

GABLES METALICOS PARA CONSTRUCCION

Traducción del "Engineering News-Record", del 23 de mayo de 1940, Vol. 124 Núm. 21, páginas 70 y siguientes. Versión del inglés por el Ing. Manuel Solana Gutiérrez, del Departamento de Información Técnica de la C. N. I. Revisado por el Ing. Santiago Aldasoro Rebull, del Departamento de Construcción de la C. N. I.

INTRODUCCION

AUN cuando el cable metálico es comúnmente más usado que cualquier otro artículo de una planta de construcción (por ejemplo, en palas mecánicas, grúas, malacates, escrepas, dragas de arrastre y cablevías), no es suficientemente apreciado, en la generalidad de los casos, por los que lo utilizan. Esto no debe causar sorpresa, puesto que solamente algunas partes de las máquinas están sometidas como el cable a tan rudas y complejas condiciones de servicio.

Casi invariablemente, las características de calibre, calidad y detalles de construcción de un cable, se han logrado mediante la combinación adecuada entre los dos requisitos principales, resistencia y flexibilidad, los cuales están más o menos en oposición. Se tiene en cuenta, además, las condiciones especiales de servicio a que se va a destinar cada tipo de cable.

El estímulo provocado por la fuerte competencia en la industria del cable y los notables adelantos de las máquinas en las cuales se emplea éste, han introducido el uso de una gran variedad de ellos, entre los cuales el ingeniero puede seleccionar el tipo más conveniente para una determinada aplicación. Los problemas de ingeniería de cables, en consecuencia, se han hecho muy complejos y no es de extrañar que la ingeniería, por lo que respecta a cables metálicos, se haya desarrollado en tal forma, que los diseños de los mismos y otros detalles de construcción, constituyan una gran responsabilidad para los fabricantes de este material. Así es como debiera ser. Sin embargo, sería de desear que aquellas personas que utilizan los cables se familiarizaran con los tipos disponibles, así como con las diversas calidades y calibres para que de esta manera puedan someter sus problemas a los fabricantes.

Es muy posible que la gran variedad disponible de diseños de cables tenga, en parte, la tendencia de desorientar al que los utiliza y el hecho de que cualquiera de ellos esté razonablemente seguro, le ha llevado a la conclusión de que todos los cables le son igualmente

útiles. Ninguna conclusión podría estar más lejos de la verdad que ésta.

Ante esta situación, "Engineering News-Record" juzgó que el principio hacia un mejoramiento se lograría si los constructores reconocen la importancia que para ellos tiene una juiciosa y conveniente selección y uso de cables metálicos de construcción idónea y si los conocimientos generales y las creencias en la materia pudieran establecerse en forma simple y definida. Esta información es el resultado de una inspección que incluyó: un viaje de 11,256 kilómetros por el campo, en visitas a fábricas de cables metálicos y obras en construcción en 30 localidades y el cambio de impresiones con varios cientos de particulares, siendo en su mayoría autoridades reconocidas en la materia.

* * *

La capacidad de producción calculada, de 16 fábricas de cables metálicos en los E. U., es alrededor de 200,000 toneladas por año. En 1939 la producción fué casi el 50% de esa capacidad. Del total se utilizó una indeterminada pero elevada proporción, en el servicio de las máquinas para construcción.

La fabricación de cable metálico se remonta a tiempos antiguos, cuando los alambres y su torsión se hacían, lentamente, a mano. El alambre estirado a máquina comenzó a usarse gradualmente en el extranjero, y hasta hace aproximadamente un siglo apareció en el mercado la primera máquina americana para hacer cable metálico. El progreso en la metalurgia, en el laminado, tratamiento por calor, y torsión del alambre para formar el cable, así como el diseño de cables metálicos especiales, para tipos particulares de trabajo, han contribuido a través de los años al desarrollo de la industria moderna de cables metálicos. Hay actualmente en el mercado 80 tipos, de los cuales 30 son de uso común, los cuales proporcionan al comprador un amplio margen de selección.

¿QUE ES EL CABLE METALICO?

Fundamentalmente, un cable metálico consiste en una combinación de alambres torcidos y fijados helicoidalmente alrededor de un núcleo central o alma. Los alambres individuales están colocados en torones y éstos, a su vez, unidos en forma de cable por medio de maquinaria sumamente perfeccionada y resistente, diseñada en esta forma para que al estar colocados los alambres individuales en su posición correcta, de acuer-

do con el proyecto del ingeniero y construido en tal forma que se obtengan los beneficios derivados de una producción en gran escala, sin sacrificar un alto grado de exactitud en las dimensiones.

La "construcción" de un cable metálico se define como su diseño, incluyendo el número de torones, número de alambres por torón, colocación de los alambres en cada uno de ellos, dirección y tipo de torsión o trenzado del cable y tipo del núcleo usado. De esta construcción, tanto como de la calidad del material empleado, calidad de la manufactura, elección de las dimensiones y calidad y grado del acero empleado, depende la adaptabilidad de un cable metálico para determinado servicio.

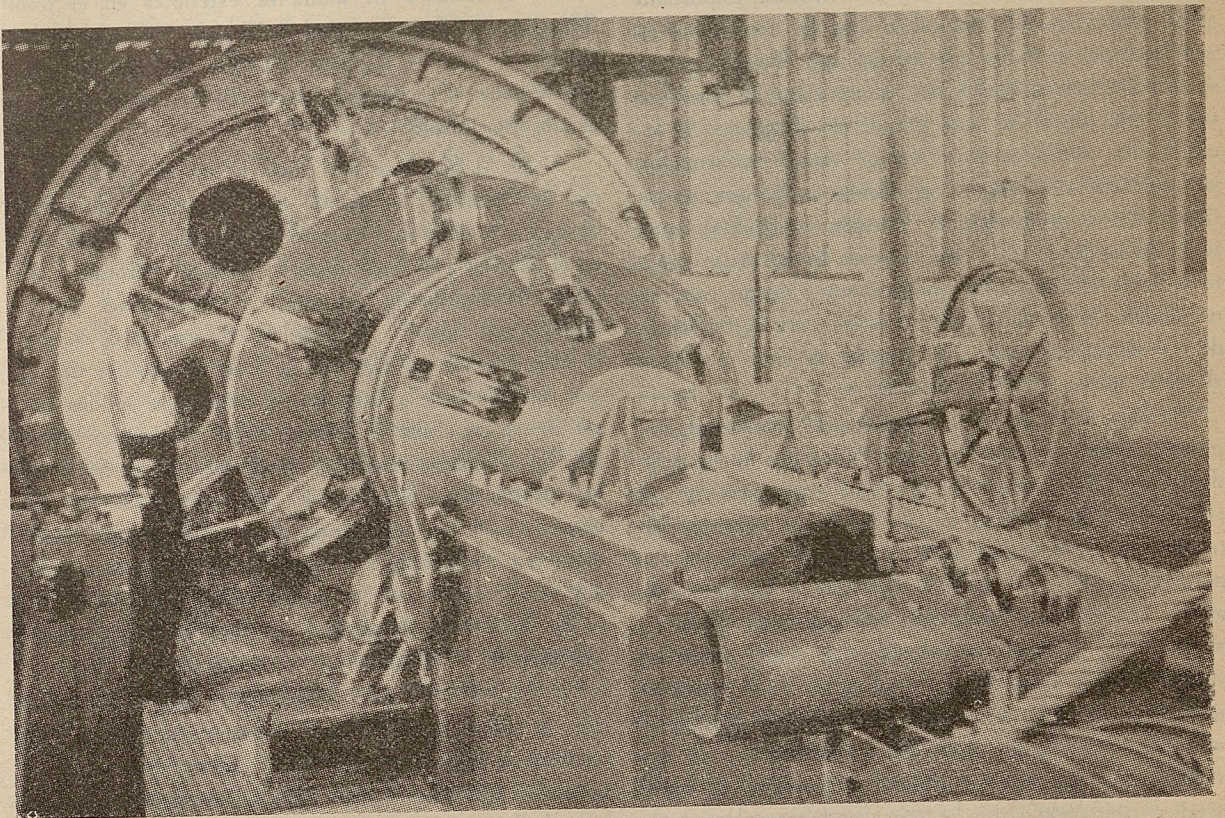
La gran variedad de diseños disponibles, está sostenida en la práctica por los ingenieros de cables metálicos, ya que ello le permite al comprador una amplia oportunidad para seleccionar los cables, de acuerdo con sus necesidades específicas. Esto es verdad, aunque en la mayoría de los casos dos o tres docenas de marcas de este material ofrecen suficiente margen para satisfacer las demandas de quienes las utilizan. La mayor parte de estas marcas difieren entre sí, materialmente, en cuanto a la flexibilidad, capacidad para resistir el desgaste y capacidad para soportar la fatiga de los es-

