

CUERDAS DE AMARRE PARA CINTURONES DE SEGURIDAD. CONSIDERACIONES PARA SU ELECCION

Por

JOSE M.^a CORTES DIAZ

Perito Industrial

INTRODUCCION

Para la realización de este estudio se ha tomado como punto de partida los numerosos ensayos dinámicos realizados en el Centro Nacional de Homologación sobre cinturones de seguridad sin arnés, utilizando un saco-maniquí de 80 kg./f. de peso y altura de caída igual a la longitud útil de la cuerda de amarre de cada modelo ensayado. Los citados ensayos han puesto de manifiesto que la cuerda de amarre empleada en gran número de modelos no siempre es la adecuada a la función que debe desempeñar.

De los 29 ensayos dinámicos, efectuados sobre igual número de modelos de cinturones de seguridad sin arnés, en 18 se produjo rotura o deformación de alguno de sus elementos. Las roturas se produjeron en las siguientes zonas:

- 10 agujeros en las fajas en que el elemento de apriete era la hebilla.
- 3 conexión de argolla en D.
- 2 cuerda o elemento de amarre.
- 2 deformación de elementos metálicos.
- 1 faja.

Las distintas causas de rotura observadas en los ensayos dinámicos realizados nos permite observar que, si bien el elemento o cuerda de amarre no fue el menos resistente (sólo en un 11,1 % de los modelos ensayados se produjo la rotura del cinturón por la cuerda o elemento de amarre), existe otro porcentaje, no posible de determinar, que habría de incrementar al anterior, el correspondiente a aquellos modelos de cinturones ensayados en los que "a priori", por la simple observación visual, pudimos establecer que la rotura tendría lugar por la conexión de argolla en D, faja o agujeros en la misma, para el apriete con hebilla, y que, por consiguiente, no sabemos cuál habría sido su comportamiento, de haber tenido que soportar el impacto del ensayo con los restantes elementos diseñados y dimensionados adecuadamente.

Si bien cada una de las causas de rotura merecen por sí sola constituir el objeto de un estudio independiente, el hecho de que la sustitución de este elemento, en aquellos casos que no sea el adecuado, se puede realizar sin ninguna dificultad y con poco coste, tanto en los cinturones existentes en el mercado, como en uso, han motivado el presente estudio, que por otra parte puede evitar accidentes mortales, en tanto se consiga que todos los cinturones de seguridad hayan sido homologados por este Centro.

El presente trabajo ha presentado varias etapas:

- A) Análisis del material y características técnicas de las cuerdas de amarre utilizadas en los cinturones de seguridad existentes en el mercado.
- B) Establecimiento de las características que han de poseer las cuerdas de los cinturones de seguridad.
- C) Fijación de los métodos de ensayo, para determinar las características indicadas.
- D) Puesta a punto de los métodos de ensayo y resultados obtenidos sobre los mismos tipos de cuerdas.
- E) Establecimiento de las conclusiones.

A) ANALISIS DEL MATERIAL Y CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS CUERDAS DE AMARRE UTILIZADAS EN CINTURONES DE SEGURIDAD

Se han estudiado en 37 modelos distintos de cinturones la naturaleza y características de sus cuerdas de amarre, resultando que:

- En 11 de ellos el material constituyente era nylon.
- En 8, polietileno.
- En 6, pita.
- En 5, cáñamo.
- En 6 no fue posible su identificación debido a encontrarse en estado de uso.
- En 1, poliéster (trevira).

La fibra natural, se presenta, pues, como constituyente de las cuerdas en un 29,7 por 100 de los casos, mientras que en los restantes, la fibra empleada es artificial o sintética.

En cuanto al diámetro, es muy variable, presentando valores que oscilan entre los 9 y 11 mm., correspondiendo los más elevados a las cuerdas de fibra natural y de polietileno.

Tomando estos valores como base, y para la determinación de sus características, hemos elegido los siguientes tipos de cuerdas:

- Cáñamo (de 14 y 15 mm. de diámetro).
- Pita (de 13 y 14 mm. de diámetro).
- Pita tratada (16 mm. de diámetro).
- Polietileno (de 12, 13 y 15 mm. de diámetro).
- Poliéster (trevira) (de 12 mm. de diámetro).
- Poliamida (nylon) (de 11 y 12 mm. de diámetro).
- Poliamida (nylon cortado) (de 14 milímetros de diámetro).
- Poliamida (nylon) (de 10 mm. de diámetro).
- Polipropileno (de 12 mm. de diámetro).

