser desechado por fatiga, el equivalente en cable de acero a la vejez.

Pero a menudo los cables no llegan a envejecer tanto: pueden morir prematuramente por abrasión o corrosión excesivas (el equivalente al cáncer de piel). En este caso, una relubricación adecuada del cable podría ser la respuesta.

Los cables también pueden morir prematuramente por daños mecánicos o estructurales (el equivalente a ser atropellado por un autobús). Un mejor diseño de la grúa y un uso adecuado del cable y de la grúa ayudarán a evitar estos problemas.

Pero, ¿qué ocurre con el aplastamiento del tambor? Si un cable de acero muere a causa de los daños sufridos al enrollarse y desenrollarse en el tambor, ¿eso es parte de su vida normal? Muchos diseñadores y usuarios de grúas piensan que sí.

Pero se equivocan: Cuando se produce aplastamiento en el tambor, el cable se daña a sí mismo. El aplastamiento en el tambor sería el equivalente al suicidio del cable. Este artículo explica los mecanismos y muestra cómo se puede evitar el aplastamiento del cable en el tambor.

2. El mecanismo de la fatiga a la flexión

Si un cable de acero se somete a una flexión repetitiva, en la superficie de los alambres se forman pequeñas fisuras, especialmente en los puntos de contacto con otros alambres o con la canaleta[1] de una polea o tambor. Al aumentar la cantidad de ciclos de flexión, la fisura se propagará, reduciendo la sección transversal del alambre que soporta la carga. Cuando la sección remanente del alambre ya no pueda soportar su parte de la carga, el alambre fallará.

Una rotura típica por fatiga a la flexión se caracteriza por una sección de rotura perpendicular al eje del alambre. La Figura 1 muestra un cable con roturas por fatiga. La Figura 2 muestra la superficie de rotura de uno de los alambres.

1 La palabra *groove*, admite varias traducciones. Aquí optaremos por *canaleta*. También se usa *garganta* cuando se refiere a la polea. Evitamos la palabra *ranura*, aunque también se usa, pero es menos específica. Para los tambores diremos *tambor acanalado y tambor liso* cuando no tiene canaleta (*ungrooved drum*). (NdT)

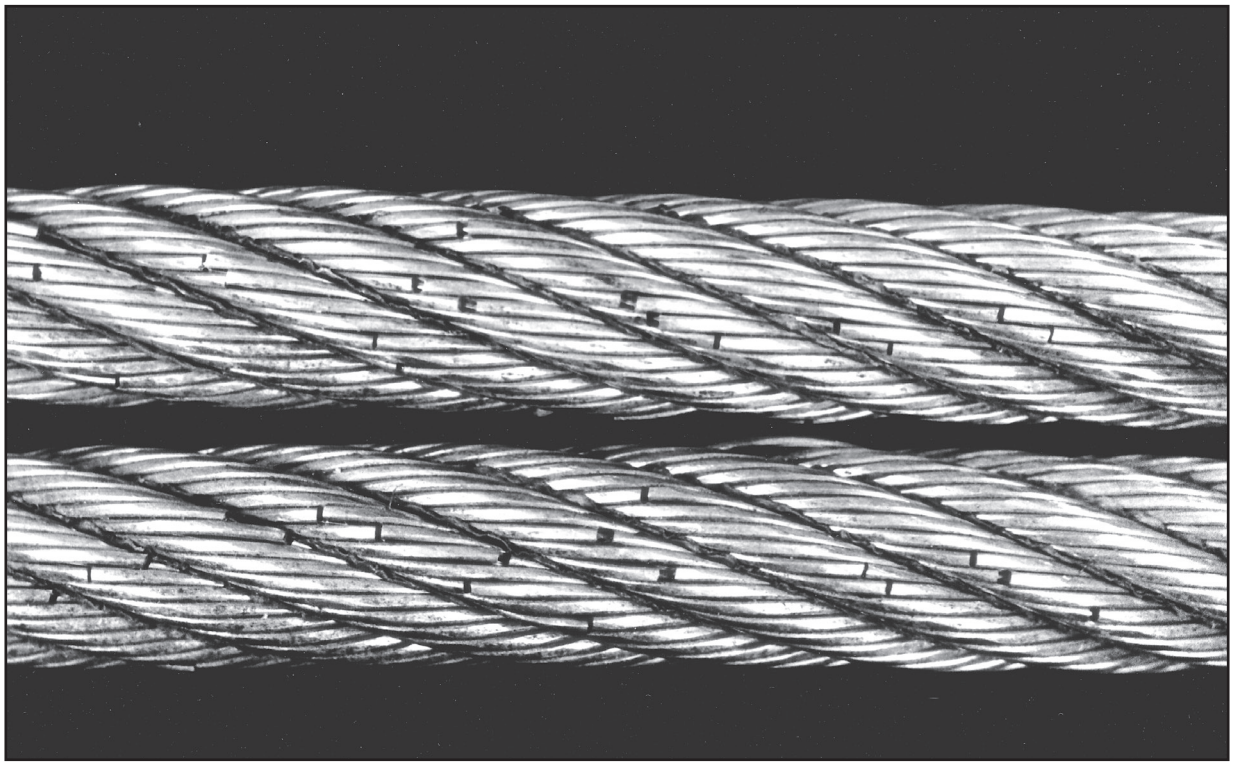


Fig. 1: Cable de acero con roturas por fatiga

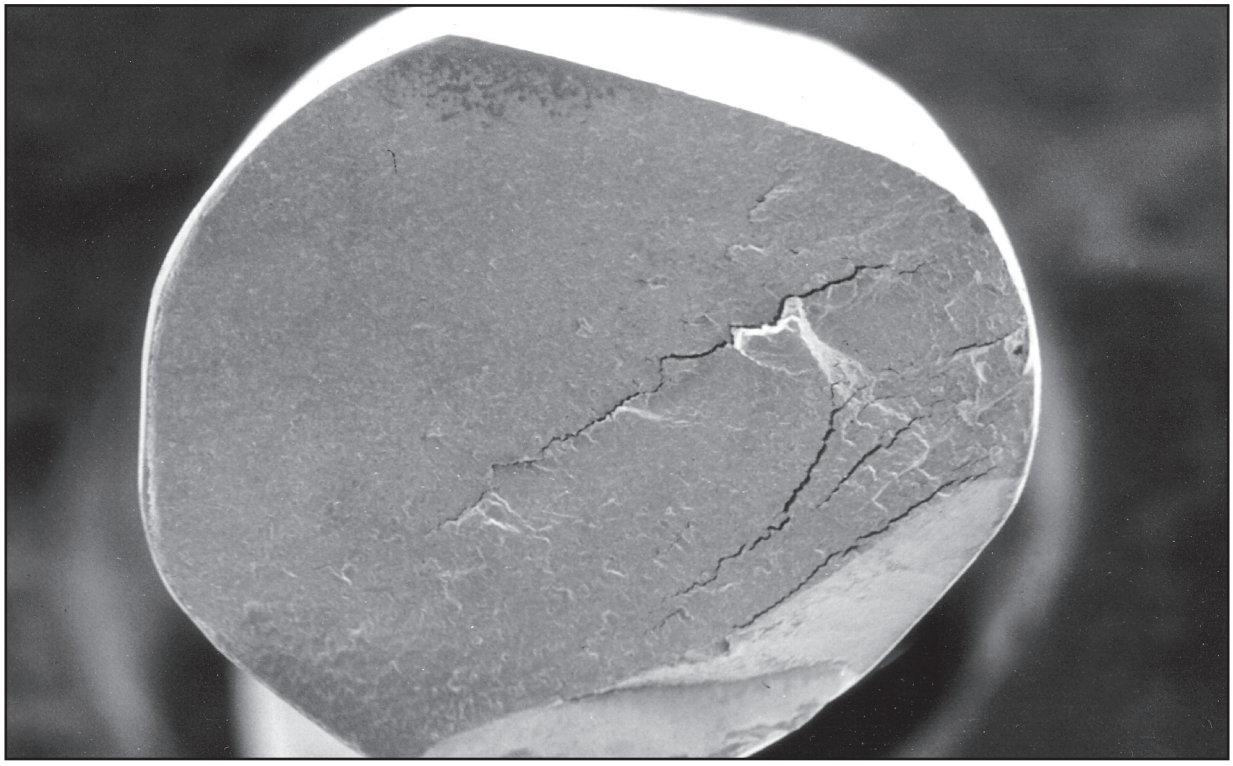


Fig. 2: Superficie de rotura de un alambre roto por fatiga a la flexión

3. Ciclos de flexión sobre una polea

Un ciclo de flexión para una determinada sección[2] de cable se define como el pasaje del estado recto al curvado y de vuelta al recto (Figura 3a) o del estado curvado al recto y de vuelta al curvado (Figura 3b). Cada vez que una sección de cable pasa por una polea, sufre un ciclo de flexión.

Fig. 3: Definición de un ciclo de flexión

Por supuesto, durante una operación típica de elevación, no todas las secciones del cable pasarán por el mismo número de poleas y por el tambor. Por lo tanto, a lo largo de la longitud del cable, éste se fatigará más en las secciones que pasan por más poleas, es decir, donde se somete a un mayor número de ciclos de flexión.

3.1. Ciclos de flexión sobre tambores acanalados de una sola capa[3]

Si una sección de cable entra y sale de un tambor monocapa acanalado, también pasará del estado recto al curvado y de nuevo al recto, es decir, según la definición, también sufrirá un ciclo de flexión.

Pero, ¿es comparable un ciclo de flexión en un tambor con un ciclo de flexión en una polea? Para un tambor de una capa acanalado, la respuesta es sí. Los ensayos y la experiencia práctica han demostrado que un ciclo de flexión en un tambor monocapa acanalado provocará la misma cantidad de fatiga en el cable que un ciclo de flexión en una polea, siempre que la fuerza de tracción y las relaciones de diámetros sean las mismas. En ambos casos, el cable se flexionará alrededor de superficies lisas y curvas de la misma geometría. Podríamos decir que el cable „no sabe“ si se dobla alrededor de una polea o de un tambor.

2 Traduciremos la palabra inglesa *section* como *tramo* o *parte* cuando se refiera a una cierta longitud de cable y como *sección* cuando se refiera a la sección transversal (*cross section*) o a una longitud muy corta asociada a una determinada sección transversal.

3 Con la palabra en inglés *layer*, el autor se refiere al conjunto de todas las espiras o vueltas de cable que están una al lado de otra, conformando una *capa* o *camada*. Así, hablaremos de *tambores de una camada* o *monocapa* y tambores de más de una camada o *tambores multicapa*, que es el tema principal de este estudio del Ing. Verreet.

3.2. Ciclos de flexión sobre tambores multicapa

Si una sección de cable entra y sale de un tambor acanalado multicapa, también pasará del estado recto al curvado y de nuevo al recto, es decir, según la definición, también sufrirá un ciclo de doblado. Pero en este caso, las condiciones son diferentes (Figura 4):

Los tramos de cable que se enrollan en la primera capa se curvarán, lo mismo que en el caso anterior, alrededor de la suave superficie del tambor, pero cuando llegue la segunda capa, se superpondrá sobre la primera, la comprimirá y la dañará en toda su parte superior.

Fig. 4: Problemas de todo tipo durante el enrollado multicapa

En la segunda y siguientes capas los cables se dañarán por todos los lados: primero se dañarán en la zona A durante el contacto con la espira[4] contigua al entrar en el tambor (Figura 5).

A continuación, se curvarán sobre una superficie áspera e irregular creada por la capa anterior de cable, lo que dañará los alambres en las zonas B1 y B2 (Figura 6).

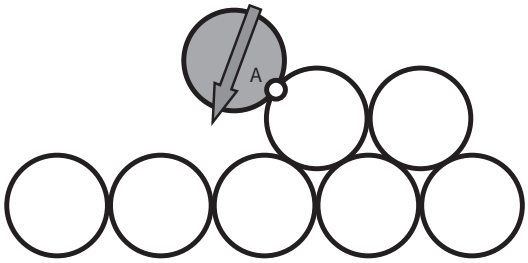


Fig. 5: Primer daño

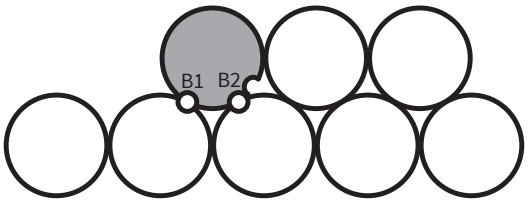


Fig. 6: Segundo daño

A continuación entrará la siguiente espira, dañando el cable en la zona C, y provocando movimientos en la sección, lo que provocará daños adicionales en las ya dañadas zonas B1 y B2 (Figura 7).

Finalmente, cuando llegue la siguiente capa dañará el cable en las zonas D1 y D2 de costado, o en la parte superior si estamos en una zona de cruce[5] (Figura 8).