fuerzos. La elección del cable para un servicio peculiar es, a menudo, cuestión de seleccionar entre las características, ya que éstas, a veces, son incompatibles más o menos, con la naturaleza misma del cable metálico. En un mismo cable no se encuentran todas las cualidades máximas de fuerza, resistencia al desgaste, rigidez y flexibilidad, lo cual quiere decir que un cable perfecto, de cualidades máximas, no existe.

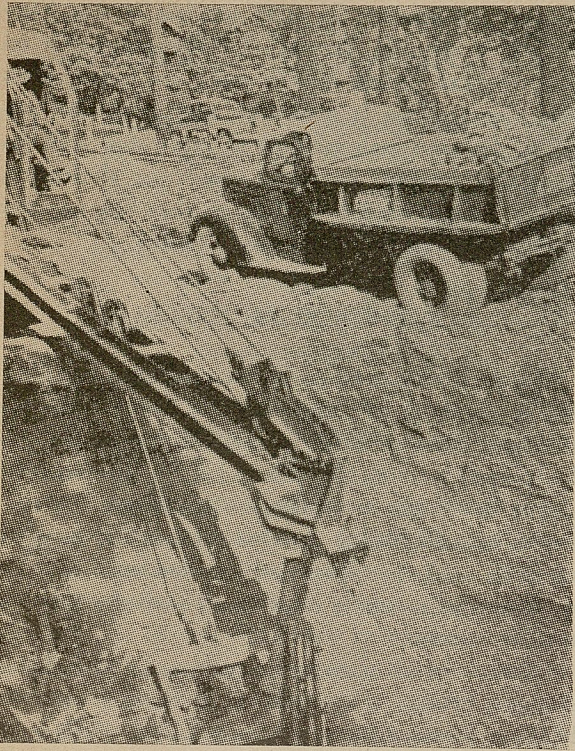
TRENZADO DE CABLES

La característica básica de caracterización de un cable de acero es su "trenzado". En uno derecho los torones o cabos corren de izquierda a derecha por arriba, cuando se retira del observador. En uno izquierdo corren de derecha a izquierda. Ya sea que los torones se hayan fabricado derechos o izquierdos, el término se ha usado solamente para caracterizar la dirección en la que los torones o cabos pasan alrededor del alma o núcleo central.

Cuando los alambres en un torón están colocados en dirección opuesta al trenzado de los torones en el cable, éste se denomina *trenzado normal* y puede ser derecho o izquierdo. Si los alambres y torones están colocados en la misma dirección, ya sea derecha o izquierda, el cable se denomina de *trenzado tipo Lang*.



El cable metálico se hace por medio de maquinaria pesada de mucha precisión que trenza los alambres en torones y éstos en cables, por medio de una operación continua.



Uno de los servicios más resistentes que presta el cable metálico aparece en la conocida excavadora de pala mecánica

El tipo de trenzado ejerce una influencia importante en el comportamiento del cable. Los de trenzado "normal" son más comunes que los del tipo "Lang", porque se enredan menos fácilmente, aunque los de este tipo tienen una superficie más grande de desgaste. Si los cables con trenzados tipo "Lang" están preformados, la tendencia a enredarse se disminuye porque en su fabricación a cada alambre y torón, individualmente, se les da un juego para que la forma helicoidal se adapte al cable mismo. Esta encorvadura o juego produce un cable relativamente inerte, ya que así la tendencia de los alambres a separarse cuando se corta o rompe el cable, queda reducida al mínimo.

El desarrollo del cable preformado merece alguna mención especial porque, en los 15 años que han pasado desde que fué introducido su uso, representa ya un cuarto de la producción anual. Entre las ventajas obtenidas por la cualidad arriba apuntada, están: la capacidad para resistir a la fatiga de la flexión y la menor tendencia a enredarse haciendo más fácil su manejo. En un cable preformado los alambres de los torones y estos mismos, están colocados de tal manera que sea correcta la hélice que ellos semejan cuando el cable está terminado. Un juicio favorable para las ventajas que presenta en diferentes aspectos el cable metálico preformado, no ha cristalizado completamente entre los fabricantes y los clientes que lo utilizan, pero

el uso de tales cables está aumentando firmemente en una gran variedad de servicios.

TIPOS DE CONSTRUCCION

Las construcciones básicas de cables metálicos comprenden:

1. ALAMBRE DE UN TAMAÑO.—Este es de construcción sencilla, a veces parecido a un cable grueso y tosco, conteniendo el mínimo número de alambres, mínima flexibilidad y pequeña resistencia a los esfuerzos de flexión. Un torón de este tipo consiste de alambres de diámetro uniforme, fijados alrededor del núcleo o alma formada por alambre de tamaño un poco más grande. Un cable típico de esta clase tendría un alma o núcleo no metálico y se le designa como 6×7 , que significa 6 torones de 7 alambres cada uno.

2. WARRINGTON.—En este tipo los 12 alambres exteriores de cada torón son alternativamente largos y cortos, circundando 7 alambres de tamaño intermedio; de aquí que algunas veces sea denominado de 3 tamaños. Es ampliamente usado en grupos de 6×19 y 8×19 . La resistencia al desgaste es menos que en los grupos de 6×7 y 6×8 , en vista de que aumentó el número de alambres exteriores en el torón Warrington. La capacidad de resistir los esfuerzos de flexión es una de las características del tipo Warrington a causa del número mayor de pequeños alambres usados por torón.