B) CARACTERISTICAS COMUNES A LAS CUERDAS DE AMARRE DE LOS CINTURONES DE SEGURIDAD

De nuestra observación en los ensayos efectuados en el Centro Nacional de Homologación, así como del análisis de las circunstancias que inciden en el cinturón durante su uso, deducimos que las cuerdas de amarre a utilizar en cinturones de seguridad deben reunir las siguientes características:

- Elevada resistencia a la tracción (superior a los 1.000 kg./f.).
- Gran capacidad para absorber impactos.
- Elevada resistencia a la abrasión.
- Flexibilidad.
- Elevado índice comparativo resistencia/peso.
- Escaso poder de degradación por la acción del medio ambiente (frío, calor, humedad, radiaciones UV, lluvia, abrasión, etc.).

En determinados casos, y para fines concretos se podrá requerir características especiales (resistencia a salpicaduras de metales fundidos, resistencia a determinados ambientes químicos, etc.), aunque ello signifique la reducción de alguna de sus características generales.

De todas estas propiedades, sólo una, la resistencia a la tracción, se valora en todas las normas internacionales. De ahí que nuestro objetivo fundamental estribe en llegar al establecimiento de un método de ensayo de tracción con el que los resultados obtenidos puedan ser comparativos, y en el que se incluya no sólo la determinación de la resistencia a la tracción, sino otras características técnicas de interés, como son: masa neta, por metro, diámetro, sentido de torsión y alargamiento.

C) METODO DE ENSAYO DE TRACCION DE CUERDAS

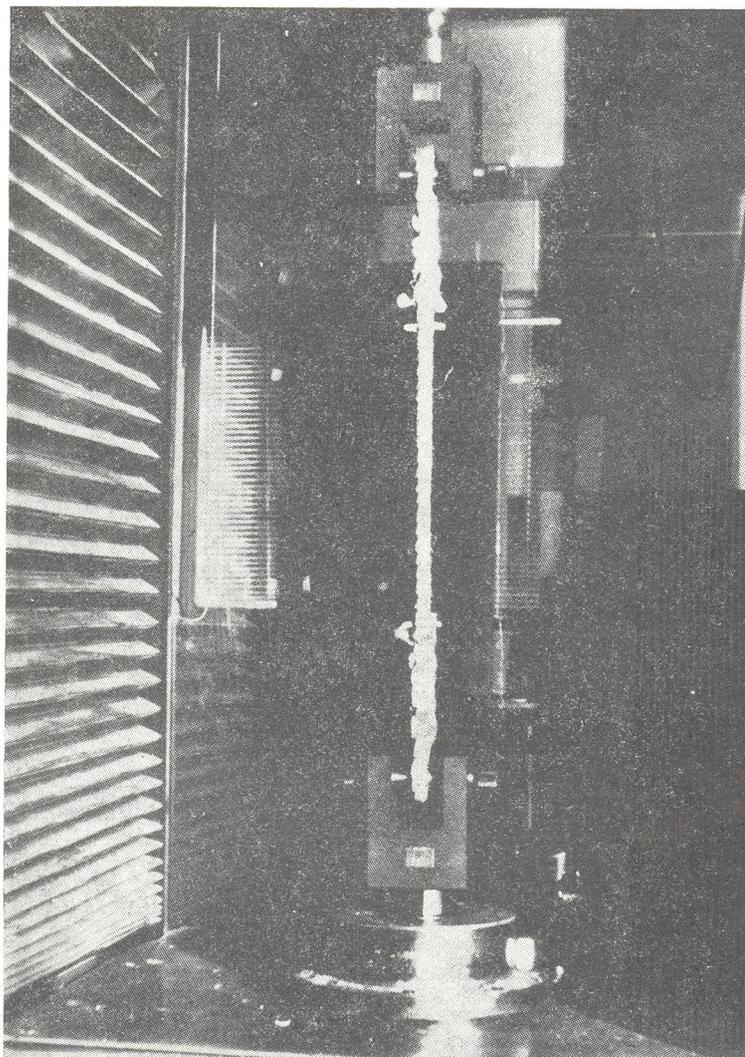
Del estudio de las distintas normas nacionales y extranjeras y tras numerosos ensayos efectuados por el Centro Nacional de Homologación, hemos llegado al establecimiento de un método de ensayo de cuerdas, el cual, si bien en principio ha sido pensado para ensayar cuerdas de cinturones, podrá ser de aplicación a los ensayos a efectuar sobre cualquier tipo de cuerda, cualquiera que fuese su empleo y siempre que su diámetro sea semejante al de las cuerdas de amarre de los cinturones de seguridad.