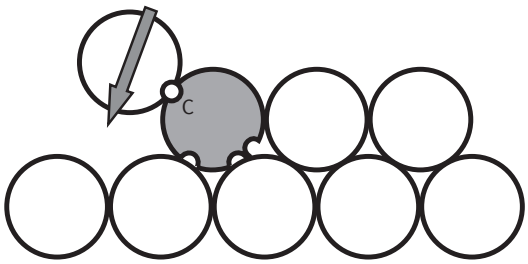


Fig. 7: Tercer daño

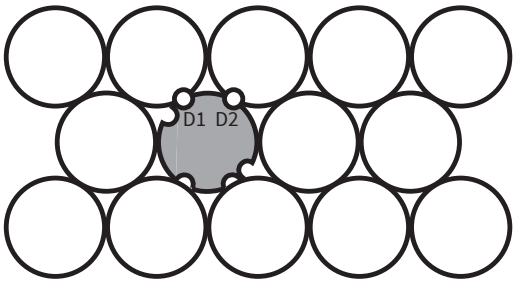


Fig. 8: Cuarto daño

Es evidente que por los mecanismos descriptos este tramo del cable se dañará mucho más que por una flexión en un tambor de una sola capa (Figura 9). Pero, ¿cuánto más?

4 La palabra *wrap* aunque literalmente es una envoltura, aquí se refiere a una única *espira* o circunferencia del cable en el tambor (ver nota 3)

5 En la literatura en castellano se usa más la expresión *puntos de cruce*. El autor usa *crossover zone*, que traduciremos como *zona de cruces* cuando se refiera a la banda del tambor o del enrollado donde se producen los cruces. Por lo demás usaremos *puntos de cruce*, que es más común. En el tambor hay sólo dos zonas de cruce, diametralmente opuestas. En cambio hay multitud de puntos de cruce, tantos como el producto de dos por la cantidad de espiras por la cantidad de camadas sin contar la primera. Todos los *puntos de cruce* están dentro de las *zonas de cruce*, de modo que a los efectos de entender el daño sobre el cable, vale tanto una expresión como la otra.

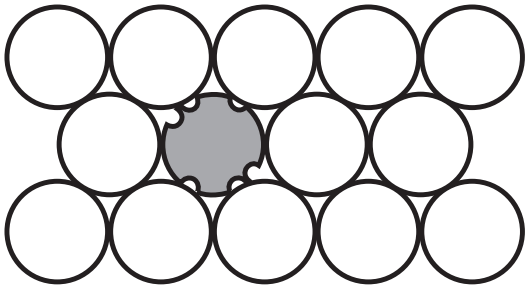


Fig. 9: Situación final

Para averiguarlo se construyeron varios bancos de ensayo en Alemania (Figura 10).

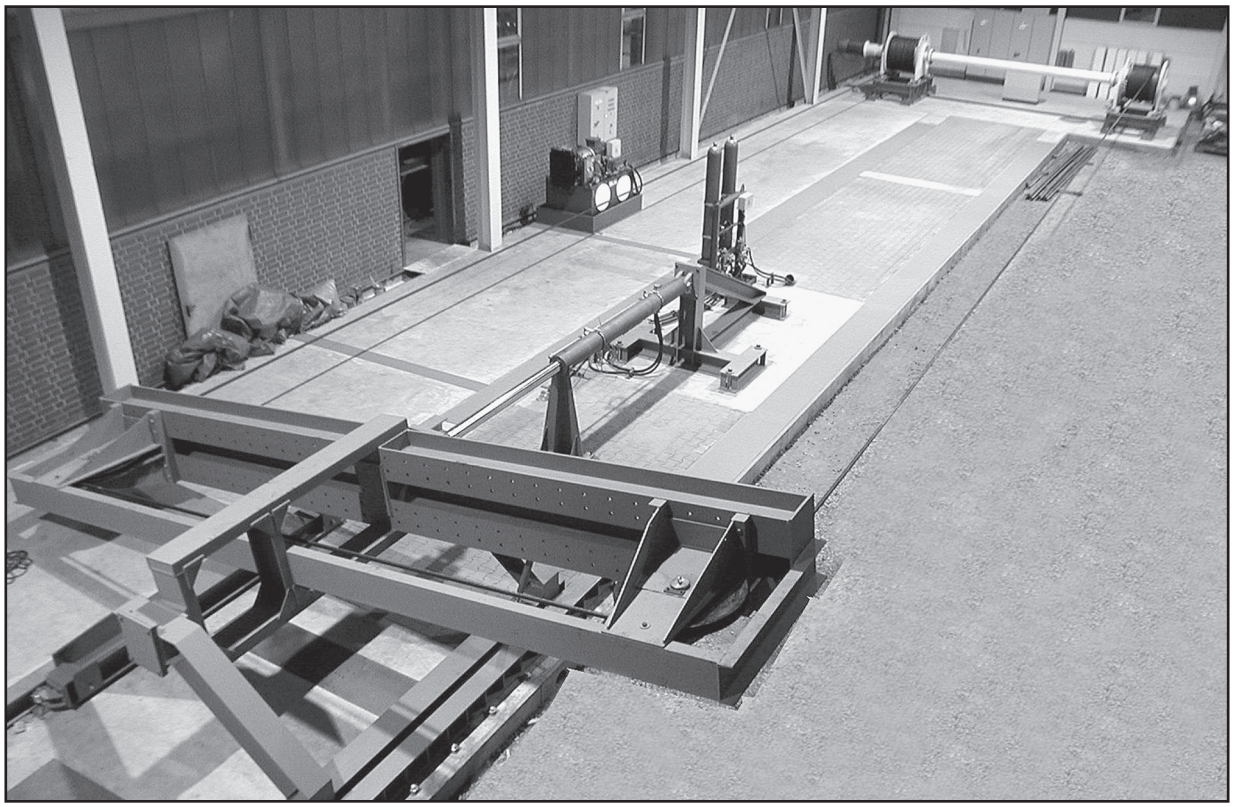


Fig. 10: Banco de prueba con tambor multicapa. En el fondo se ven dos tambores multicapa. El cable se enrolla de un tambor a otro a través de las poleas de la unidad tensora de 45 toneladas situada en primer plano. Esta unidad puede deslizarse, pivotear y variar los ángulos de desvío[6] entre el cable y los tambores

Las primeras pruebas parecen indicar que (¿sorprendentemente?) el "factor de daño por multicapa" (definido como el número de ciclos de flexión hasta el descarte en un tambor monocapa o en una polea frente al número de ciclos de flexión hasta el

6 El ángulo de desvío (*fleet angle*) es el ángulo que forma la línea o eje del cable con el plano perpendicular al eje del tambor. En el diseño de sistemas de enrollado siempre se procura tener ángulos de desvío pequeños (del orden de 1° a 2°). (NdT)

descarte en un tambor multicapa) aumenta con el aumento del factor de diseño, es decir, con la disminución de la fuerza de tracción sobre el cable[7].

Los primeros resultados muestran que, para una relación D/d de aproximadamente 25, el factor de daño por multicapa se puede aproximar con la ecuación

Factor de daño por multicapa = 2,85+0,65 • Factor de diseño del cable.

La Figura 11 muestra este factor de daño en función del factor de diseño del cable.

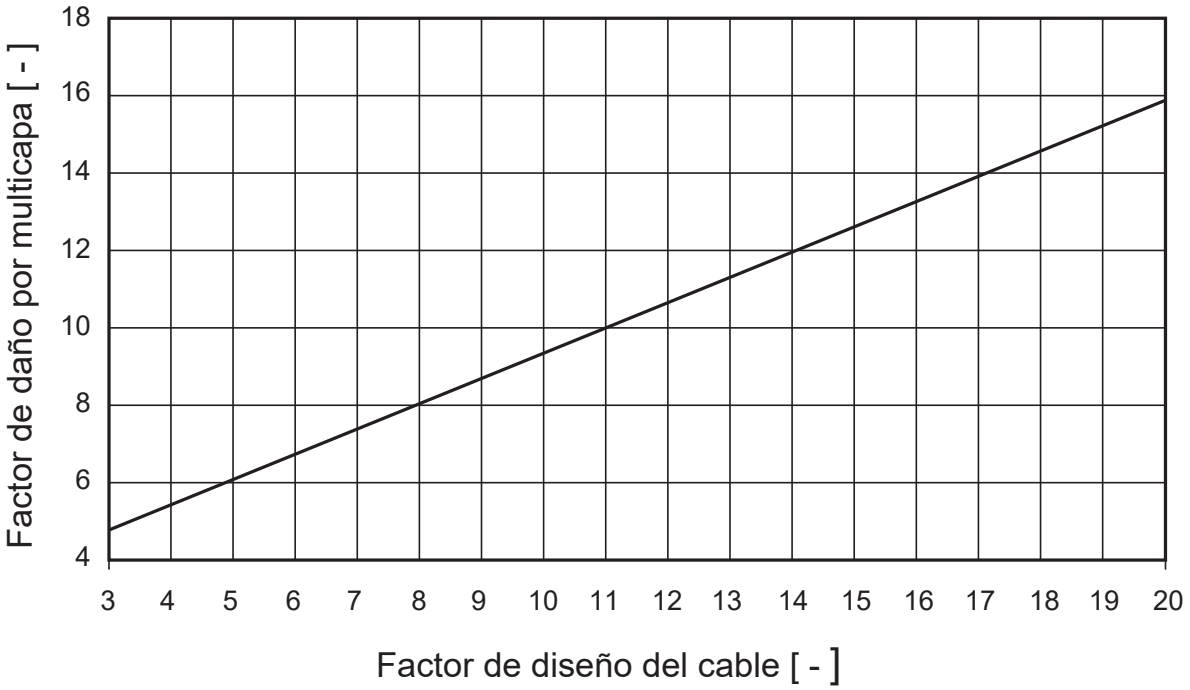


Fig. 11: Factor de daño por multicapa en función del factor de diseño del cable

4. Distribución del daño por fatiga en sistemas de enrollado con tambor monocapa

No es posible predecir la distribución de los daños por fatiga a la flexión a lo largo de un cable de izaje sin conocer sus condiciones de funcionamiento, aun en el caso de una grúa sencilla (por ejemplo con un tambor y un sistema de reenvío en cuatro líneas[8]).

7 El término usual en inglés para referirse a la relación entre la carga de rotura y la fuerza de tracción aplicada es *design factor*, que traduciremos literalmente como *factor de diseño*. Nos estamos refiriendo a lo que en español se sigue llamando *factor de seguridad*, expresión que actualmente se trata de evitar. Alguna bibliografía en castellano también le llama *factor de servicio*, pero esta última expresión, si bien sería la más correcta, da lugar a confusión con otros factores asociados a las condiciones de uso.

8 El autor usa la expresión *number of parts*, que debe ser traducida como *cantidad de líneas*. En algunos países se usa *cantidad de partes*, traducción literal del inglés que a menudo lleva a confusiones. Como sea, el autor se refiere a la cantidad de secciones de cable que soportan la carga. Por ejemplo *cuatro líneas* son las que aparecen normalmente arriba de una pasteca de dos poleas.

Supongamos que la grúa toma una carga en la posición más baja del gancho (Figura 12a), la eleva hasta la posición más alta del gancho (Figura 12b) y luego la baja de nuevo a la posición inicial (las flexiones invertidas en la Figura 12 son sólo para claridad del dibujo). Esta acción creará una distribución de la fatiga por flexión como se muestra en la Figura 13.