3. SEALE.—Este tipo consiste en un corazón o alma de alambre circundado por 9 alambres interiores, de tamaño uniforme aunque relativamente pequeño, y en el exterior por 9 alambres de tamaño uniforme y diámetro relativamente grande. Las variaciones pueden implicar un número de alambres diferentes de 9, pero la idea general del término SEALE es que hay dos capas de alambre, la exterior acomodándose en los huecos de la capa interior. Para cables del mismo diámetro, los alambres exteriores de un cable tipo Seale son los componentes más grandes del torón y de esta manera ofrecen más resistencia al desgaste que el mismo diámetro en el tipo Warrington. Es una modificación del tipo Seale, diseñada para aumentar la flexibilidad, se usa una torón de alma de alambre en lugar del núcleo grande o "alambre rey" del tipo normal Seale.

4. ALAMBRE DE RELLENO.—En la construcción del alambre de relleno, el torón usualmente tiene un alma o núcleo de alambre y capas interiores y exteriores concéntricas. Los intersticios entre los alambres de las capas interior y exterior están rellenos con alambres de diámetros más pequeños, lo cual sirve para

conservar los alambres principales en posición, pero no están considerados para contribuir materialmente a la sección transversal metálica del torón. Estos diseños son de construcción más flexible que los del tipo Seale, y en donde la flexibilidad es de mayor importancia, tales tipos de cables están indicados. La fabricación más común consiste de 19 alambres principales y 6 alambres de diseño intermedio.

5. TORON APLANADO.—Este tipo, desarrollado en Inglaterra hará unos 50 años, fué introducido en los Estados Unidos en 1893. Sus torones tienen una sección transversal triangular en vez de una circular y una colocación que permite un porcentaje más grande de superficie de alambre expuesta al desgaste. En varios tipos el torón aplanado es más resistente que el del mismo tamaño y calibre de sección circular. También, a causa de su pequeño núcleo de cáñamo y la forma de la clave de los torones, ofrece gran resistencia al machacamiento.

RESISTENCIA A LA FLEXION Y AL DESGASTE

En general, la resistencia a la flexión aumenta desde un mínimo para el tipo de 6 × 7 hasta un máximo de 8 × 19 para el tipo de alambre con relleno. La resistencia al desgaste, por otra parte, aumenta desde un mínimo para un tipo 8 × 19 de alambre con relleno hasta un máximo con la de 6 × 7.

Un aumento progresivo en la resistencia en los esfuerzos de flexión puede ser agrupado en una lista de acuerdo con el siguiente orden de tipos: 6 × 7; 6 × 19 Seale; 6 × 19 alambre con relleno; 6 × 19 Warrington; 6 × 19 alambre con relleno; 8 × 19 Seale; 6 × 22 alambre con relleno; 6 × 37 Seale; 6 × 41; 8 × 19 Warrington y 8 × 19 alambre con relleno. En el orden inverso de la lista se presenta el aumento progresivo en la resistencia al desgaste desde un mínimo hasta un máximo. Se hace hincapié en que estas listas se refieren únicamente a la resistencia a la flexión y al desgaste, y que no se toman en cuenta otras acciones a las cuales se sujeta un cable en determinados casos.

Es digno de observación que la construcción 6 × 19 de alambre con relleno ocupa un término medio en relación a la resistencia, a los esfuerzos de flexión y a la resistencia al desgaste. Por esta razón es muy usado en aplicaciones en las que cada uno de estos factores son de igual importancia.

Las pruebas realizadas en el campo con cable metálico revelan que del tipo de construcción 6 × 19 se ha hecho una selección sorprendente para el servicio en general. El uso de cable metálico 6 × 19 de

acero para arados o de acero mejorado para arados, y en trenzado derecho, y con núcleo central metálico o de cáñamo, es tan común que propiamente debe ser considerado como "lo esencial" de un diseño en la industria del cable metálico. Tal cable, sin embargo, de ningún modo debe ser elegido a la ligera como el más indicado para la gran mayoría de aplicaciones en la práctica, pero su popularidad es tanta que se impone en ese respecto.

ALAMBRE PARA CABLES METALICOS

A continuación se transcribe una lista de los seis grados de acero generalmente usados en la manufactura del cable metálico americano:

GRADO DE DUREZA	CLASIFICACION DE LA RESISTENCIA APROXIMADA DEL ALAMBRE, KGS. POR CM. ²	
Fierro	4,922	8,437
Acero para tracción...	11,250	14,765
Fierro fundido	11,953	15,468
Acero dulce para arado.	13,359	16,844
Acero para arado.	14,765	18,281
Acero mejorado para arado	16,171	19,687

En un principio el fierro dominó en la fabricación del cable metálico, pero el desarrollo del acero hizo posible la edición de grados más altos de resistencia y también la substitución de un alambre de acero suave en los cables más suaves en donde el fierro había sido usado. Estos cables suaves se usan ahora en aplicaciones como las de gobernar y compensar los cables en los elevadores en donde su baja resistencia es una ventaja. Los cables de acero de tracción son muy usados como cables de levante en los elevadores y ocasionalmente, también, como cables gobernadores. El acero fundido, que antiguamente se obtenía en pequeños crisoles, de los cuales resultaban lingotes que variaban en su composición, ahora se produce a ambos lados del Atlántico por medio de hornos de hogar abierto, siendo el producto resultante de una calidad mucho más homogénea que su predecesor. La palabra acero fundido es, de hecho, solamente una designación de un resistente puntal en las clasificaciones de cables metálicos, puesto que todo el cable moderno está hecho de acero producido en hornos de hogar abierto. El término acero para arados, que aparece en la práctica inglesa desde hace muchos años, aplicado a cable metálico connota un alto grado de acero de horno de hogar abierto. El acero mejorado para arado representa el material más fuerte y resistente generalmente usado en la construcción de cable metálico.



Las pequeñas poleas y los ángulos agudos de las escrapas requieren un cable que resista la fatiga de la flexión. El cable preformado es ampliamente utilizado en este servicio.

Todos los grados anteriormente citados han sido estandarizados por medio de diferentes especificaciones hechas por los organismos correspondientes, y los tipos similares de cada fabricante son prácticamente iguales.

Aun cuando la resistencia aproximada de los alambres individuales es como se indicó anteriormente, es importante admitir que la consideración fundamental en las aplicaciones de cables, es la resistencia del cable con su acabado de última mano. La experiencia y la práctica han determinado la correcta y mínima resistencia a la ruptura de cada tamaño de cable en los diseños respectivos, y esas resistencias se indican en los catálogos de cables de todos los fabricantes. El hecho de que estos valores publicados sean los mismos prácticamente en todos los casos, es la evidencia de que estas resistencias y tipos de los cables no han sido aceptados arbitrariamente, sino que son el resultado de cuidadosos estudios de ingeniería.

