

EL CINTURON D

De todos es conocido cómo la capacidad amortiguadora de los elementos constituyentes del cinturón es fundamental para absorber la energía cinética en las caídas y evitar que las presiones transmitidas a la persona alcancen valores excesivos.

Este artículo pretende justificar y describir un método experimental, fácil de llevar a la práctica, que permita, tanto a los fabricantes como a los usuarios, conocer previamente la capacidad amortiguadora de las cuerdas o elementos de amarre de los cinturones así como la de los dispositivos o elementos de amortiguación y frenado incorporados a los mismos.

A pesar de que la normativa internacional más conocida describe los métodos de ensayos y fija los valores resistentes que se consideran adecuados para los elementos constitutivos de los cinturones, está claro que estos valores se refieren a ensayos estáticos de rotura sin tener en cuenta el comportamiento dinámico de estos equipos o de sus elementos de amarre.

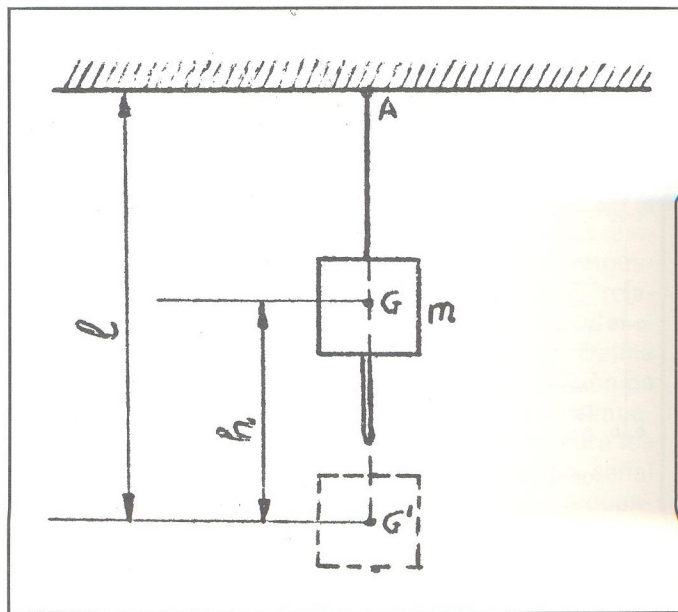
Antes de describir el método de ensayo, se ha estimado conveniente hacer una introducción explicativa acerca de los fenómenos más elementales que suceden en la caída de un cuerpo, ligado a un elemento de amarre del que se desprecia su peso propio. Tampoco se tendrán en cuenta los fenómenos de movimiento pendular y oscilaciones a los que pudiera estar sometido el citado cuerpo, ya que se considera que en el instante inicial los extremos A y G del elemento de amarre se encuentran en la misma vertical.

Como se sabe, cuando tiene lugar la caída libre de un cuerpo rígido, de masa m , atado por su centro de gravedad a una cuerda de longitud l , desde una altura h , el cuerpo cae libremente alcanzando al final del recorrido h , una energía cinética equivalente a la potencial mgh . Entonces, la cuerda comienza a alargarse hasta que (si no se rompe) sufre una deformación máxima Δl_1 (instante en que el cuerpo es totalmente frenado), y se genera una fuerza de reacción que tiende a llevarle a una posición de equilibrio quedando finalmente con un alargamiento Δl_0 , que corresponde, aproximadamente, al que tendría la cuerda si se sometiese a un ensayo estático de tracción bajo una fuerza igual al peso del cuerpo que cae.

En líneas generales, podemos resumir el fenómeno especificando que, durante el alargamiento Δl de la cuerda, la fuerza de deformación de la misma realiza un trabajo. Si la cuerda no rompe, este trabajo

absorbe la energía cinética alcanzada por la masa m al final de su recorrido libre h .

Por supuesto, la citada fuerza de deformación no tiene un valor constante, sino que varía durante el transcurso del fenómeno. Ahora bien, si el máximo valor que alcanza esta fuerza durante la deformación de la cuerda es inferior a la carga de rotura de la misma, ésta no se romperá y será capaz de frenar y detener, manteniéndolo suspendido, al cuerpo de masa m . Lo mismo sucedería si se atase el cuerpo a un cable de acero, si bien en este caso, se obtendrían valores mayores de la fuerza y menores alargamientos, para la misma altura de caída, que en el caso precedente.