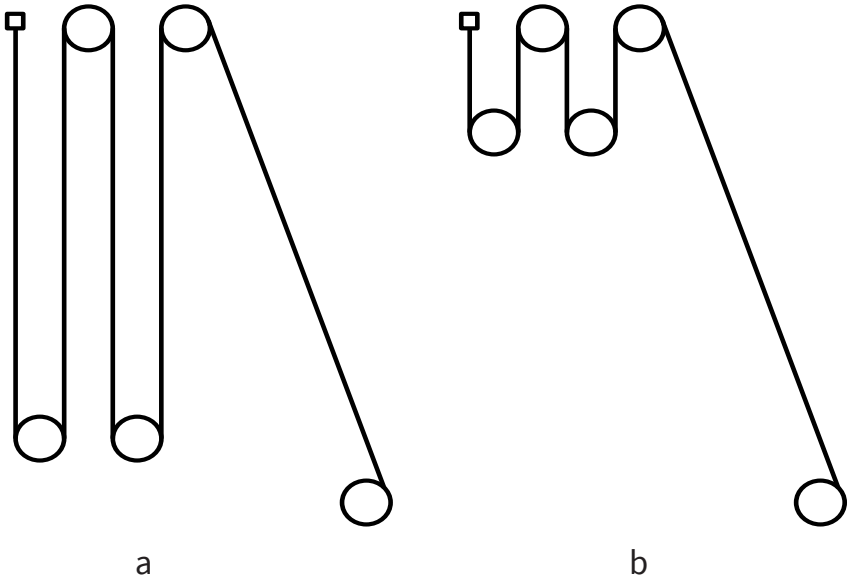


Fig. 12: Configuración de la grúa, posición inferior (a) y superior (b) del gancho

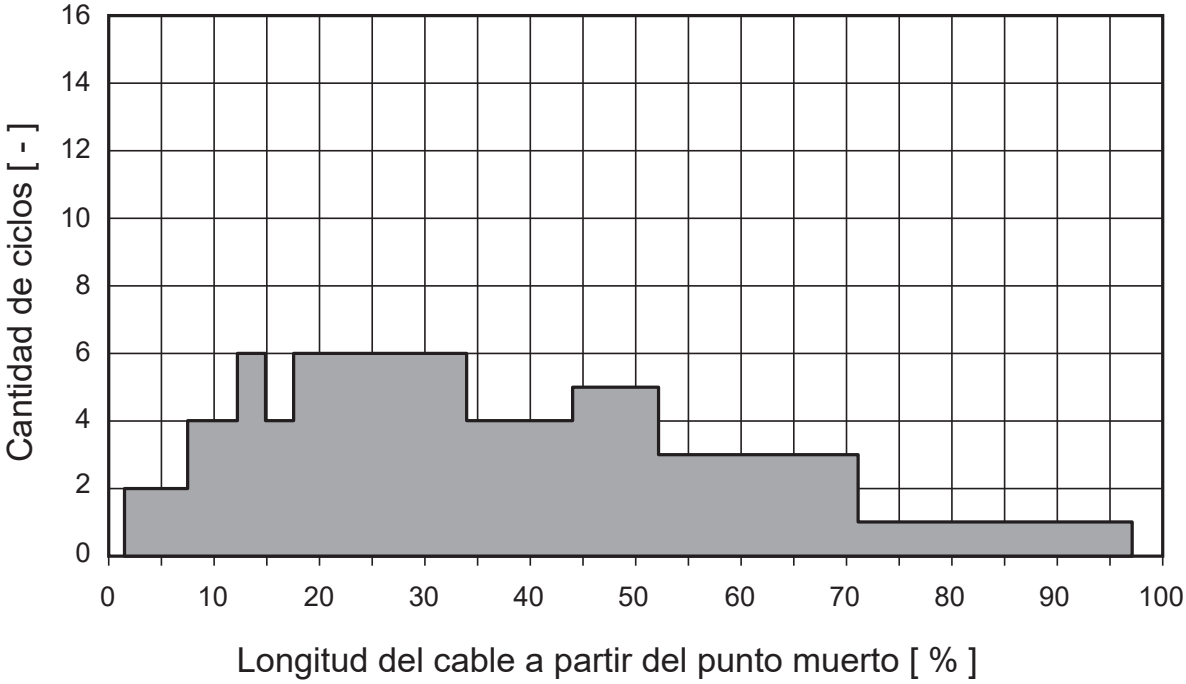


Fig. 13: Distribución de la fatiga sobre la longitud del cable (tambor monocapa)

El mayor daño por fatiga no se produce en la línea viva, que es el tramo más rápido del cable que va directamente al tambor, sino en el extremo opuesto: Se acumula en las líneas más lentas que permanecen en el sistema de reenvíos y nunca llegan al tambor.

Si la misma grúa eleva cargas a distintas alturas de forma aleatoria, la distribución de los daños por fatiga por flexión podría ser completamente diferente. El máximo daño será difícil de localizar pero, igual que antes, normalmente no estará en un tramo de cable que llegue al tambor.

5. Distribución del daño por fatiga en sistemas de enrollado con tambor multicapa

Si la misma grúa del punto anterior tiene un tambor multicapa, cada flexión en el tambor será entre 4 y 40 veces más perjudicial para la vida del cable que en un tambor de una sola capa o en una polea. Al sumar los daños causados por los ciclos de flexión, cada flexión en el tambor tendrá que multiplicarse por el factor de daño por multicapa, lo que cambiará completamente la distribución de los daños.

Como ejemplo, la Figura 14 muestra la distribución de daños de la grúa anterior para un factor de daño multicapa de 10. Como podemos ver, ahora la zona con mayor cantidad de daños está sobre la parte del cable que se enrolla en el tambor.

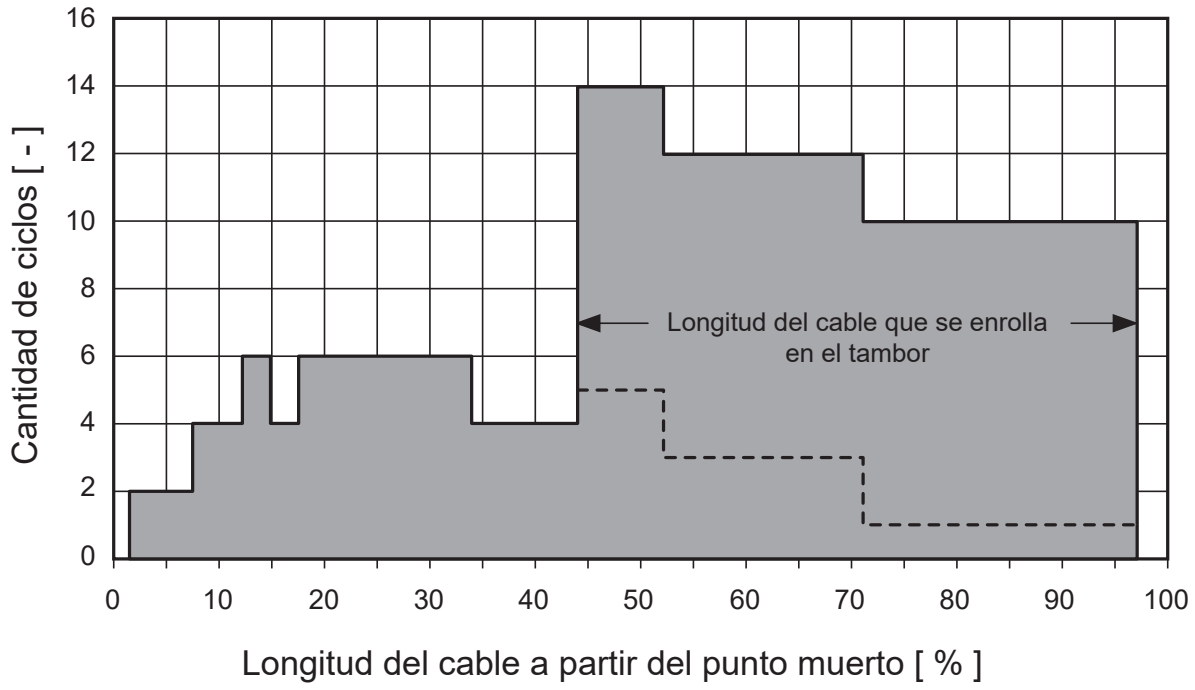


Fig. 14: Distribución de la fatiga sobre la longitud del cable (tambor multicapa)

6. Enrollamiento multicapa en tambores helicoidales

En los tambores helicoidales, se pretende que los cables de acero se enrollen de un ala[9] a la otra en una hélice perfecta, suban a la segunda capa y vuelvan a enrollarse en una hélice perfecta (Fig. 15).

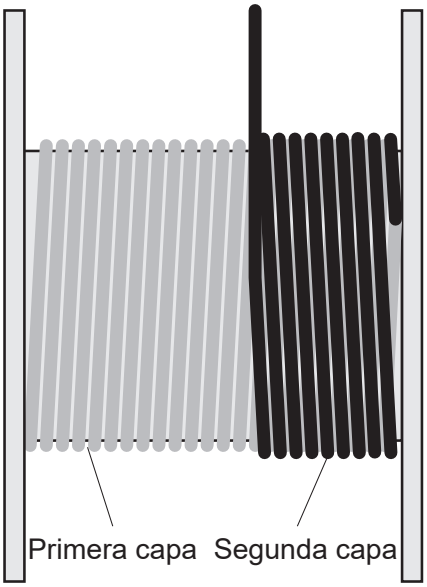


Fig. 15: Tambor helicoidal, comportamiento teórico del enrollado

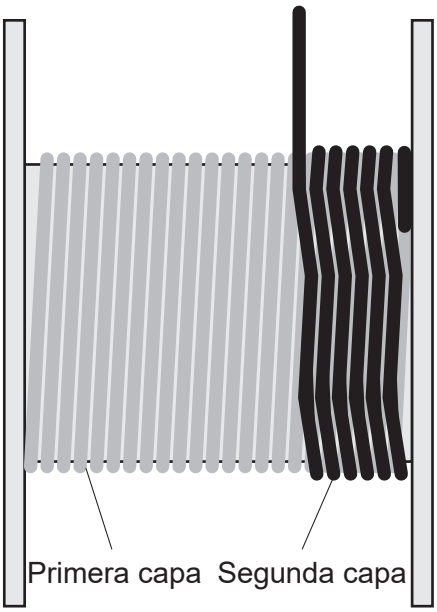


Fig. 16: Tambor helicoidal, comportamiento real del enrollado

El cable de acero, sin embargo, se comportará de forma completamente diferente (Figura 16): Después de haber pasado de un ala a otra, llenando así una capa, el cable subirá a la posición de la segunda capa y se alejará del ala apenas una corta distancia. Pasará por encima de una espira de la primera capa, luego caerá en el hueco entre dos espiras adyacentes y seguirá el lecho formado por esas dos espiras de la primera capa (o sea yendo en dirección contraria a la deseada). A continuación, chocará violentamente contra la siguiente espira que está subiendo a la segunda capa y será golpeado lateralmente. Después de cruzar otra espira, volverá a caer en un espacio entre otras dos espiras de la primera capa, y el proceso volverá a empezar.

9 Usaremos ala para designar lo que en inglés es flange. También puede decirse tapa o brida del tambor.

De este modo, el cable se moverá en zigzag alrededor del núcleo del tambor, y en cada vuelta del tambor:

- será golpeado y desplazado hacia el costado en 1 diámetro de cable (= -1 d),[10]
- se enrollará en una hélice errónea el equivalente de ½ diámetro (= +1/2 d),
- será golpeado y desplazado hacia el costado en 1 diámetro de cable (= -1 d), y
- se enrollará en una hélice errónea el equivalente de ½ diámetro (= +1/2 d).

Ahora sumemos esos desplazamientos:

$$- 1\ d + 1/2\ d - 1\ d + 1/2\ d = - 1d\ !!!$$

¡Esto significa que en cada revolución del tambor el cable realmente se enrolla hacia atrás, como debe ser, una distancia de un diámetro! Pero… ¿no lo podría hacer de un modo un poco mejor?

7. Enrollamiento multicapa en tambores Lebus

Lebus[11] mejoró enormemente el enrollado al eliminar la hélice en la primera capa.

En los tambores Lebus, el cable comienza enrollándose paralelo al ala del tambor y en seguida es guiado lateralmente avanzando medio diámetro de cable (Figura 17). A continuación, se vuelve a enrollar en paralelo al ala, hasta que nuevamente es guiado lateralmente avanzando medio diámetro de cable (exactamente en el punto diametralmente opuesto al del primer evento).

De este modo, el cable de la primera capa, en cada vuelta del tambor:

- se enrollará paralelo al ala (= ±0 d),
- será guiado y desplazado hacia el costado en 1/2 diámetro de cable (= +1/2 d),
- se enrollará paralelo al ala (= ±0 d), y
- será guiado y desplazado hacia el costado en 1/2 diámetro de cable (= +1/2 d)

Ahora sumemos esos desplazamientos:

$$\pm 0\ d + 1/2\ d \pm 0\ d + 1/2\ d = + 1\ d\ !!!$$

10 Los desplazamientos que el autor menciona (1 diámetro, ½ diámetro, etc.) son los avances y retrocesos del cable durante el enrollamiento, en la dirección del eje longitudinal del tambor. Son positivos cuando van en el sentido en que enrolla la primera camada (y las impares), y son negativos (“hacia atrás”) cuando van en el sentido en que enrolla la segunda camada (y las pares).

11 Al igual que todo el mundo, el autor llama tambor Lebus al tambor de guía paralela. Lebus es marca registrada de Lebus Intl, empresa especialista en guinches y sistemas de enrollamiento de cable. Su invento del tambor de guía paralela revolucionó la industria y perduró a tal punto que se lo sigue denominando “tambor Lebus”, aunque la patente de 1950 ya no tiene vigencia y muchos otros fabricantes han copiado el diseño.

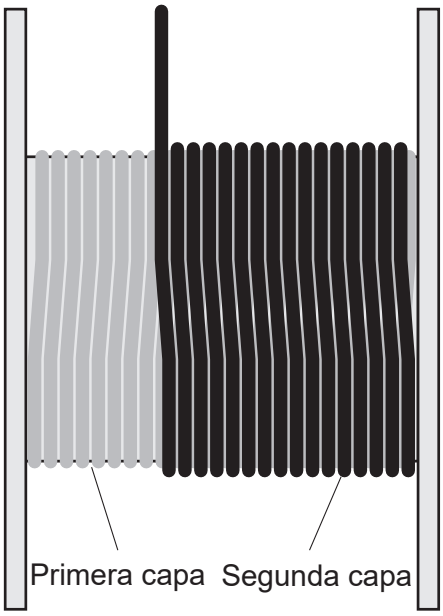


Fig. 17: Tambor Lebus

¡Entonces, en cada revolución del tambor el cable realmente se enrolla avanzando una distancia de un diámetro! La verdadera ventaja se muestra en la segunda y siguientes capas.