Hay muchos factores que intervienen en esta selección de las resistencias del alambre, los cuales caen dentro de la técnica de la fabricación del acero y de la producción misma del alambre. Puesto que es posible por medio de la selección de la composición del acero, del tratamiento del calor y de la laminación del alambre, producir alambre de acero cuya resistencia varía alrededor de 3,164 hasta casi 21,093 kgs./cm², según el tamaño del alambre, el que los utiliza probablemente estorbaría el progreso del cable metálico si enfrenta al fabricante de cables con ese sinnúmero de trabas innecesarias como se detalló en las especificaciones del análisis del acero y de la resistencia del alambre. Es mucho más prudente explicarle ampliamente el servicio que el cable le pueda dar y entonces dejarlo en libertad para el diseño y selección de los materiales susceptibles de usarse.

MANUFACTURA DEL CABLE METALICO

La manufactura del cable metálico de características específicas depende de muchos factores que implican las siguientes e importantes operaciones:

1. Calizas, mineral de hierro, coke a lingote de hierro.
2. Lingote de hierro a horno abierto.
3. Lingote de acero del horno de hogar abierto.
4. Máquina laminadora; lingote a perfil (4 pulgadas cuadradas (10.16 cm².) por 4½ pies de largo (1.36 mt.).
5. Laminadora de varilla: perfil a varilla (1/5 a 3/8 de pulgada de diámetro).
6. Laminación del alambre: varilla a través de hileras para convertirse en alambre.
7. Máquina torcedora: los alambres se transforman en torones.
8. Máquina de acabado: los torones forman el cable.

Una vez lograda la conveniente selección del acero, principalmente en cuanto a sus características químicas, el primer paso en la manufactura del cable de acero denominado "al alto carbón", es la preparación adecuada para laminarlo. Antes de que las varillas pasen por los dados, es común someterlas a un tratamiento de calor o "patente" con el doble propósito de asegurar uniformidad en su estructura y formar el tipo deseado, por lo que se refiere a sus características físicas, para una laminación adecuada.

Después de que las varillas han sido sometidas al tratamiento denominado "patente", se les limpia de las escamas que se les han adherido, se les da un baño de cal y se recuecen a una temperatura baja para fijar bien el baño, constituyendo todas estas operaciones la

preparación para proceder a su laminación en alambre.

En esta operación se toman las varillas por los extremos y se introducen a través de agujeros cónicos en los dados. La cantidad que se reduce por cada laminación, la velocidad y el número de estiradas depende del diámetro, del grado de acabado del alambre y de las propiedades físicas requeridas. Puesto que el proceso de laminación endurece el alambre progresivamente con cada estirada, es necesario en muchos casos, después que varias han sido ejecutadas, proporcionar un calor de "patente" interino, que incluye el limpiado, bañado y recalentado, siguiendo a continuación la estirada final, para obtener alambre de propiedades físicas adecuadas.

Después de estirado, el alambre es enrollado en carretes y enviado a la máquina torcedora, en donde se coloca en una o más capas alrededor del alma o núcleo de alambre de cada torón. En las máquinas modernas de torcido, los carretes conservan su paralelismo lo necesario para impedir que los alambres se tuerzan cuando se colocan en los torones. De la máquina torcedora, en donde los torones son enrollados en grandes carretes, pasan a la máquina de ajuste en la que éstos se transforman en el cable acabado. Los torones se enrollan alrededor y en forma helicoidal, del núcleo o alma, cualquiera que sea su tipo, a la entrada de un dado de compresión. El cable, una vez terminado, es medido en grandes tambores movidos por motor y almacenado en carretes de embarque.

La preformación requiere una extrema exactitud y habilidad mecánicas, y debe ser confrontada en cada prueba a causa de las variaciones en la resistencia y tamaño de los alambres, construcción, acomodamiento del cable, etc. Las características preformadas de los alambres individuales y torones están desarrolladas mediante la ayuda de pequeñas poleas o guías. En el caso de las primeras, el diámetro de las poleas y su espaciamiento es de suma importancia. En el método de preformación cuando se usan las guías, la forma de las ranuras o canales se determina cuidadosamente con anticipación, teniendo en cuenta el tamaño, calibre y construcción del cable.

Independientemente del método empleado, el propósito básico del proceso de preformación es dar una forma previa a los alambres individuales y torones curvándolos en la posición que ellos ocuparán definitivamente en el cable acabado. Por medio de este proceso las partes componentes del cable metálico se colocan juntas, en vez de que se trenzaran en el lugar y a la fuerza. Los resultados de la preformación son múltiples, entre las cuales puede citarse principalmente la opinión de un ingeniero en jefe de una fábrica de cables, quien

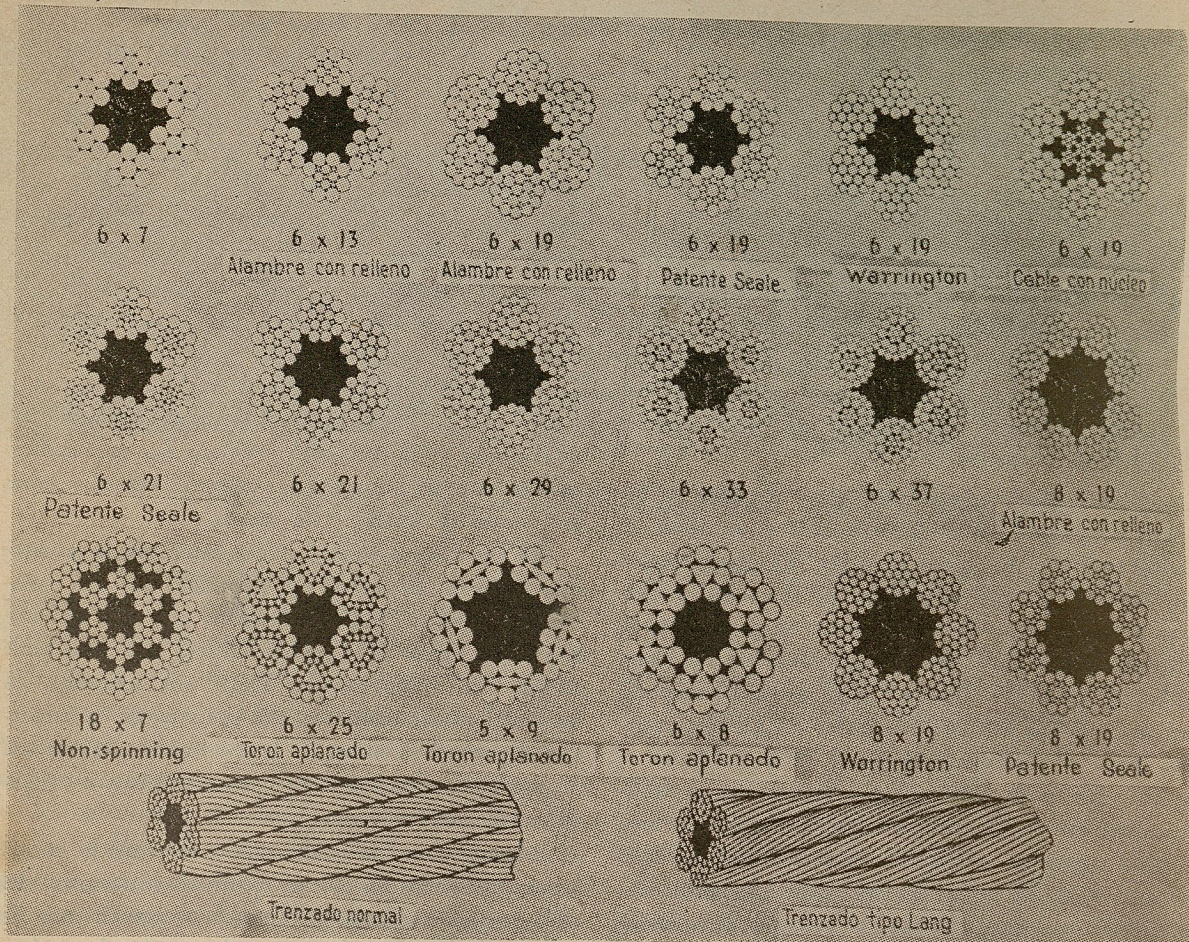
dice que hay que: "fabricar para obtener mayor flexibilidad y más fácil manejo". Los cables preformados no se enredarán tan fácilmente y se enrollarán en los tambores de un modo más uniforme. Los torones de estos cables permanecerán en su lugar aun cuando sus extremos no estén amarrados y los alambres rotos no sobresalen. En muchos casos este tipo de cable presta mayores servicios.