Consta el presente método de una primera parte, donde se definen los conceptos de: cuerdas, cordón, filásticas, filamento, alma, sentido de torsión, paso, diámetro, masa lineal, fuerza de tracción de medida, fuerza de rotura, coeficiente de rotura y coeficiente de seguridad, y una segunda parte, donde se describe el método operativo, dimensiones de las probetas, número, acondicionamiento, mediciones, realización del ensayo e interpretación de resultados.

Los valores obtenidos para la carga de rotura fueron:

- Superior a 2.000 kg./f. en nueve (correspondientes a siete modelos).
- Comprendido entre 1.000 y 2.000 kg./f. en 16 (correspondientes a 12 modelos).
- Inferior a 1.000 kg./f. en ocho (correspondientes a siete modelos).

En el 28 por 100 de los modelos ensaya-



Ensayo de tracción.

D) RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PUESTA A PUNTO DEL METODO DE ENSAYO

Para la puesta a punto del citado método de ensayo de cuerdas se han utilizado 33 probetas correspondientes a 23 modelos de cinturones.

dos, la cuerda de amarre no superó los 1.000 kg./f.

Nota.—En tres modelos, al ensayar sobre más de una probeta, se obtuvieron resultados muy semejantes, aunque en distintos grupos de los anteriormente enumerados.

RESUMEN DE ENSAYOS EFECTUADOS SOBRE DISTINTOS TIPOS DE CUERDAS

| MATERIAL | φ (mm) | PASO | Nº CORD. | SENTIDO DE TORSION | Ø CORCON | ALMA | MASA META POR METRO | INDICE RESISTENCIA/PESO | ALARGAMIE. | RESISTENCIA A LA TRACCION | FLEXIBILIDAD | RESISTENCIA A LA ABRASION(1) | RESISTENCIA A 50°C | RESISTENCIA A LA SOLDADURA | RESISTENCIA A RADIACIONES SOLARES |
|---------------|--------|------|----------|--------------------|----------|------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Cañamo | 15 | 47 | 4 | Z | 7 | - | 126,00 | 9.522,00 | 21% | 1.800,00 | Excelente (e) Piedra bastante(h) | 360 -7% | 1.500 -4,16 | 1.180 -3,2% | 1.205 -18,05% |
| Cañamo | 14 | 50 | 4 | Z | 6 | - | 126,60 | 9.682,00 | 6,25 | 1.440,00 | " | | | | |
| Pita | 14 | 58 | 4 | Z | 7 | - | 119,00 | 12.269,00 | 7,9 | 1.460,00 | " | | | | |
| Pita | 13 | 47 | 4 | Z | 6 | - | 130,00 | 13.363,63 | 5,8 | 1.470,00 | " | 1.300 -11,56 | 1.410 -4,08% | | 1.640 -11,56% |
| Pita | 14 | 55 | 4 | Z | 6 | - | 111,00 | 11.846,84 | 6,0 | 1.315,00 | " | 1.380 +4,94 | 1.375 +4,5% | 1.300 -1,14% | 1.240 -5,17% |
| Pita tratada | 16 | 73 | 3 | Z | 9 | - | 156,00 | 14.423,00 | 5,0 | 2.250,00 | " | | | | |
| Poliétileno | 15 | 45 | 4 | Z | 5 | 1,5 | 105,46 | 9.008,00 | 33 | 895,00 | Buena | 780 -12,8% | 620 -30,72 | 120 -86,59% | 680 -24,02% |
| Poliétileno | 15 | 45 | 4 | Z | 6,5 | 3 | 95,00 | 10.105,00 | 36 | 960,00 | " | | | | |
| Poliétileno | 12 | 40 | 4 | Z | 5 | - | 69,93 | 9.710,10 | - | 670,00 ⁽²⁾ | " | 600 -10,04 | 460 -31,34 | 235 -64,92% | |
| Poliétileno | 12 | 35 | 4 | Z | 5 | - | 63,36 | 6.984,00 | - | 440,00 | " | 320 -27,2% | 300 -27,27 | 170 -61,36% | 400,00 -9,09% |
| Poliétileno | 13 | 45 | 4 | Z | 6 | - | 66,17 | 7.272,00 | - | 480,00 | 2 | 340 -29,16% | 340 -29,16 | 35 -92,7% | |
| Trevira | 12 | 40 | 4 | Z | 5 | - | 105,3 | 16.777,40 | 16,9 | 1.760,00 | Excelente | | | | |
| Trevira | 12 | 40 | 3 | Z | 6 | - | 88,3 | 21.291,00 | 13,5 | 1.880,00 | " | | | | 1.620 -13,8% |
| Trevira | 12 | 40 | 4 | Z | 5 | - | 108,17 | 17.037,03 | 18,7 | 1.840,00 | " | 1.760 -4,3% | 1.540 -16,30 | 1.790 -2,7% | |
| Trevira | 10 | 33 | 4 | Z | 4 | - | 78,32 | 17.113,06 | 25,0 | 1.340,00 | " | 1.100 -17,9% | 1.280 -4,47 | | |
| Nylon | 12 | 40 | 4 | Z | 5 | - | 95,8 | 22.964,5 | 22,8 | 2.200,00 | Excelente (e) Piedra algo(h) | 1.600 -27,2% | 1.720 -21,81 | | 1.520 -30,90% |
| Nylon | 11 | - | - | BRAID LINE | - | - | 72,00 | 27.777,7 | 18,75 | 2.200,00 | " | 1.500 -31,81 | 2.250 +2,27% | 1.500 -25% | 1.975 -10,22% |
| Nylon cortado | 14 | 45 | 4 | Z | 6 | - | 92,76 | 9.924,5 | 39,13 | 920,00 | " | 460 -50% | 980 +6,58% | | |
| Rilón | 10 | 30 | 4 | Z | 4 | - | 62,73 | 27.751,2 | 25,78 | 1.740,00 | " | 340 -80,04% | 1.880 +8,04% | 1.440 -17,27% | |
| Polipropileno | 12 | 40 | 4 | Z | 5 | - | 67,1 | 21.194,02 | 25,00 | 1.420,00 | Excelente | 1.060 -25,3% | 1.120 -21,15% | 1.340 -5,6% | |