Una vez que sube a la segunda capa, el cable se enrollará paralelo al ala hasta que cruce sobre la última espira de la primera capa, exactamente en el punto donde ésta se había desplazado medio diámetro hacia el ala.

Después de cruzar esta espira, el cable caerá del otro lado (desplazándose otro medio diámetro). Y la historia se repetirá con cada media vuelta del tambor.

De este modo, el cable de la segunda capa, en cada vuelta del tambor:

- se enrollará paralelo al ala (= ±0 d),
- será empujado y desplazado hacia el costado en 1/2 diámetro de cable (= -1/2 d),
- se enrollará paralelo al ala (= ±0 d), y
- será empujado y desplazado hacia el costado en 1/2 diámetro de cable (= -1/2 d)

Sumemos nuevamente los desplazamientos:

$$\pm 0\,d - 1/2\,d \pm 0\,d - 1/2\,d = -1\,d\,!!!$$

Entonces, en cada revolución del tambor el cable retrocede realmente un diámetro de cable, lo mismo que antes. ¿Pero cuál es la diferencia con el tambor helicoidal? Allí, en la segunda capa, el cable también fue repetidamente empujado hacia el costado.

La diferencia se ve en los dibujos: En el tambor helicoidal, cada vez que el cable se desplaza hacia un lado lo hace en un diámetro de cable completo. En el tambor Lebus el desplazamiento es sólo de medio diámetro, la capa de abajo hace la segunda mitad.

Las zonas en las que el cable se desplaza lateralmente se denominan zonas de cruce, porque aquí el cable cruza por encima de una envoltura de la capa anterior. La Figura 18 muestra un cable saliendo o entrando en la zona paralela del tambor Lebus. La Figura 19 muestra el cable saliendo o entrando en la zona de cruce.

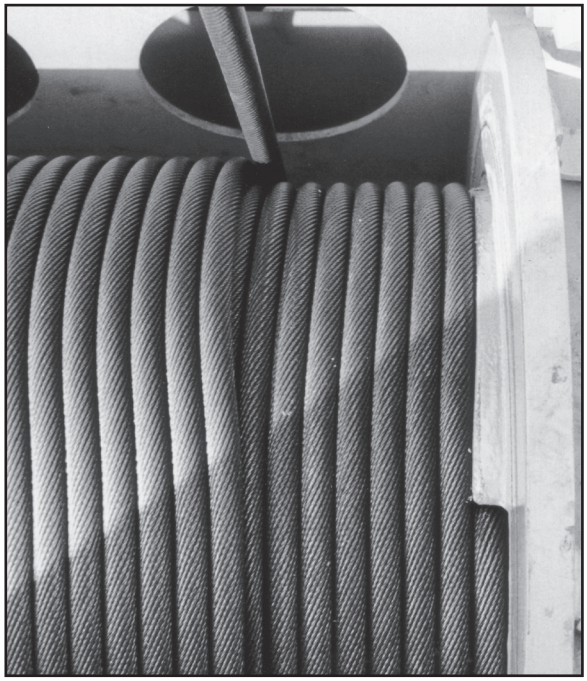


Fig. 18: Tambor Lebus, cable enrollándose en la zona paralela

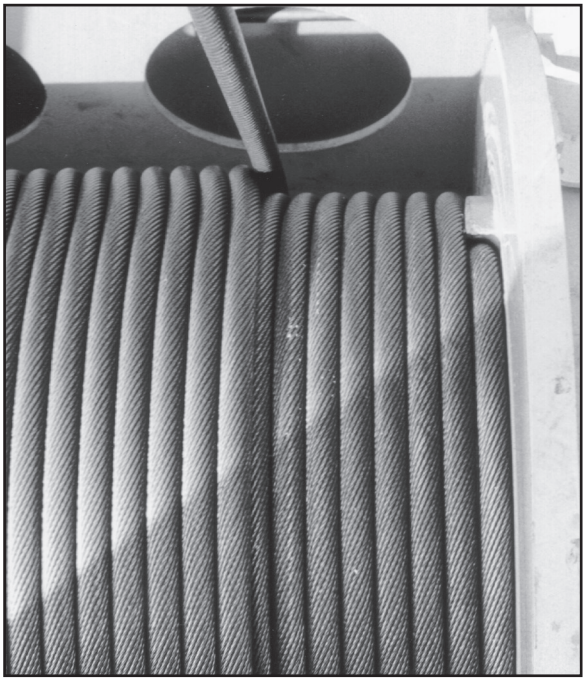


Fig. 19: Tambor Lebus, cable enrollándose en la zona de cruce

8. Influencia de la relación D/d

La influencia de la relación D/d (relación entre el diámetro del tambor y el diámetro nominal del cable) en el daño del cable aún no se ha ensayado en laboratorio. Sin embargo, la experiencia práctica indica que los daños aumentan considerablemente al disminuir la relación D/d. Dada la rigidez a la flexión de los cables de acero, deberían evitarse por todos los medios relaciones D/d inferiores a 20, especialmente si existe la posibilidad de que el cable se enrolle en las capas inferiores con poca tensión.

La Figura 20 muestra un tambor de dos capas con una relación D/d pequeña. La anchura del tambor provoca severos ángulos de desvío, que resultan en un mal enrollado.

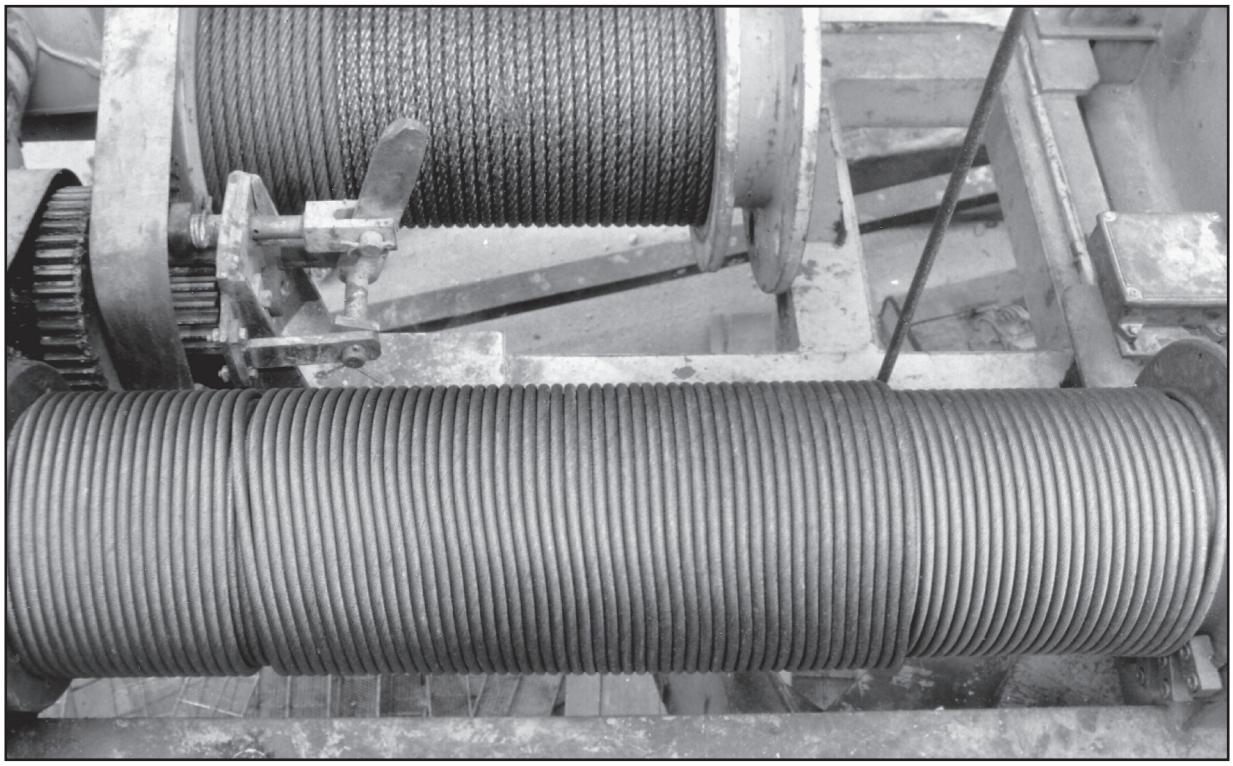


Fig. 20: La peor solución: Pequeño diámetro, gran ancho

La Figura 21 muestra una grúa moderna con tambores de varias capas. La relación D/d en la primera capa es de aproximadamente 20.

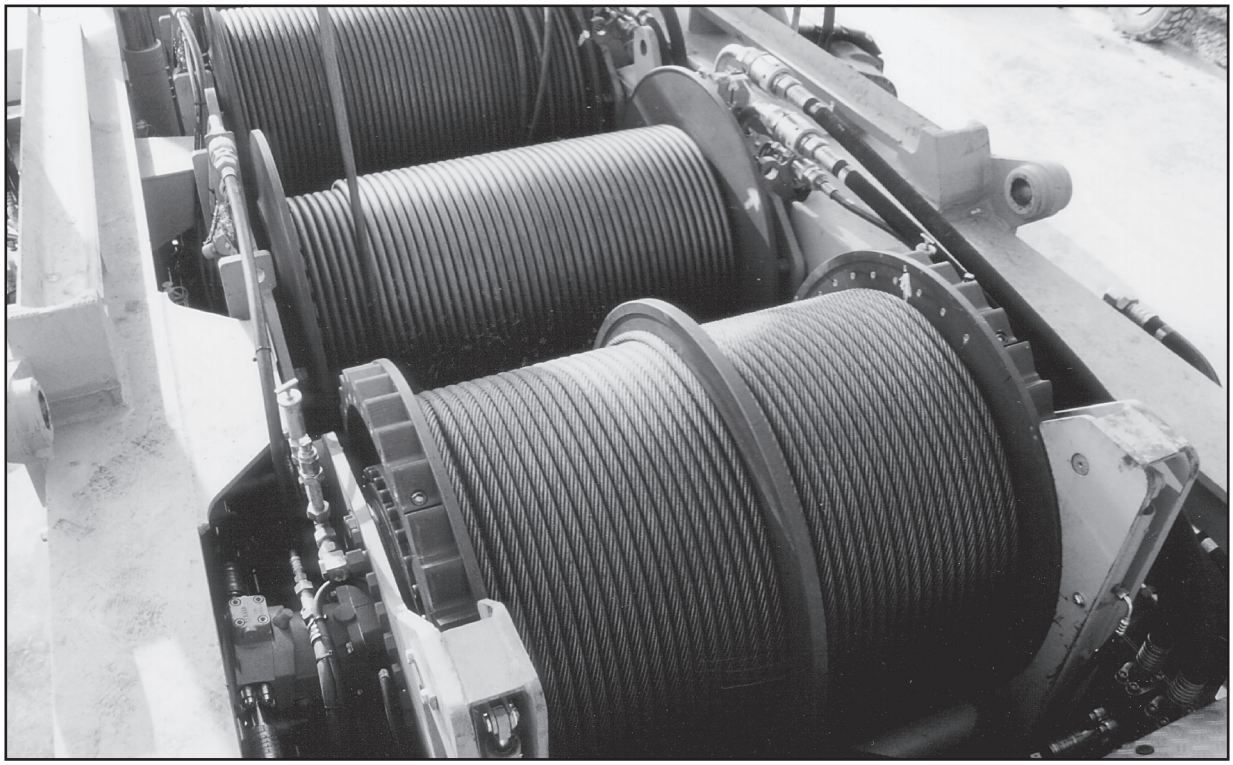


Fig. 21: Las grúas modernas trabajan con relaciones D/d entre 20 y 30

La Figura 22 muestra al autor delante de una instalación de bobinado de doble tambor en Sudáfrica. Las relaciones D/d superiores a 100 reducen considerablemente los daños causados por el enrollado multicapa. También permiten alcanzar velocidades de cable muy elevadas.