Los fabricantes acostumbran ensayar muestras de cada rollo de alambre acabado, por lo que refiere al diámetro, resistencia a la tensión y torsión, y a intervalos, los porcentajes de alargamiento, flexión, fuerza y fatiga. En algunas fábricas existe la tendencia a omitir el ensayo de flexión, pues creen que éste no manifiesta la calidad del alambre tan claramente como lo hacen los ensayos de torsión y de tensión.

En una fábrica modelo se determinó que la producción está bajo un control tan minucioso que una variación del orden de 5%, es el máximo que debe tolerarse en ensayos típicos de la tensión, en una sección de cable cortada del mismo carrete. Existe una tendencia, en los círculos manufactureros, de alejarse de la tabulación de valores mínimos de la resistencia a la ruptura proporcionando mejor, datos correspondientes a valores de tamaño, calibre y tipo.

Recientemente, los fabricantes han estado sumamente interesados en obtener pruebas satisfactorias del cable metálico sometándolo a severas condiciones de trabajo. Se ha afirmado que muchos de los datos obtenidos en el campo respecto a cables metálicos son poco científicos e inciertos, y que una verídica descripción del servicio que rinde el cable metálico requiere un dinamómetro registrador y un contador de ciclos. Tales ensayos han sido realizados últimamente en los cables de una pala mecánica en servicio. De una de 26 yardas cúbicas (20 m³.) de capacidad se han obtenido registros gráficos que muestran que el máximo alcanzado por el estirón del cable es de 2 a 2.5 veces en promedio. Aunque no se dieron a la publicidad estas pruebas, que indicaban la frecuencia con que podrían ocurrir tan severas condiciones de trabajo, sirvieron a los fabricantes de cables para capacitarlos mejor en el diseño de su producto para esta clase de servicio. Las fallas acumuladas en los torones son el principal peligro, pues exponen al cable a tan severos choques e impactos.

Los fabricantes de los Estados Unidos probablemente poseen la más copiosa información sobre el particular y de la que puede disponer el comprador de cables, para guiarlo en la selección del material, así como el que los usa está obligado a basarse en dicha información interpretándola como un consejo. Sin embargo, la escasez relativa de datos de campo, sintéticos



La mayor parte de las necesidades de la construcción pueden resolverse con alguno de los diseños de cables metálicos que aparecen en este grabado. Cada uno de ellos ofrece ventajas particulares en cuanto a fuerza, rigidez, flexibilidad y resistencia al desgaste, pero ninguno es capaz de reunir todas estas condiciones. La elección, de todos modos debiera basarse en un cuidadoso estudio y en la opinión de los expertos en la materia.

y significativos, garantizan el libre examen de este tema por los que usan cables, quienes desean emplear con los fabricantes su propio lenguaje. La aplicación del cable metálico es todavía un asunto altamente empírico, y el establecimiento de mejores datos de campo sería muy de desear.

ESFUERZOS EN LOS CABLES METALICOS

En el Boletín Técnico N° 1-30, del Departamento de Marina de los Estados Unidos, Departamento de Construcción y Reparaciones, apareció publicado un amplio estudio sobre problemas de esfuerzos en cables bajo el título de: "Instrucciones para el Diseño de Instalaciones de Cables Metálicos".

Se tienen noticias de que está en proyecto la edición de otro Boletín para el presente año.

En las publicaciones de varios fabricantes de cables metálicos se presentan fórmulas para esfuerzos, datos y estudios sobre resistencias, etc. Una de estas publicaciones contiene la comparación de 8 fórmulas de resis-

tencia a la flexión aplicadas a un cable de (3.81 cm.) (1½") de diámetro, de acero para arado mejorado y tipo de trenzado Lang y otro de construcción Seale especial cuando se operó en una polea de (3.26 mts.) de diámetro. Los esfuerzos flexionantes resultantes variaron desde 1,470 hasta 17,950 kgs. por cm. cuadrado. La discusión se resumió en la siguiente forma: "está muy claro que las fórmulas existentes para los esfuerzos de flexión en cables metálicos no producen resultados correctos a causa del número de variables omitidas. Por esta razón se ha creído que si en el cálculo de los esfuerzos de los cables la carga estática total está incrementada por la fuerza necesaria para acelerar hasta el máximo la velocidad del cable, y los diámetros de la polea y tambores están determinados de acuerdo con límites prácticos, la magnitud de los esfuerzos de flexión representará un factor despreciable que tiene una influencia muy pequeña sobre la seguridad del cable o la economía de la operación".

Se hace notar nuevamente la importancia del estu-

dio de las experiencias en el campo, derivadas de la práctica, en relación con el cálculo de los esfuerzos, aplicando los de fórmulas conocidas por los constructores.

Para cualquier tamaño y construcción de cable metálico en particular, hay un límite definido para el tamaño de las poleas y tambores que deben usarse. Este es conocido como el diámetro crítico de la polea y puede definirse como el diámetro mínimo, abajo del cual los torones del cable no pueden deslizarse, el uno contra el otro, para acomodarse a sí mismos dentro de la curvatura. Esta condición produce esfuerzos críticos excesivos que frustran el estudio matemático.

Los valores tabulados para diámetros, mínimos y críticos, de poleas y tambores, expresados en función de la relación con el cable metálico, fueron dados por Spangler, en Engineering News-Record, enero 4 de 1940, pág. 50. Las recomendaciones de los fabricantes de cables, para construcción común, son semejantes, siendo las más importantes las siguientes:

CABLE	Núm. de veces del diámetro del cable	
	MÍNIMO Tamaño de la Polea	PROMEDIO Tamaño de la Polea
6 × 7	21	72
6 × 19	30	45
6 × 37	18	26
8 × 19	21	31

Una Compañía cataloga las siguientes variables principales que afectan los esfuerzos y la resistencia: (1), tamaños de los alambres; (2), calidad del núcleo; (3),

longitud del cable y tipo del trenzado; (4), construcción; (5), área bruta metálica de la sección transversal; (6), condición y clase de lubricación; (7), tamaño, material, dispositivo y condición de las poleas.