(1) Resistencia retenida despues de 500 ciclos con piedra granitica.

(2) No llegó a romper por el gran alargamiento.

E) CONCLUSIONES

El establecimiento del método de ensayo ha permitido, por una parte, la fijación de un método de ensayo de tracción para la cuerda de amarre y, por otra, el establecimiento por pérdida de su resistencia a la tracción de características tan importantes como capacidad para absorber impactos, índice resistencia/peso, resistencia a la abrasión, en caliente, a la luz solar y a salpicaduras de metales fundidos.

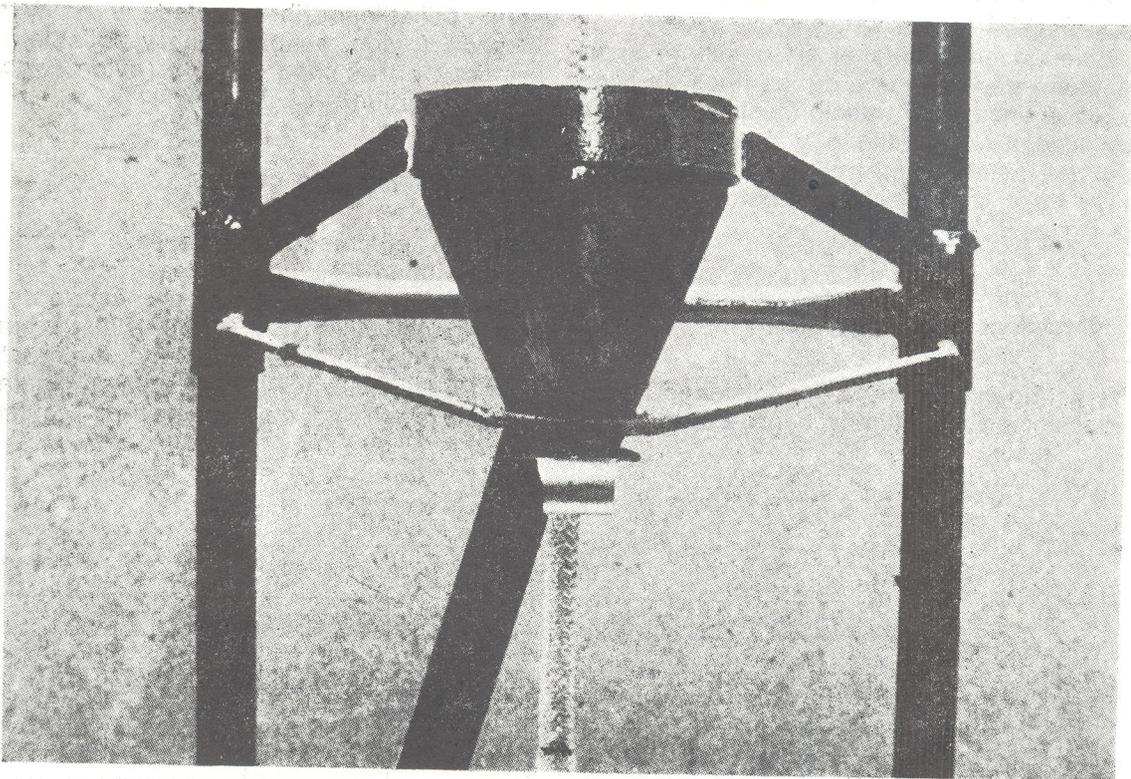
a) Índice comparativo resistencia/peso

Es una propiedad muy importante, pues nos define, por medio de la relación fuerza/peso, la calidad de los cabos.

bajo, el polietileno (fibra lisa), se han obtenido los siguientes resultados:

| | Índice Resistencia/ peso (metros) | Referido al polietileno (fibra lisa) |
|------------------------------|--|--|
| Nylon trenzado redondo ... | 30.550 | 4,33 |
| Rilón | 27.700 | 3,92 |
| Nylon trenzado helicoidal. | 22.964 | 3,25 |
| Polipropileno | 21.190 | 3,00 |
| Poliéster (trevira) | 18.054 | 2,64 |
| Pita tratada | 14.420 | 2,04 |
| Pita | 12.480 | 1,77 |
| Nylon cortado | 9.924 | 1,37 |
| Cáñamo | 9.600 | 1,36 |
| Polietileno (fibra cortada). | 9.600 | 1,36 |
| Polietileno (fibra lisa) ... | 7.050 | 1,00 |

Estos valores, si bien nos permiten una primera clasificación, en función de esta rela-



Ensayo de abrasión.

El índice resistencia/peso pretende representar, pues, la resistencia de una cuerda en función de su peso, expresada normalmente en metros, y expresa los metros necesarios de un tipo determinado de cuerda para que su peso total represente exactamente su resistencia a la tracción.