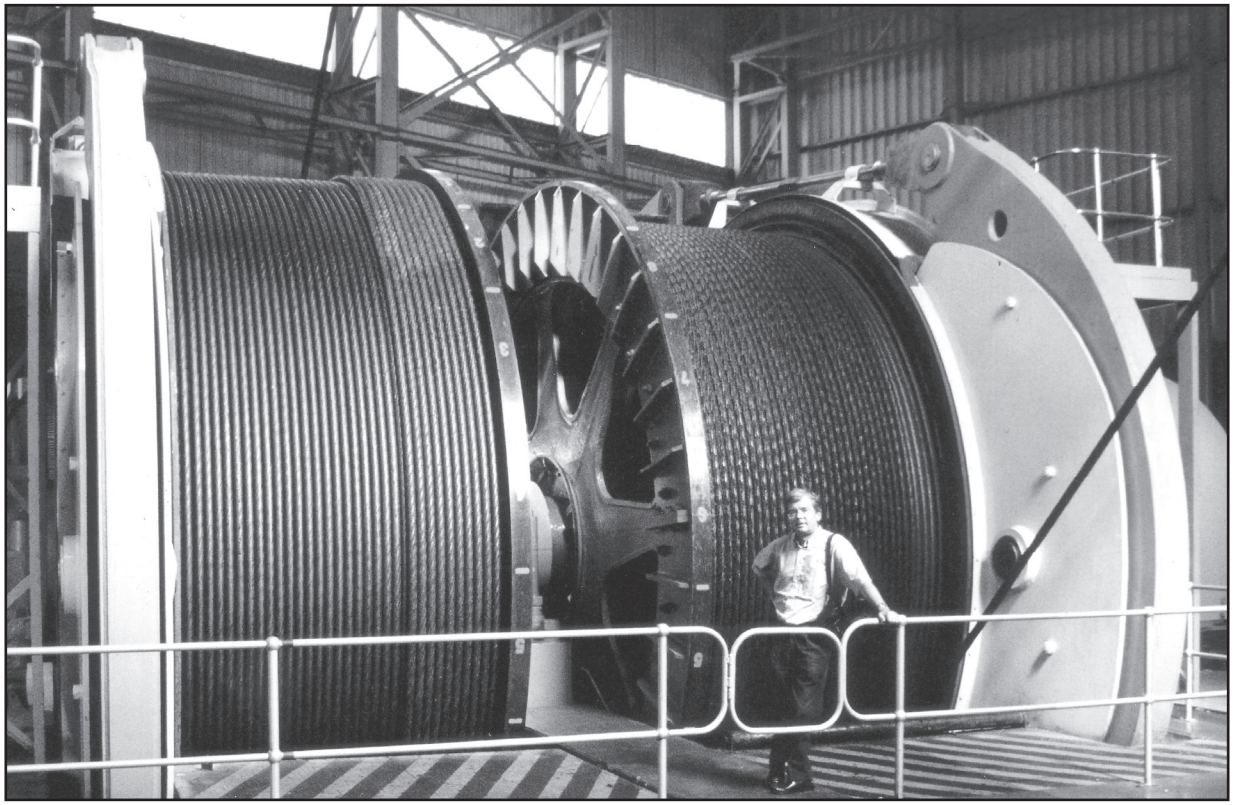


Fig. 22: Los tambores del sistema de elevación en minas tienen relaciones D/d superiores a 100

9. Influencia de la tensión del cable

Si las capas inferiores no han sido enrolladas en el tambor bajo una fuerte tensión, el cable entrante podrá desplazarlas y deslizarse hacia abajo penetrando entre ellas, provocando graves daños en todo el cable.

Este efecto es especialmente pronunciado en los tambores multicapa lisos (no acanalados). La Figura 23 muestra la pirámide de fuerzas de un tambor liso. Si las capas inferiores no están suficientemente tensadas, la sección de cable entrante se deslizará a lo largo de la circunferencia del tambor (intentando tensar las espiras vecinas anteriores) y al mismo tiempo tenderá a introducirse entre dos vueltas de la capa de abajo (Figura 24).

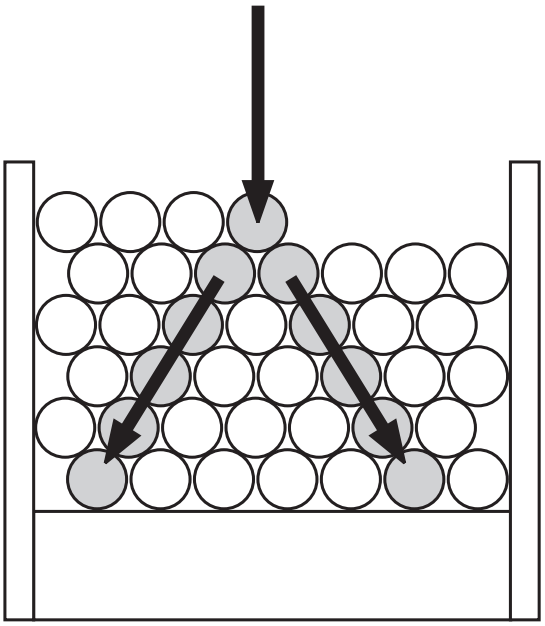


Fig. 23: Pirámide de fuerzas en un tambor liso

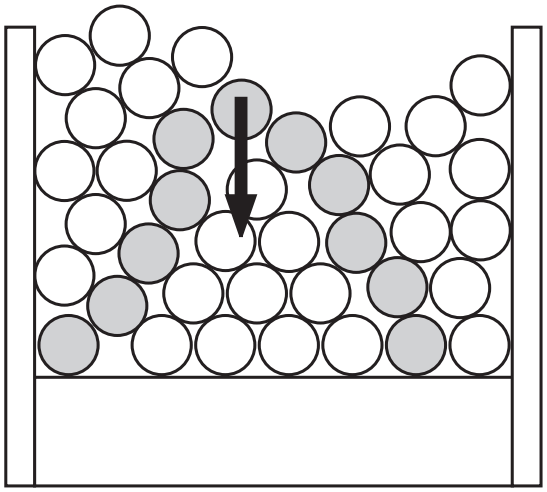


Fig. 24: La pirámide colapsa y el cable entrante abre y penetra las capas inferiores

El operador de la grúa no siempre se da cuenta de que el cable se ha introducido en las capas más profundas del tambor. Puede que simplemente enrolle una o dos capas de cable adicionales, encubriendo así el problema, y gire la grúa y comience a bajar la carga. La sección de cable metida entre las capas inferiores podría entonces actuar como un nuevo punto fijo: podría trabarse y no salir del tambor. Cuando el tambor siga girando, el movimiento descendente de la carga se invertirá bruscamente en un movimiento ascendente, lo que provocará una fuerte carga dinámica que dañará gravemente el cable e incluso podría romperlo.[12]

La pirámide de fuerzas correcta es como se ve en la Figura 28: Aquí el tambor es acanalado para estabilizar la primera capa, los espacios vacíos en las alas están llenados con un elevador que ayuda a que el cable suba de la primera a la segunda capa y las capas inferiores están enrolladas con tensión.

12 El efecto descripto por el autor ha podido verse también en los equipos de torre de pozos petroleros, con el cable llamado de pistoneo o sand line, que tiene un enrollamiento multicapa, a menudo poco cuidado. (NdT)

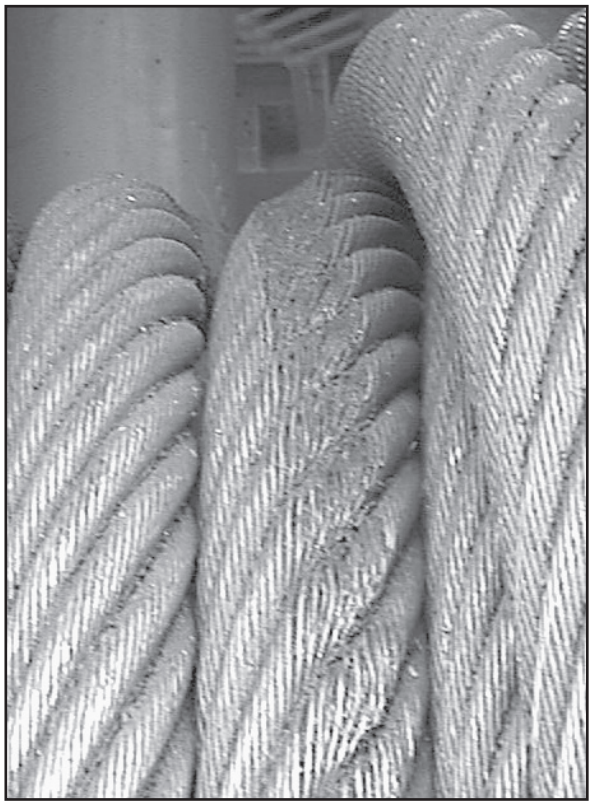


Fig. 25: El fuerte movimiento relativo destruyó el cable ya en el primer izaje

Fig. 26: Consecuencias de un cable trabado (penetrando las capas inferiores)

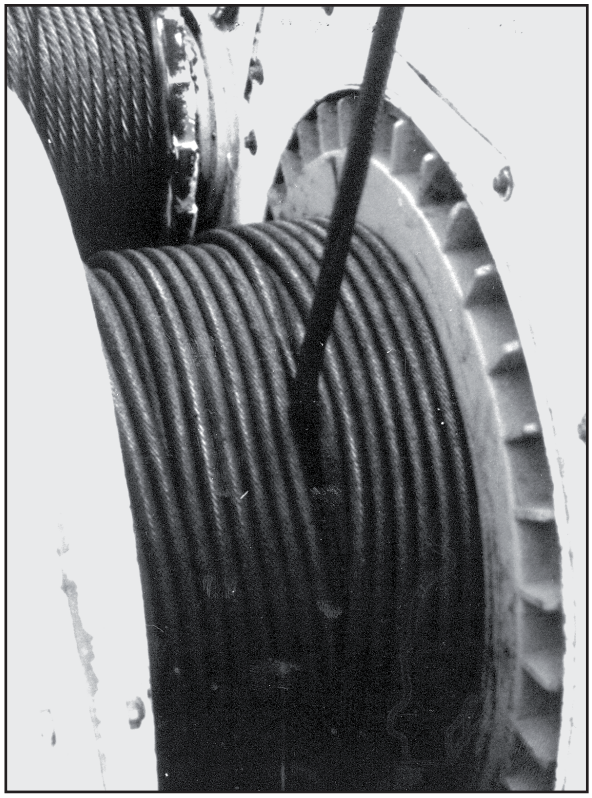


Fig. 27: Cable trabado

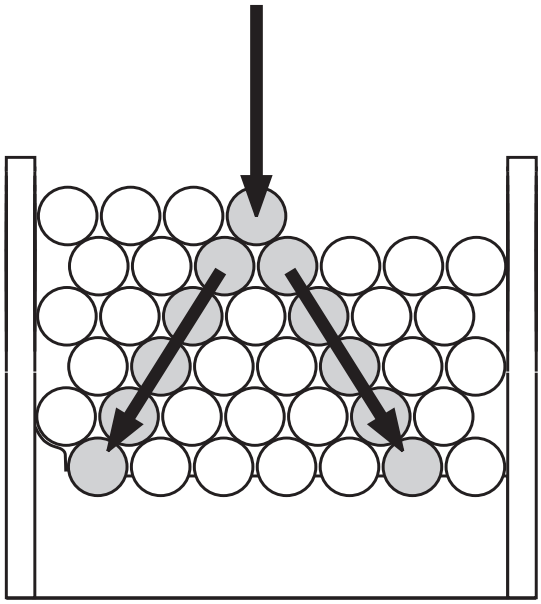


Fig. 28: Disposición correcta del tambor

10. Influencia de la tolerancia del diámetro del cable

En toda la primera capa y en los sectores paralelos de las capas consecutivas, el cable será guiado por la canaleta del tambor o por los tramos de cable paralelos situados por debajo, independientemente de su tolerancia de diámetro. En las zonas de cruce, sin embargo, será guiado (empujado) únicamente por la espira contigua. Si el diámetro del cable coincide con el paso del tambor, los cruces en la superficie del tambor se producirán en una banda paralela al eje del tambor (Figura 29).