Ensayes y registros de campo muestran sorprendentes variaciones en la vida de un cable bajo diferentes condiciones de éstas y otras variables. Cuando las poleas se han desgastado, por lo menos, 1/16 de pulgada más que el diámetro del cable, se comprobó que la vida del mismo era tres o cuatro veces más larga que la del mismo cable cuando se usó sobre poleas cuya guía era ligeramente menor que el diámetro efectivo del cable. Cuando uno de éstos se usa en equipos que tienen poleas con diámetros de huellas en, o cerca, del punto donde los torones no pueden deslizarse relativamente uno con otro (el "diámetro crítico" de la polea o del tambor), el servicio disminuye alarmantemente. Incrementando el diámetro de la polea al tamaño económico, el servicio del cable ha sido aumentado de cinco a diez veces, dependiendo de su velocidad relativa y de la presencia o ausencia de las curvaturas inversas cuando se usan poleas relativamente próximas.

Se ha comprobado que la lubricación aumenta la vida del cable 2.5 veces; un cambio en la construcción ha traído cerca de un 100% de aumento en esa duración, y así sucesivamente. En relación con esto último, pueden citarse una serie de ensayos realizados por una Compañía, en los cuales los cables metálicos preformados y no preformados fueron sometidos a ciclos inversos de flexión con cargas del 20% de sus resistencias a la ruptura, adaptándose a un amplio factor de seguridad de 5. Los ensayos se continuaron hasta que los ejemplares dejaron visibles y rotos, 40 alambres por pie. Estos resultados están tabulados a continuación.

CONSTRUCCIONES Y GRADO DEL CABLE METALICO	NO PRE-FORMADO CICLOS	PRE-FORMADO CICLOS	INCREMENTO POR CIENTO
6 × 19, alambre relleno, acero suave para arado	26,000	45,500	75
6 × 21, alambre relleno, acero para arado	29,600	42,200	42.5
6 × 29, alambre relleno, acero para arado	35,200	50,650	43.8
6 × 19, Seale, acero para arado	16,750	35,250	110.4
6 × 19, Warrintong, acero para arado	14,140	26,850	89.7
6 × 37, acero para arado	15,550	26,750	72.
8 × 19, Warrington, acero para arado	16,800	29,550	75.9
8 × 19, Seale, acero para arado	24,150	49,050	103.1
8 × 19, alambre relleno, acero para arado	25,550	43,500	70.5

Esta investigación de laboratorio indica que los beneficios de la preformación fueron más grandes con cables que tienen alambres gruesos, y especialmente gruesos, en el exterior. El resultado de las pruebas, demostró que es preferible el uso de cables preformados en aquellos casos en que ocurren severas condiciones

de desgaste, estando indicado el empleo de alambres exteriores relativamente gruesos.

FACTORES DE SEGURIDAD

Evidentemente debería haber un margen conveniente de seguridad entre la carga total y la carga de

ruptura de un cable nuevo para permitir una reducción en la resistencia debida al deterioro, fatiga de la flexión y corrosión, si ésta se presenta. La pérdida de vidas y destrucción de la propiedad que pueden resultar cuando un cable falla, exceden perfectamente al costo que supondría proporcionar un cable, varias veces, tan fuerte como necesita ser. La experiencia enseña que un cable metálico tendrá una duración más larga si los esfuerzos a los que está sometido en el servicio nunca se aproximan a su carga de ruptura.

Los factores de seguridad son tan necesarios para el cable metálico como para todos los materiales y estructuras de ingeniería. Todas las Compañías fabricantes de cables metálicos realizan cálculos minuciosos del total de los esfuerzos, y basan en ellos el factor de seguridad. En la práctica del uso de los malacates es común un factor de seguridad de 5, establecido sobre los esfuerzos de las cargas muertas, que se ha admitido para aplicar los esfuerzos de flexión y la pérdida de resistencia ocasionada por el desgaste. Los esfuerzos de aceleración pueden, sin embargo, requerir un margen adicional de seguridad y deben ser cuidadosamente considerados.

Cuando los cables están trabajando continuamente a altas velocidades y cuando la seguridad de la vida humana está de por medio, como en el caso de elevadores de alta velocidad o malacates para tiros o lumbreras profundas, los factores de seguridad pueden ser 10 o más de este valor; para tales servicios el Departamento de Minas recomienda que el cable debe ser rechazado cuando su factor de seguridad haya disminuido aproximadamente 5 ó 6. Todos los factores de seguridad se intenta asociarlos con los diámetros de las poleas y tambores, lo cual no produce excesivos esfuerzos de flexión.

Recapitulando la situación en relación con los esfuerzos y factores de seguridad de los cables metálicos, los comentarios de un perito en la materia, son de considerable interés. Dice en parte: "Posiblemente porque un cable metálico tiene considerablemente más elasticidad que una pieza sólida de acero, y posiblemente también porque esta elasticidad varía con la edad y condición del cable, no es posible calcular exactamente los esfuerzos de flexión. Nuestra práctica es, por esta razón, omitir esos esfuerzos de flexión y juzgar este factor por la comparación de la relación de las poleas y tambores para una clase particular del equipo en consideración, y de acuerdo con los datos acumulados de instalaciones previas, trabajar dentro de un factor de seguridad que la experiencia nos dice que es satisfactorio para este tipo particular de equipo. Esto quiere decir que en las relaciones de la ingeniería con los