Independientemente de la resistencia mínima de 1.000 kg./f. que debe superar cada tipo de cuerda, el citado índice ordena las diversas calidades de cuerdas.

Realizados los correspondientes ensayos y referidos al índice resistencia/peso más

ción, no es suficiente para permitir una buena elección, ya que las cuerdas empleadas en cinturones deben poseer otras características complementarias de la anterior y que hemos de valorar.

En atención a este primer apartado, como vemos en el anterior cuadro, los materiales estudiados han quedado agrupados en relación al valor de su índice de resistencia en: **Muy alto índice de resistencia** (nylon y rilón), **Alto** (polipropileno y poliéster), **Bajo** (pita, cáñamo y polietileno fibra cortada) y **Muy bajo** (polietileno fibra lisa).

b) **Capacidad para absorber impactos**

La capacidad para absorber impactos es fundamental cuando no se dispone de amortiguadores de caída.

De todos es conocido cómo dicha capacidad es función de la mayor o menor deformación experimentada por la cuerda, al objeto de poder absorber la mayor cantidad de energía del choque. Por ello, la extensibilidad de las cuerdas medidas durante el ensayo de tracción, constituyen un buen criterio para poder discernir sobre la idoneidad de las mismas.

Sobre los mismos tipos de cuerdas hemos estudiado esta capacidad en función del alargamiento experimentado por las distintas probetas con 800 kg./f. de carga, es decir, el 80 por 100 de la carga mínima que se estima necesaria.