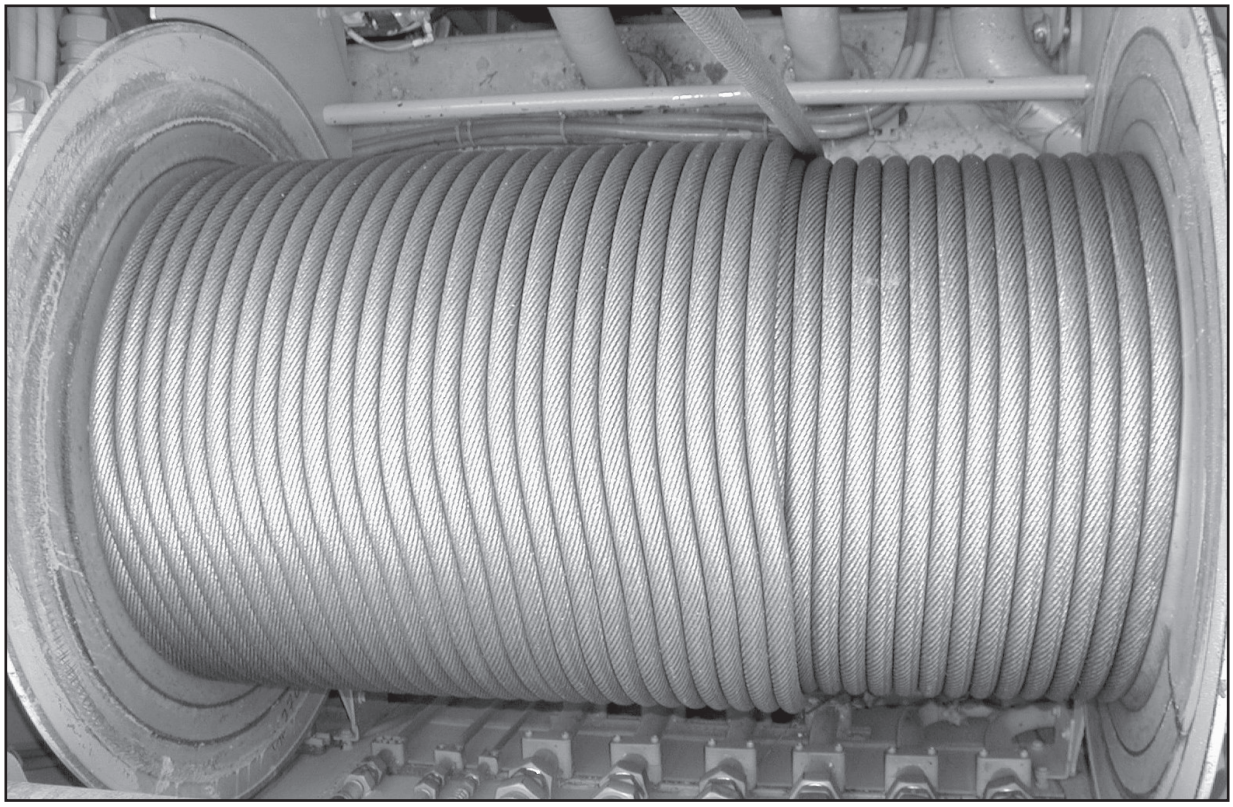


Fig. 29: El diámetro del cable es correcto. La zona de cruce es paralela al eje del tambor.

En cambio, si el diámetro del cable es más pequeño, la segunda espira se enrollará un poco más de lo previsto antes de ser empujada por la primera espira. La tercera espira volverá a enrollarse un poco más antes de ser empujada por la segunda, etc., dando lugar a una zona de cruce inclinada (Figuras 30 y 31). La siguiente capa no aceptará los puntos de cruce definidos por la anterior, lo que provocará desplazamientos del cable y graves daños en esta zona.

Si, por el contrario, el diámetro del cable es demasiado grande, la segunda espira será empujada por la primera espira un poco antes de lo previsto. La tercera espira volverá a ser empujada demasiado pronto por la segunda, etc., lo que dará lugar nuevamente a una zona de cruce inclinada, pero en sentido contrario.

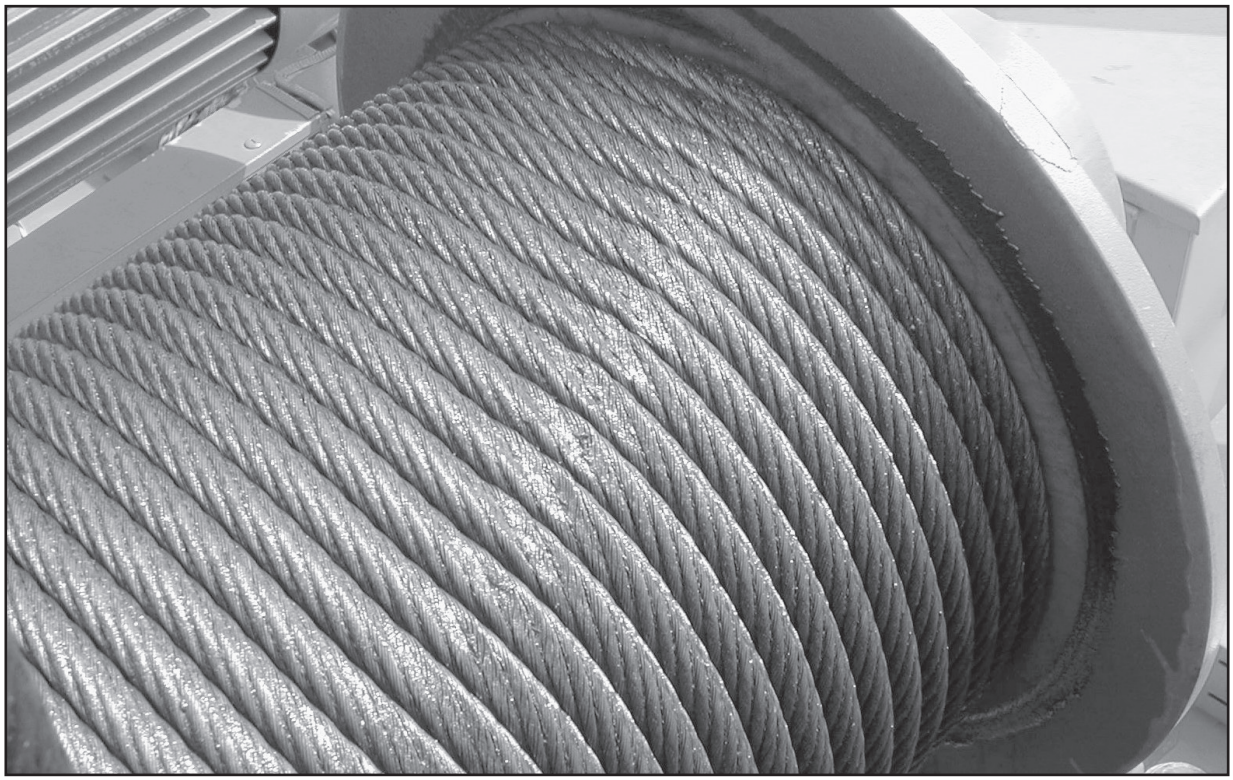


Fig. 30: El diámetro del cable es demasiado pequeño. La zona de cruce está inclinada con respecto al eje del tambor, causando un severo daño al cable

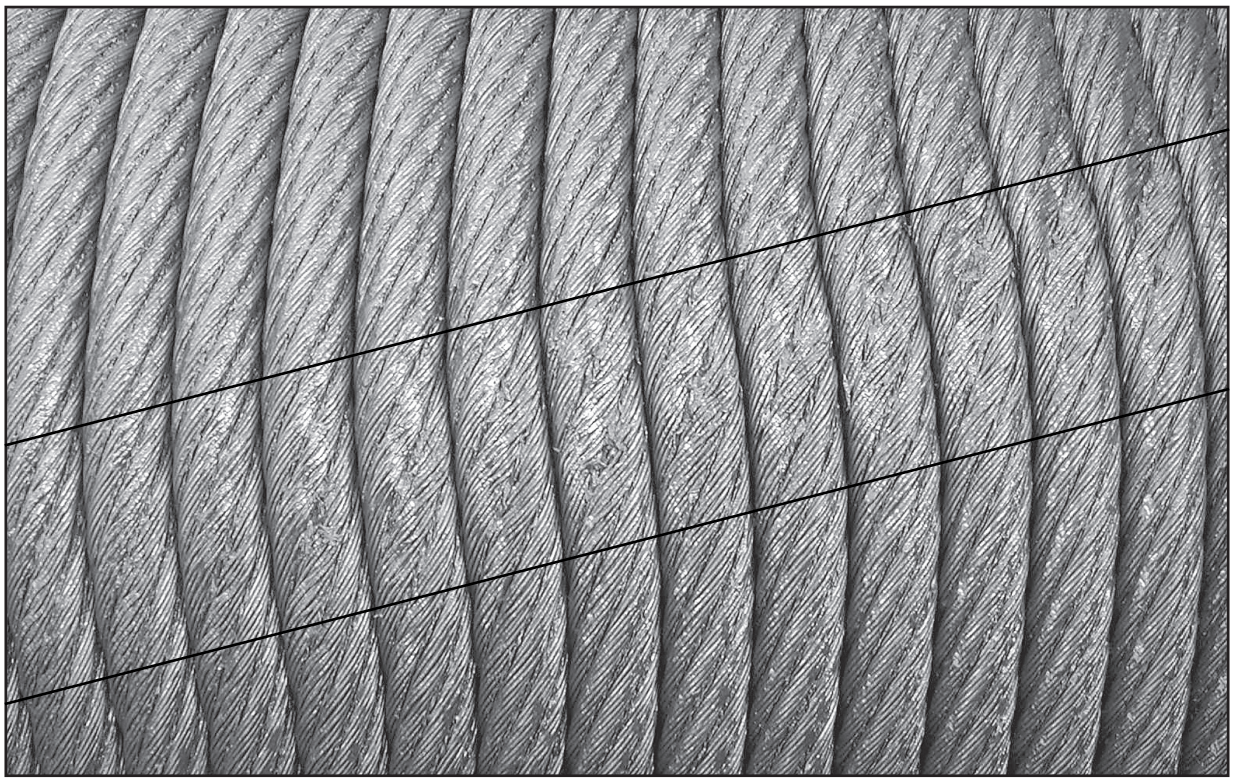


Fig. 31: Daño producido por un soporte inestable (las zonas de cruce no son más paralelas al eje del tambor)

El rango normal de las tolerancias en el diámetro del cable de acero es un 5%. Por ejemplo, ISO permite diámetros desde -1% hasta +4% del nominal. Sin embargo, para un enrollado multicapa adecuado, este rango debe ser reducido a más o menos un 2%. El paso de tambor que usa Lebus[13] está dado por:

Paso de tambor = 1.01 • Diámetro nominal del cable.

El rango de tolerancia para el diámetro del cable se limita al 2% (de +2% a +4% del nominal).

11. Remedio 1: Cambiar los puntos de cruce

Como ya se ha dicho, aun con diámetros de cable correctos y utilizando diseños de tambor sofisticados, el cable de acero tendrá que ser empujado lateralmente por la espira vecina dos veces con cada vuelta del tambor. Esto provocará inevitablemente daños en el cable de acero.

Y la mala noticia es que dicho daño está muy concentrado en los puntos de cruce.

La Figura 32 muestra un tramo típico tomado de la zona de cruce (zona A de la Figura 5) de un cable ensayado en el banco de prueba multicapa.

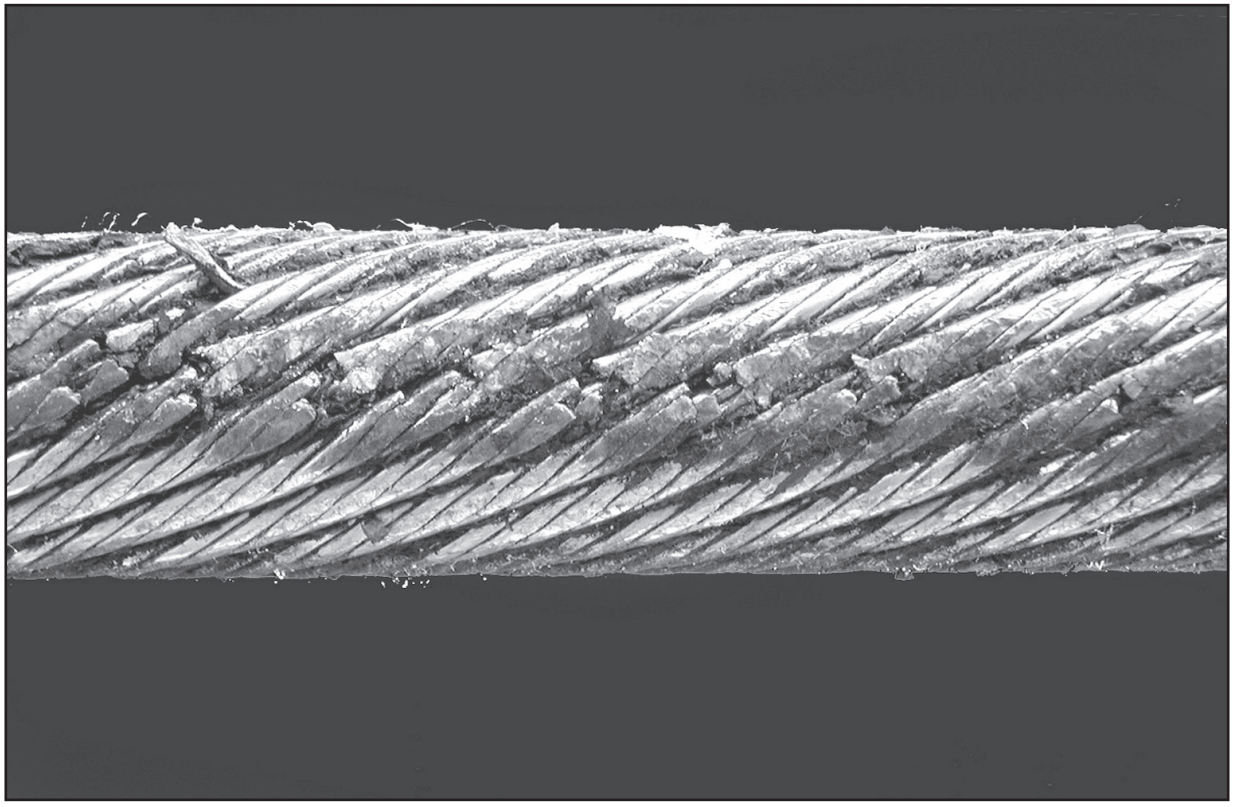


Fig. 32: Daño típico del cable en los puntos de cruce

13 Aquí el autor se refiere no al diseño comúnmente conocido como Lebus, sino al diseño actual del fabricante concreto Lebus International Engineers (Alemania)

La buena noticia, sin embargo, es que el daño tiene un patrón periódico: siempre tendremos un tramo corto dañado, seguido de un tramo largo no dañado, seguido de un tramo corto dañado, etc. .... Y eso nos da la posibilidad de repartir el daño cortando una sección de cable un poco más larga que la longitud de la zona dañada en el extremo del cable del tambor mucho antes de que se alcance el estado de descarte del cable (ver la Figura 33).