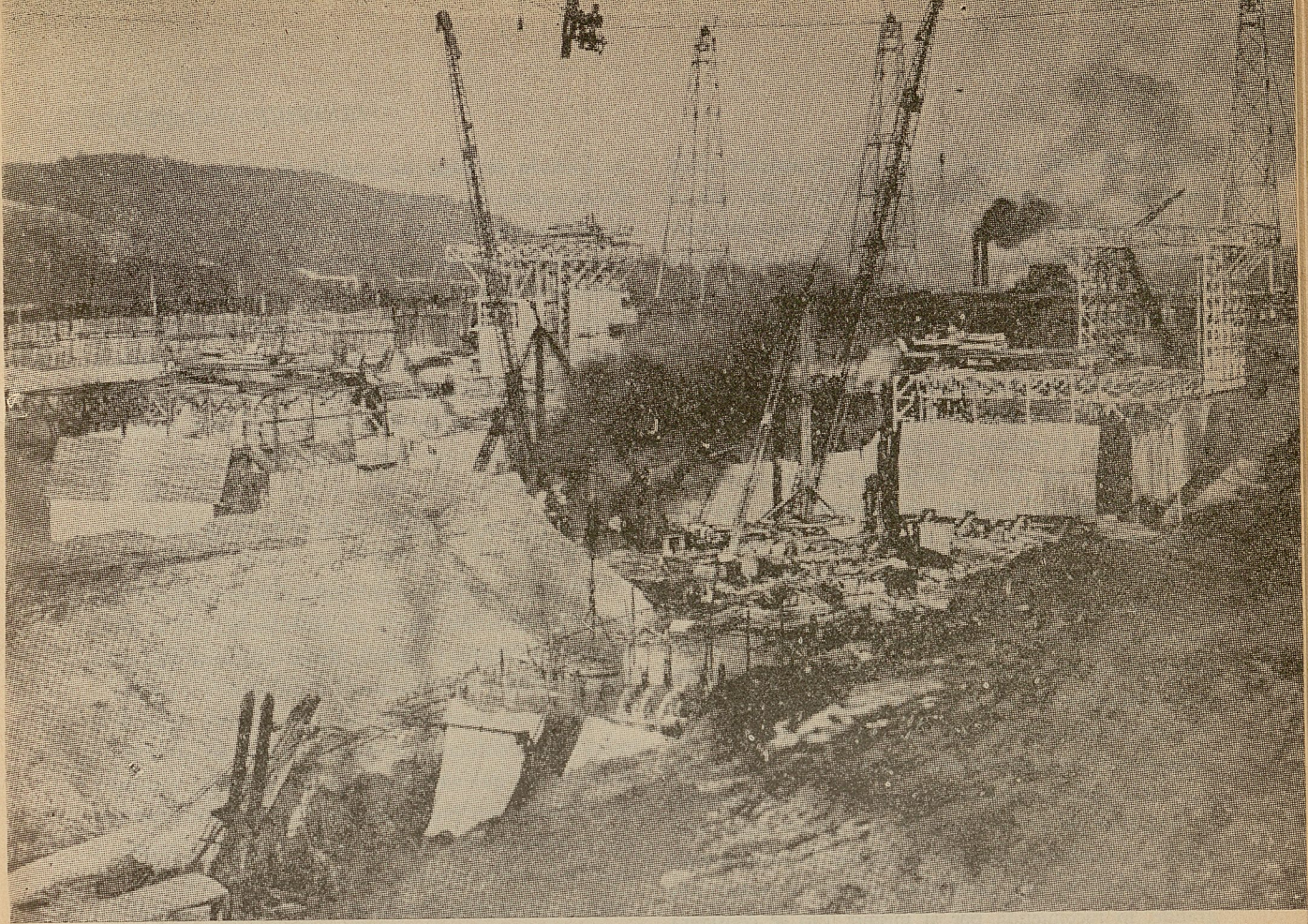
cables metálicos, no hay nada que substituya la experiencia práctica en la aplicación del cable".

Observaciones realizadas en el campo indican que, en general, las resistencias catalogadas del cable metálico son enteramente dignas de confianza para los cálculos de la ingeniería, y también que un porcentaje muy grande de las aplicaciones de cables metálicos están hechas sobre bases de experiencia, con un mínimo esfuerzo para calcular otros esfuerzos que los de tensión, permitiendo factores de seguridad liberales para compensar los elementos dudosos en el caso individual. Esta opinión introduce, en un alto grado, la descripción anterior en la determinación del tipo, tamaño, material, núcleo o alma, tipo de trenzado o torsión y construcción. Algunos de los que usan cables en grandes cantidades y muchos de los que los utilizan en pequeñas, no se aventuran a comprar cables metálicos sobre una base de especificaciones, sino que compran principalmente, teniendo en cuenta los registros de servicios y datos de duración del cable en aplicaciones particulares. La calidad de estos registros varía desde tablas con datos acumulados cuidadosamente, hasta apuntes aislados. Los cortes y pruebas, son los métodos generalmente predominantes.

PROBLEMAS EN LA SELECCION

La elección del cable metálico para un servicio particular puede hacerse tomando en cuenta la experiencia, así como el cálculo de los esfuerzos a que va a estar sometido. En muchos casos la selección se hace considerando tanto la capacidad para resistir a la flexión como la capacidad para resistir al desgaste. Los cables tipo que corresponden a estos extremos, están representados por el cable 8×19 de alambre relleno y por el 6×7 .

La construcción Warrington (3 tamaños de alambre por cable) está ampliamente recomendada para el uso en: juego de poleas, plumas y guías fijas. El 6×19 Seale satisface aquellas condiciones en que se necesitan una gran resistencia al desgaste y mayor diámetro para dar cuerpo al cable. El tamaño más grueso de los alambres exteriores contribuye a prolongar su duración, resistiendo más eficazmente los esfuerzos a que es sometido en los tambores que con el tipo Warrington, aunque con algún sacrificio de su flexibilidad. Pero con la construcción Seale preformada, sin embargo, esta carencia de flexibilidad puede ser vencida. Entre las aplicaciones para las que se recomienda el cable Seale, están: las dragas de arrastre, las líneas de tracción de los cablevías, tiros inclinados, escrepas y malacates.



Que el cable metálico es el alma de muchos trabajos de construcción es evidente, como se ve en esta típica escena de palas, malacates y cables-vías.

La característica del cable de acero relleno 6×19 es su gran flexibilidad y resistencia a la flexión, teniendo numerosas aplicaciones en poleas y los tambores de diámetros relativamente reducidos y en donde el desgaste no es excesivo. Tal equipo incluye cables de levante de las palas, plumas, camiones de volteo, grúas, torres para elevar carbón, elevadores, draga de cangilones, malacates, grúas fijas, dragas zanjeadoras y martinets. El cable blindado 6×19 , que tiene un forro de alambre de acero templado y aplanado alrededor de cada torón, se usa a veces en dragas y grúas; el blindaje proporciona algún grado de resistencia al desgaste aun después de que se haya gastado a través de la corona del torón.

El cable construcción Seale 6×37 es útil cuando se requiere un cable altamente flexible y sus aplicaciones se encuentran en: dragas de cangilones, maquinaria para minas, dragas de cucharón, grúas.

El cable metálico relleno 6×37 es más flexible, pero en general esta construcción tiene menos capacidad para resistir al desgaste que el cable 6×19 .

Los tipos de 8 torones son aconsejables para trabajos en que se requiere mucha flexibilidad, siendo casi todas variaciones del tipo 6×19 . Unos cuantos de éstos, aconsejados por un prominente fabricante,

incluye el 8×19 Warrington, usado en pavimentadoras y mezcladoras; el 8×19 de alambre relleno, empleado en grúas y malacates; y el 8×19 Seale, utilizado en elevadores y en servicios de marina. Otro tipo de interés está clasificado como cable 18×7 , no giratorio, utilizado en el levantamiento de cargas sin guías. Tal tipo consiste comúnmente de 18 torones de 7 alambres cada uno, consistiendo el detalle especial de su diseño el que los 6 torones interiores son de trenzado izquierdo, en tanto que los 12 exteriores son de trenzado derecho.