Teniendo en cuenta el alargamiento experimentado por cada uno de los tipos de cuerdas en el ensayo de tracción, éste resultó ser: **Muy elevado** (polietileno y nylon cortado), **Elevado** (nylon, rilon, polipropileno y poliéster) y **Poco elevado** (fibras naturales: cáñamo y pita).

c) **Resistencia a la abrasión**

Teniendo en cuenta las condiciones de trabajo del cinturón, hemos considerado de in-

terés conocer la capacidad de los distintos tipos de cuerda para retener su resistencia después de ser sometidos durante un cierto tiempo a frotaciones sucesivas.

Para la realización de este ensayo, sobre los mismos tipos de cuerdas, hemos empleado un dispositivo consistente en una pieza troncocónica en la que el elemento abrasivo, piedra granítica, se desplaza manteniendo la cuerda en su interior hasta completar 500 ciclos.

El tipo de abrasivo elegido, formado por piedras con superficies cortantes, aunque constituye una abrasión muy brusca nos ha permitido distinguir claramente esta acción en aquellos materiales, cuya resistencia ante esta acción es muy elevada.

El resultado de estos ensayos mostraron que la resistencia retenida fue: **Muy elevada** (pita, polietileno fibra cortada y poliéster), **Elevada** (nylon, polipropileno y polietileno fibra lisa) y **Muy poco elevada** (nylon cortado, cáñamo y rilon).

d) **Resistencia en caliente**

Se ha efectuado este ensayo sobre los mismos tipos de cuerdas, después de permanecer durante cuatro horas en cámara de calor-humedad a 50° C y 65 por 100 de humedad relativa, manteniendo esta temperatura durante la realización del ensayo mediante cámara ambiental de temperatura regulable.

C O N C L U S I O N E S

| | Indice resistencia/peso | Capacidad para absorber impact. | Resistencia a la abrasión | Resistencia a la radiación solar | Resistencia en caliente | Flexibilidad | Resistencia a la soldadura |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|
| NYLON (TRENZADO REDONDO) | Valores muy altos | Valores altos | Valores aceptables | Valores no aconsejables | Valores no aconsejables | Valores aceptables | Valores aceptables |
| NYLON (TRENZADO HELICOIDAL) | Valores muy altos | Valores altos | Valores aceptables | Valores no aconsejables | Valores no aconsejables | Valores aceptables | Valores aceptables |
| NYLON (CORTADO) | Valores muy altos | Valores altos | Valores aceptables | Valores no aconsejables | Valores no aconsejables | Valores aceptables | Valores aceptables |
| RILON | Valores muy altos | Valores altos | Valores aceptables | Valores no aconsejables | Valores no aconsejables | Valores aceptables | Valores aceptables |
| POLIPROPILENO | Valores muy altos | Valores altos | Valores aceptables | Valores no aconsejables | Valores no aconsejables | Valores aceptables | Valores aceptables |
| POLIESTER (TREVIRA) | Valores muy altos | Valores altos | Valores aceptables | Valores no aconsejables | Valores no aconsejables | Valores aceptables | Valores aceptables |
| POLIETILENO (FIBRA LISA) | Valores muy altos | Valores altos | Valores aceptables | Valores no aconsejables | Valores no aconsejables | Valores aceptables | Valores aceptables |
| POLIETILENO (FIBRA CORTADA) | Valores muy altos | Valores altos | Valores aceptables | Valores no aconsejables | Valores no aconsejables | Valores aceptables | Valores aceptables |
| CAÑAMO | Valores muy altos | Valores altos | Valores aceptables | Valores no aconsejables | Valores no aconsejables | Valores aceptables | Valores aceptables |
| PITA | Valores muy altos | Valores altos | Valores aceptables | Valores no aconsejables | Valores no aconsejables | Valores aceptables | Valores aceptables |

Valores muy altos Valores aceptables
 Valores altos Valores no aconsejables

CNI 00.141-2MP

Como resumen de los ensayos realizados podemos indicar que la acción del calor no afecta por igual a todos los materiales, pues mientras en unos origina una disminución de su resistencia, en otros aumenta ligeramente. **De todos los tipos de cuerda ensayados, el polietileno resulta ser el más afectado por esta acción, con pérdidas del orden del 30 por 100, seguido de nylon y poliéster (Trevira).**

e) Resistencia a la radiación solar

Para la realización de este ensayo han sido expuestas las distintas muestras a radiación solar, en Sevilla, durante los siguientes períodos de tiempo:

| | | |
|---------------------------------|-----|----------------|
| Polietileno (15 mm.) | ... | 12-7 al 7-9-74 |
| Pita (13 mm.) | ... | 12-7 al 7-9-74 |
| Pita (14 mm.) | ... | 13-7 al 7-9-74 |
| Cáñamo (14 mm.) | ... | 12-7 al 7-9-74 |
| Nylon (12 mm.) | ... | 22-7 al 7-9-74 |
| Nylon trenzado redondo (11 mm.) | ... | 3-7 al 7-9-74 |
| Trevira (12 mm.) | ... | 31-7 al 7-9-74 |
| Polietileno (12 mm.) | ... | 3-7 al 7-9-74 |
| Polietileno (13 mm.) | ... | 3-7 al 7-9-74 |

Si bien este ensayo no es muy significativo, por no haberse podido realizar con todas las muestras, y en las ensayadas no haberse realizado después de permanecer expuestas al sol durante igual período de tiempo, hemos observado que las pérdidas de resistencia fueron: **Altas** (polietileno fibra cortada), **Considerables** (nylon), **Aceptables** (poliéster y polietileno fibra lisa) y prácticamente **Nulas** (pita).

f) Flexibilidad

Por comparación con los distintos tipos de cuerdas hemos podido establecer que las cuerdas fabricadas con fibra de trevira, nylon, polipropileno multifilamento y cáñamo ofrecen flexibilidad muy superior a las del polietileno y pita, manteniéndola todos los cabos en húmedo, a excepción del nylon, el cáñamo y la pita, que endurecen ligeramente.

g) Resistencia a salpicaduras de metales fundidos

Por último, en los trabajos de montaje de estructuras soldadas, es frecuente que la cuerda esté expuesta a salpicaduras de metal fundido, por lo que hemos considerado interesante conocer el comportamiento de las distintas cuerdas a este medio.

Este ensayo se ha realizado sobre 10 tipos de cuerdas y ha consistido en lo siguiente: dispuestas cinco probetas de tracción paralelamente y distanciadas entre sí 45 ± 5 milímetros de forma que al fundir con electrodo de 2,5 mm. una varilla de acero de 7 mm. de diámetro a una altura de unos 250 mm. de la superficie determinada por las cuerdas, las gotas fundidas caigan en su mayoría en la cuerda central.

Cada minuto de funcionamiento del electrodo, se giraron las cuerdas 180° , sin variar su posición, desplazándose cada dos minutos de su posición, de forma que todas al finalizar el ensayo hayan ocupado las mismas posiciones, consiguiéndose a los diez minutos. Durante todo este tiempo la varilla y el electrodo formaban ángulo de 90° .

Como resultado de los ensayos anteriormente indicados, hemos llegado a la conclusión de que **las cuerdas de fibra natural, poliéster y polipropileno ofrecen un resultado excelente, bueno el nylon y el rilon y muy malo el polietileno.**

En atención a cuanto hemos expuesto, recomendamos que la cuerda a emplear en cinturones de seguridad sea de fibra artificial (nylon: mejor trenzado redondo, poliéster y polipropileno), pudiendo emplear las de fibra natural en trabajos de soldadura, siempre que se utilice con amortiguadores de caída.

El siguiente cuadro-resumen de las conclusiones emitidas puede servir de guía en la elección de la cuerda de amarre ante unas determinadas condiciones de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- IV Ponencia. II Jornadas Nacionales de Seguridad en la Construcción.
- Propuesta Norma UNE. Cuerda de Poliolefina a tres cabos.
- UNE 1411/7510/0101. Cuerdas de cáñamo.
- NIOSA 25.08-1. Cuerdas de fibras vegetales.
- NF-G 36-023. Cordages en nonofilaments en laines textiles de Polypropylène a huit torons trossés.
- NF-G 36-051. Essais des cordages.
- ISO 1970. Cordages trassés de manille et sisal á huit torons.
- ISO R 1969. Cordages en nonofilaments de polyéthylène á trois torons.
- ISO 1968. Cordages et articles de corderie. Vocabulaire.
- ISO R 1140. Cordages en multifilaments de polyamide á trois torons.
- ISO R 1141. Cordages en multifilaments de polyester á trois torons.
- G 36-053. Cordes d'alpinisme.
- IT 504, 508, 505, 503, 502, 501, 507 y 509. HILCOSA.