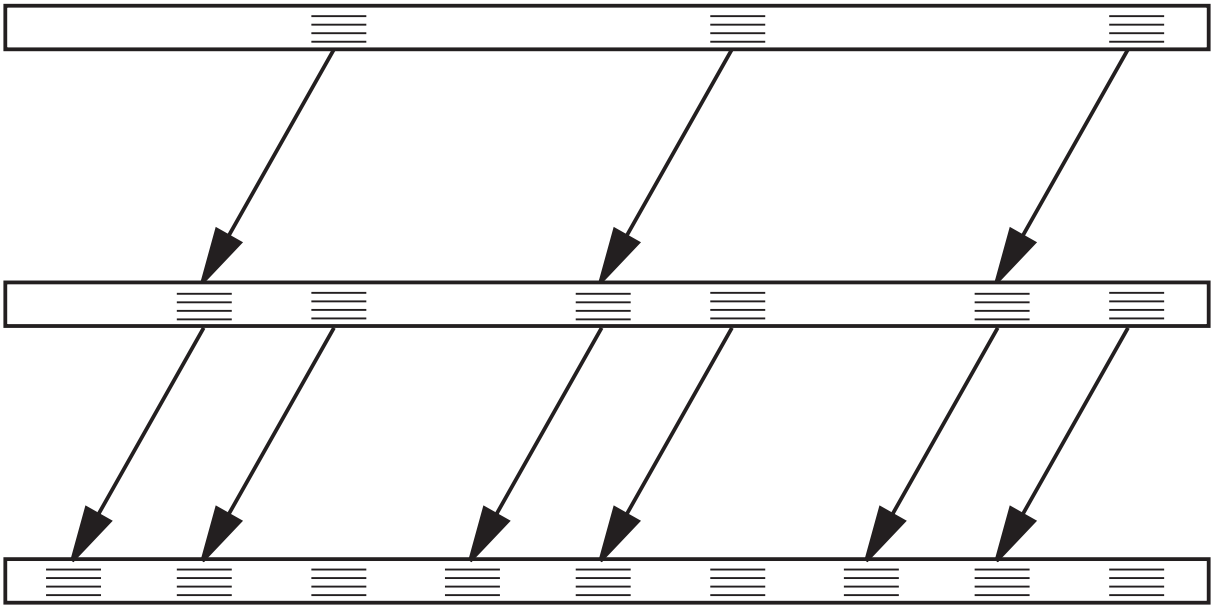


Fig. 33: Corriendo las zonas dañadas en el tambor

Esta acción desplazará todos los tramos de cable dañados fuera de las zonas de cruce dañinas del tambor a lugares más confortables en las zonas paralelas. En cambio, los tramos de cable relativamente no dañados se desplazarán a las zonas de cruce. Esta maniobra puede fácilmente duplicar o incluso triplicar la vida útil del cable de acero.

12. Remedio 2: Ayudas para el enrollado

Como se explicó anteriormente, en los tambores multicapa el cable se destruye al enrollarse por el contacto contra las espiras de cable adyacentes. Un dispositivo auxiliar de guía puede ayudar al cable a enrollarse y evitar que choque constantemente con las espiras vecinas.

Sin embargo, debe asegurarse que el dispositivo guía cable esté calibrado para el diámetro efectivo del cable. Un dispositivo mal calibrado podría hacer lo contrario de lo que se supone que debe hacer: podría guiar constantemente el cable entrante contra su espira vecina y destruir el cable en muy poco tiempo.

¡Y no olvidemos que el diámetro del cable de acero se reduce con el tiempo!

13. Soluciones con el cable

Hemos visto que durante el aplastamiento en el tambor, el cable de acero no es dañado por otros objetos. No, ¡el cable se destruye al golpearse constantemente a sí mismo! El bobinado en un tambor de varias capas es un martilleo constante de una superficie irregular del cable contra otra superficie irregular del mismo cable. El aplastamiento en el tambor es realmente el equivalente al suicidio del cable de acero.

¿Cómo podemos evitar esta autodestrucción?

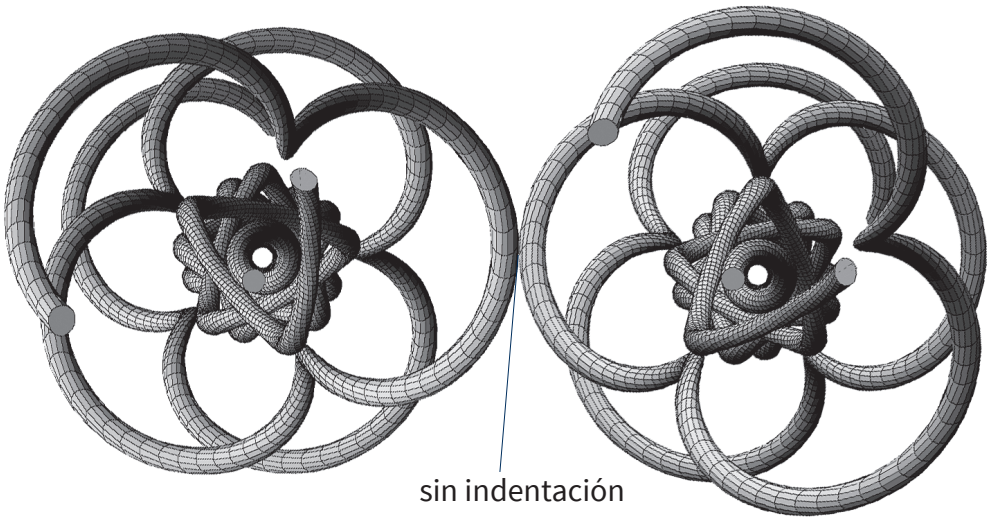


Fig. 34: Alambres exteriores de los cables de torsión Lang no presentan indentación

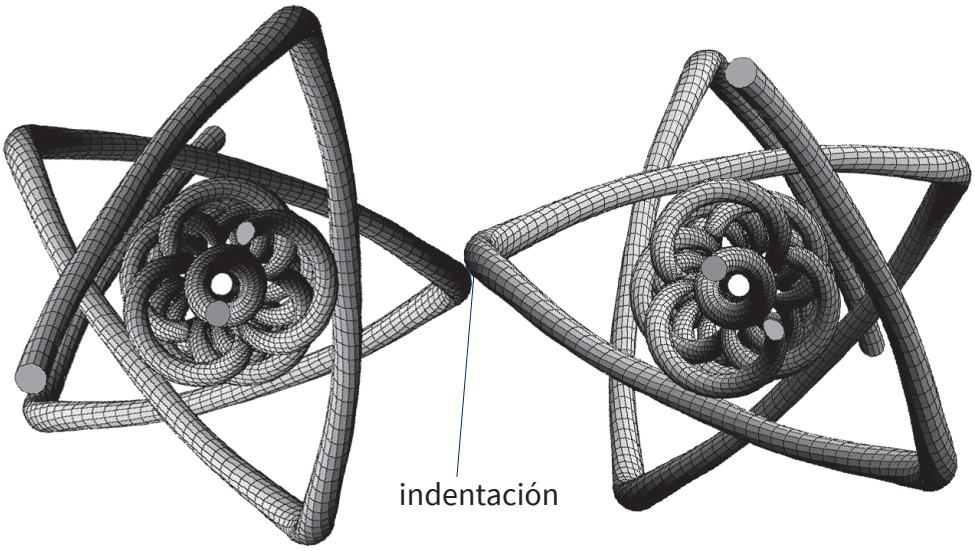


Fig. 35: Indentación en los alambres exteriores de los cables de torsión regular

13.1. Solución con el cable N° 1: Cables de torsión Lang

La experiencia práctica ya ha demostrado que, en un enrollamiento de varias capas, los cables de torsión Lang (Figura 34) funcionan mucho mejor que los cables de torsión regular[14] (Figura 35). Esto se debe a que los alambres exteriores de las espiras contiguas no forman indentaciones que conducirían inevitablemente a la destrucción mutua.

Cuando una espira sale del tambor, mientras la contigua permanece, estas indentaciones provocan inmediatamente daños mutuos en ambos tramos de cable. Los principales fabricantes de grúas de Europa sólo utilizan cables Lang en tambores multicapa[15]. Una excepción podrían ser los cables martillados, de los que se hablará más adelante.

13.2. Solución con cable N° 2: Cables con alambres exteriores mas gruesos

También es un hecho conocido que los cables con alambres exteriores más gruesos y robustos funcionan mejor en el enrollado multicapa. El diámetro de los alambres exteriores de un cordón[16] Seale 19 (Figura 36) es un 42% mayor que el de un cordón Warrington-Seale 36 (Figura 37). Su sección metálica es un 100% mayor y, por lo tanto, mucho más robusta y resistente a la abrasión.

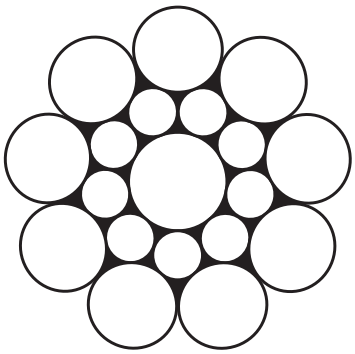


Fig. 36: Cordón Seale 19, un cordón de diseño sumamente robusto

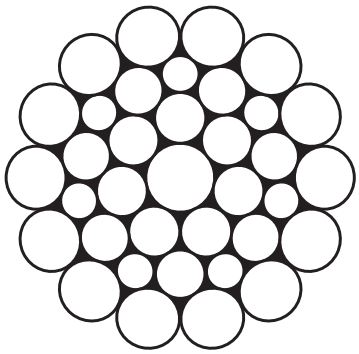


Fig. 37: Cordón Warrington-Seale 36, un cordón de diseño muy resistente a la fatiga

14 Torsión regular y torsión Lang son dos esquemas de diseño de cable bien diferentes. Las palabras *regular lay* y *Lang lay* han sufrido innumerables traducciones incorrectas. Las únicas maneras de designar sin ambigüedades los tipos de torsión son (a) con las palabras *regular* y *Lang* o (b) con la combinación de letras S y Z que establece ISO 17893, cuyo uso afortunadamente de a poco se va extendiendo. (NdT)

15 Mientras esto ocurre, en Latinoamérica siguen llegando grúas de muchos otros orígenes con cables de torsión regular. Entonces los principales fabricantes de cable, aun teniendo el know-how y la voluntad de introducir cables Lang, encuentran difícil hacerlo por la poca escala del mercado.

16 La palabra inglesa *strand* designa un haz de alambres retorcidos sobre su eje central. En la jerga del cable de acero en castellano hay dos traducciones posibles para strand: *cordón* y *torón*. En España, Argentina, Uruguay, Paraguay y Bolivia se usa más *cordón*. En cambio, en toda la costa del Pacífico de Latinoamérica desde Chile hasta México, más Venezuela y Caribe, se usa preferentemente *torón*. En esta traducción usaremos *cordón*, pero se debe aclarar que ambas palabras son correctas y significan exactamente lo mismo. En cambio, se recomienda no usar la palabra *hebra*, que puede confundirse con un solo hilo. (NdT)

Por supuesto, el desempeño a la fatiga de un cordón Seale 19 es peor que el de un cordón WS 36, pero ¿a quién le importa, si el problema no es la fatiga sino el aplastamiento en el tambor?

13.3. Solución con el cable N° 3: Cables con cordones exteriores compactados

Gran parte de los daños en el enrollado multicapa se debe a las indentaciones o hendiduras que forman los alambres exteriores en contacto con los alambres exteriores de la espira vecina (Figura 38). Pero si el cable tiene cordones exteriores compactados (Figura 39), las indentaciones no pueden producirse tan fácilmente y los daños se reducen considerablemente.