Para trabajos ordinarios se usan ampliamente los núcleos o almas de cáñamo, pero cuando se requiere más solidez o gran resistencia, o donde se requieren altas fatigas, el cable metálico con alma de acero es preferible. Un núcleo de acero está indicado también cuando el cable metálico está sometido a un fuerte calor. Un prominente fabricante de cables metálicos fija un límite de 8,100 kgs. como carga de comprensión en el alma de cáñamo, a partir del cual es aconsejable el usar un núcleo metálico. Las palas mecánicas son ejemplos notables de la aplicación del núcleo del cable metálico.

En el trenzado normal, en donde los alambres de los torones están colocados en dirección opuesta a los

torones del cable, cortas longitudes de alambre están expuestas en la superficie exterior del cable. En el caso de muchos cables utilizados en trabajos de construcción, y sometidos a un serio desgaste, se emplea el cable de trenzado tipo Lang, debido a que una longitud considerablemente mayor de alambre está expuesta al exterior para que tome el desgaste. Se ha afirmado también que a causa de la mayor superficie de apoyo ofrecida por el tipo Lang, se disminuye el deterioro en las poleas y tambores. Sin embargo, en relación con esto, es de hacerse notar que el torcido o trenzado normal presenta los torones con más coronas para la superficie de desgaste que el tipo Lang.

Otro argumento en favor de este tipo torcido o trenzado es que puede ser usado sobre poleas y tambores más pequeños que los del tipo de torcido normal, porque la longitud del trenzado cubre más longitud en la circunferencia de la huella o acanalado de la polea, que en el caso del tipo de torcido normal. El tipo Lang requiere condiciones de enrollado de primera clase, sobre tambores pequeños, y es menos recomendable en esta clase de servicio cuando se emplean capas múltiples; en tambores grandes no es este el caso, porque la capacidad del tipo Lang para resistir un exceso más grande, lo recomienda por sí mismo. No se considera práctico utilizarlo con un gozne en un extremo, con objeto de evitar la tendencia a formarse cocas o dobleces. Mucho más podría decirse en favor del cable tipo Lang preformado para vencer las tendencias a enredarse y a encorvarse.

En el cable de torones aplanados, éstos tienen una sección transversal triangular en vez de circular. Este arreglo permite un incremento en el porcentaje de la longitud del alambre, y una superficie aplanada, en lugar de una con nudillos, para ser expuesta al desgaste; en muchos casos, a consecuencia de esto, ha resultado una duración más larga en la vida del cable que con el de torones redondos. Para servicios en los que las cargas de aplastamiento son severas, el cable de torones aplanados también ofrece ventajas. Finalmente, la superficie lisa formada por los alambres de los torones hace mínimo el desgaste sobre los tambores y poleas.

COMPRA DEL CABLE METALICO

La discusión anterior relativa a la selección del cable metálico, debe considerarse principalmente como la información básica para hacer el pedido, tomándose en cuenta, al mismo tiempo, las recomendaciones del técnico manufacturero de cables metálicos.

Cuando se haga un pedido de cables, debe darse al fabricante la siguiente información: 1), longitud; 2), diámetro; 3), tipo, tales como Seale, Warrington, etcétera, y el número de torones por el número de alambres en cada torón; 4), grado, ya sea acero fundido, acero para arados, etc.; 5), trenzado derecho o izquierdo; 6), tipo normal o tipo Lang; 7), preformado o no preformado; 8), alma o núcleo de cáñamo o metálico; 9), clase de servicio en el cual va a emplearse el cable.

CUIDADO DEL CABLE METALICO

El cable metálico, como cualquier otro producto usado en construcción, puede ser maltratado, y si se desea obtener su máximo servicio deben conocerse las principales formas de maltrato. La primera, en cuanto a tiempo, es el desenrollado del cable cuando llega a su meta. Es absolutamente necesario que no se formen dobleces, ya que ninguna carga los desbarata totalmente y constituyen puntos débiles. El procedimiento mejor es colocar una flecha o eje a través del carrete y tirar del cable, teniendo cuidado de que se conserve siempre en tensión. Levantar el carrete y remover las gazas del alambre hacia un extremo, es particularmente peligroso, como lo es también la práctica de tirar del cable desde el centro del carrete. Evítense los dobleces a toda costa.

El manejo del cable en servicio puede ser bueno o deficiente. Muchos cables de levante son más averiados por los tirones repentinos que por el desgaste natural. Cuando un cable ha estado en servicio durante algún tiempo, se hace necesario examinar cuidadosamente la condición en que se encuentra. Tal examen ayudaría a descubrir si ha estado sometido a estiramientos indebidos, o si ya han aparecido alambres rotos. Estos pueden descubrirse a simple vista o pasando una estopa a lo largo del cable. Esto último es un procedimiento particularmente bueno para descubrir roturas en cables preformados en los que los alambres no se despliegan hacia afuera como en el caso de cables no preformados.

Finalmente, y desde el punto de vista del servicio, lo más importante es la lubricación. En el cable se consideran tres partes principales, a saber: el núcleo o alma (cáñamo o cable metálico independiente), los torones y el cable entero. Durante la fabricación estas partes son lubricadas separadamente y por varios procedimientos, de acuerdo con los métodos de los fabricantes. El alma o núcleo de cáñamo recibe una atención especial, porque la lubricación es absolutamente

esencial para preservar el cáñamo; también la compresión del núcleo o alma de cáñamo bajo la carga puede esperarse que suministre una lubricación interna al cable. Un núcleo o alma seco se desgastará y aplastará más fácilmente que uno lubricado, y por añadidura, absorberá humedad.

Aun cuando se ha dado una atención especial a la lubricación de los cables metálicos durante su fabricación y los mejores lubricantes posibles se han utilizado, no es posible que la lubricación de fábrica dure la vida del cable. Por lo tanto, la lubricación en el campo es necesaria e indispensable.

Antes de aplicar un lubricante, deberá limpiarse enteramente el cable para quitar el lodo y los lubricantes resinosos de los huecos que quedan entre los torones. Vapor recalentado, a causa de su carencia de humedad, o aire comprimido son buenos agentes limpiadores.

El objeto de la lubricación será el de obtener una cabal penetración y proteger el cable contra la corrosión. El lubricante usado será lo suficientemente del-

gado para asegurar su penetración, pero no tanto que se desprenda del cable. En consecuencia, un compuesto semiplástico aplicado en caliente, para que esté fluido, comúnmente es lo mejor, porque cuando se enfría se adhiere al cable y también sirve para eliminar el agua. La mejor manera de aplicarlo es deslizar el cable suavemente dentro de un tanque con lubricante calentado.

Hay, sin embargo, lubricantes que se emplean en frío y que son satisfactorios. Algunos se aplican con una brocha o pincel; otros, son vaciados encima del cable y esparcidos a lo largo de él. Un procedimiento consiste en usar un lubricante delgado calentado para la penetración, y luego otro más grueso para tapar las grietas y eliminar la humedad.

Varias Compañías petroleras han publicado folletos sobre métodos de lubricación, que no sólo recomiendan los tipos apropiados de lubricantes, sino que describen en términos generales los métodos de aplicación en la práctica. Para los problemas de lubricación y la selección del cable metálico, vale la pena oír la opinión y consejo de un especialista.