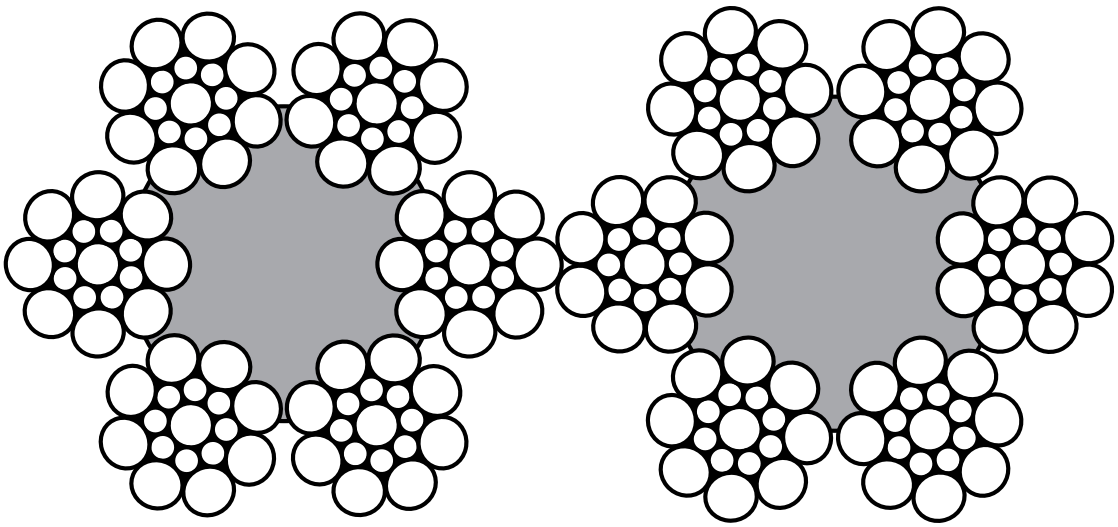


Fig. 38: Los cordones exteriores convencionales favorecen indentaciones entre los alambres exteriores de una y otra espira

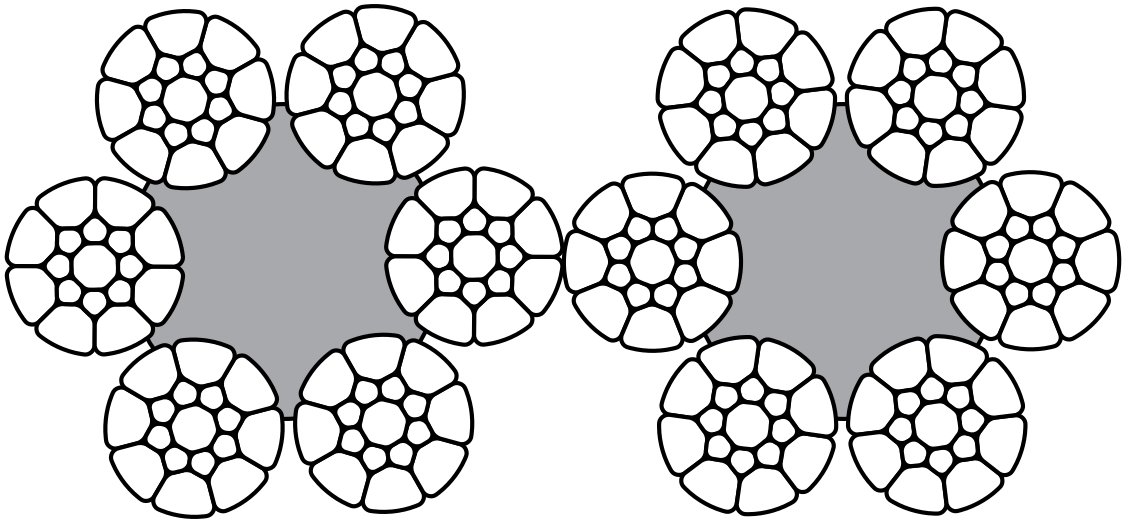


Fig. 39: Los cordones exteriores compactados impiden o retardan las indentaciones entre los alambres exteriores de una y otra espira

13.4. Solución con el cable N° 4: Cables martillados[17]

Como hemos visto anteriormente, la mayor parte de los daños a los que se ve sometido un cable de acero durante el enrollado en varias capas se debe a la superficie exterior irregular del propio cable. Por lo tanto, suena lógico alisar la superficie del cable para reducir los daños.

La sección transversal de los cables de acero suele denominarse „redonda“. ¡Pero no son redondos en absoluto! Según la cantidad de cordones exteriores del cable, las secciones transversales se asemejan mucho más a un hexágono o a un octógono que a un círculo. La secuencia de coronas y valles a lo largo de la circunferencia es la causa principal de todos los problemas que hemos comentado anteriormente. Por lo tanto, para evitar los problemas, ¡debemos hacer que la sección transversal del cable sea realmente redonda!

Algunos fabricantes de cable han conseguido secciones transversales sorprendentemente redondas y superficies extremadamente lisas martillando diferentes tipos de cables de acero con un dispositivo giratorio.

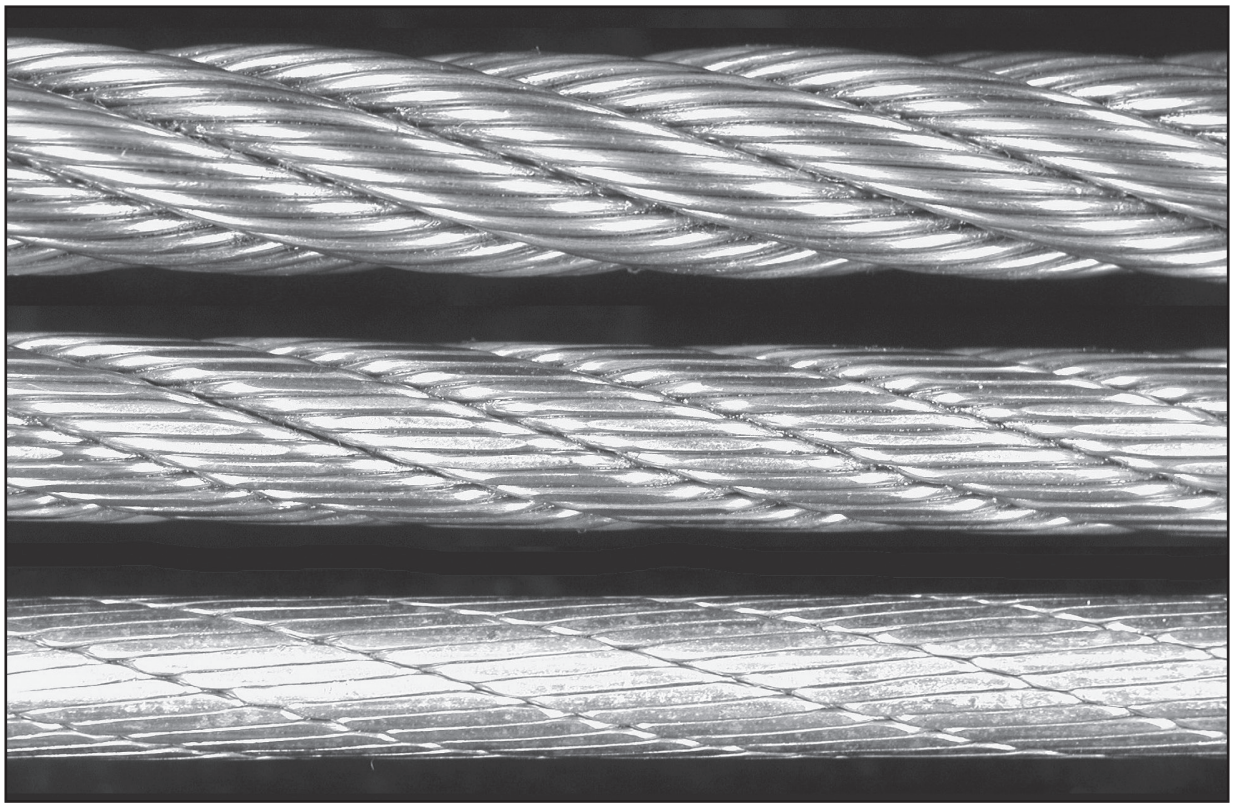


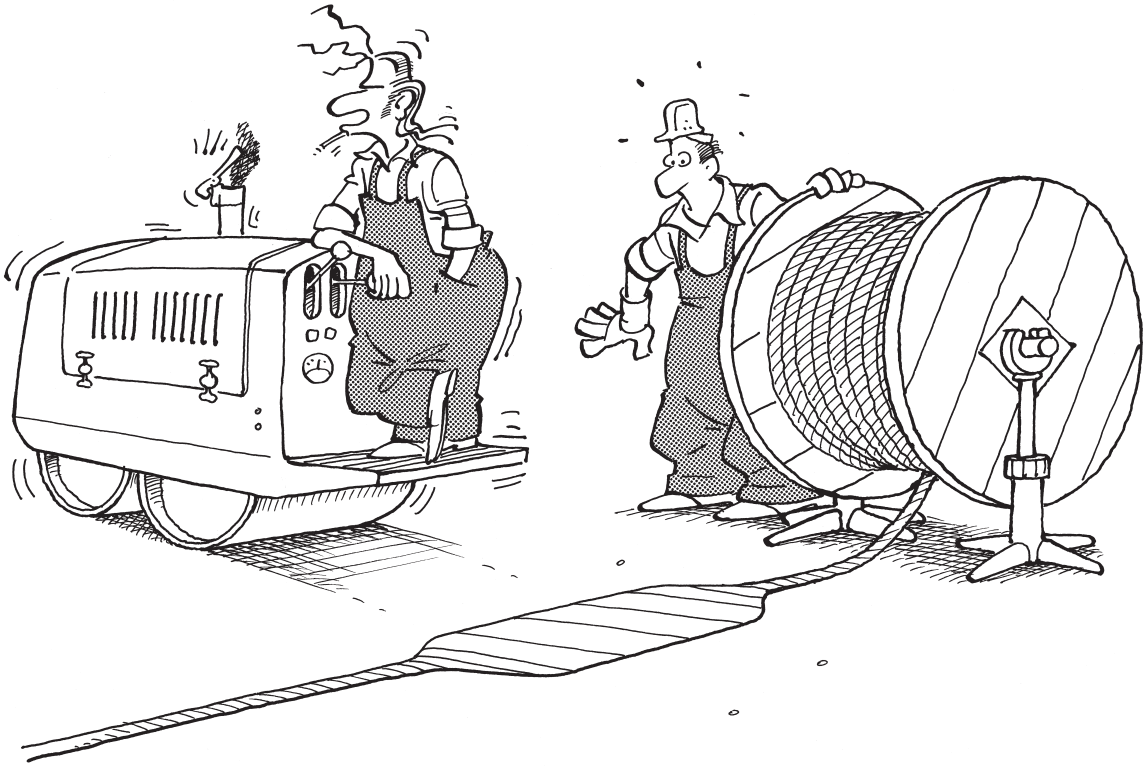
Fig. 40: El mismo cable antes del martillado (arriba), luego del martillado con un reducción normal (en el centro) y luego del martillado con una fuerte reducción (abajo)

17 La denominación en inglés es *swagged ropes*, lo cual se traduciría como *cables prensados*. Pero *cables martillados* es la traducción más usual, y por otra parte refleja mejor el proceso, tal como lo describe el autor. (NdT)

Por supuesto, se tomaron las precauciones para que el propio proceso de martillado no cause daños internos. La Figura 40 muestra un cable de acero sin martillar (arriba) y luego con dos grados distintos de reducción de diámetro.

Los cables martillados se probaron en máquinas normales de fatiga por flexión y en el banco de ensayo multicapa ya mostrado en la Figura 10. Los resultados han sido muy alentadores: En el banco de ensayo multicapa, los cables martillados alcanzaron en promedio una vida útil 3 veces superior a la de los diseños convencionales comparables.

Tras exhaustivas pruebas de laboratorio, los primeros cables martillados se instalaron finalmente en grúas. En determinadas aplicaciones superan a los cables de cualquier otro diseño.



27 de abril de 2000: Juan Pérez (izquierda) inventa el cable martillado.

El autor: Dipl.-Ing. Roland Verreet
Wire Rope Technology Aachen
Grünenthaler Str. 40a • 52 072 Aachen • Alemania
Tel.: +49 241 173147 • Fax +49 241 12982
E-mail: R.Verreet@t-online.de

Traducción al castellano: Ing. Ricardo Muñiz
Especialista en cables y operaciones de izaje
ricardomuniz2005@yahoo.com.ar

Wire Rope Technology Aachen
Dipl.-Ing. Roland Verreet

Grünenthaler Str. 40a • 52072 Aachen • Germany
Phone: +49 241- 173147 • Fax: +49 241- 12982
Mail: R.Verreet@t-online.de
www.ropetechnology.com