Como es lógico, cada tipo de cuerda y de material con que se confecciona, darán distintos valores tanto de la fuerza como de los alargamientos.

En el supuesto de que el cuerpo que cae libremente, desde la altura h , sea el de una persona que lleve colocado un cinturón de seguridad, el fenómeno es muy similar, aunque el trabajo de deformación ya no lo realiza sólo y exclusivamente el elemento de amarre sino que también intervienen, en mayor o menor grado, tanto el resto del cinturón como el propio individuo.

Descripción elemental de la caída libre de un cuerpo atado. Método práctico para medir el esfuerzo máximo originado en la misma.

DE SEGURIDAD

En este caso, no basta exclusivamente con que el valor máximo de las fuerzas de deformación del elemento de amarre sea inferior a las cargas de rotura de los elementos del cinturón, sino que además y principalmente, este valor máximo no debe llegar a alcanzar límites peligrosos para el usuario. ¿Cómo debe conseguir esto el fabricante? Indudablemente, compaginando en el diseño y confección del cinturón, los cuatro puntos siguientes:

1.º Utilizando materiales de características mecánicas resistentes, de acuerdo con los esfuerzos previstos.

2.º Procurando que la fuerza de deformación sea lo más pequeña posible. Esto se consigue mediante la incorporación de un elemento de amarre de gran elasticidad y capacidad amortiguadora. Es decir, que este elemento sea el que absorba la mayor parte de la energía de caída, minimizando la fuerza (generalmente alargando mucho), sin que se produzcan oscilaciones muy apreciables ni en amplitud ni en frecuencia.

3.º Disponiendo las partes del cinturón que estén en contacto con el usuario, de manera que abarquen una superficie extensa del cuerpo e impidiendo que se ejerzan presiones excesivas sobre el mismo. No obstante este aspecto no debe exagerarse, ya que el usuario necesita moverse y tomar diversas posturas en la realización de su trabajo.

4.º Fijando las zonas del cuerpo, sobre las que se hayan de repartir las presiones, de forma que sean las más adecuadas para evitar o mitigar posibles daños.

De acuerdo con lo indicado al comienzo de este artículo, fijaremos la atención en el punto 2.º y, más concretamente, en el estudio de la posibilidad de que el propio fabricante, utilizando un sistema elemental y poco costoso, pero fiable, pueda efectuar sus propias mediciones.

Entre los estudios más interesantes realizados con este fin, merecen destacarse, por su importancia, los efectuados por M. Amphoux, P. Poli, A. Sevin, G. Noël y G. Ardouin en Francia, en los que se tomaron una serie de medidas realizadas tanto con un maniquí especial como, incluso, con personas. En estos estudios se expuso la siguiente fórmula para el conocimiento previo de la máxima fuerza de deformación originada en una caída libre o esfuerzo dinámico:

$$F = P + \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2h SE}{LP}} \right]$$

en la que

P = Peso que cae

h = Altura de caída

S = Sección del elemento de amarre

E = Módulo de elasticidad del elemento de amarre

L = Longitud del elemento de amarre.

Sin embargo, la fórmula dada por G. Ardouin, a nuestro juicio, no está exenta de reparos y carece de una verdadera aplicación práctica, ya que exige el conocimiento previo del valor de E y sabemos los inconvenientes que ello trae consigo en el caso concreto de las cuerdas.

En cuanto al máximo valor admisible de la citada fuerza, puede sacarse una buena idea orientativa, tanto de los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas con una persona, y que publicó G. Noël en el n.º 295-296 (1972) en las «Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics», como de la norma experimental AFNOR S 71-020 de junio de 1974, en que se establece, como límite admisible sobre el elemento de amarre, ensayado con maniquí de 80 kgs., un esfuerzo máximo de 6.000 N (611,6 kgf).

Hechas las consideraciones anteriores, entraremos de lleno en el fundamento y descripción tanto de las incidencias técnicas que se presentaron en su puesta a punto como de las posibilidades de aplicación.

FUNDAMENTO DEL METODO

El sistema utilizado está basado en la resistencia que oponen los materiales a dejar que otro más duro, sobre el que se aplica una fuerza, penetre en él, dejando una huella que es proporcional a la fuerza aplicada.

DESARROLLO

Con objeto de realizar la medición de la fuerza dinámica, utilizando elementos de fácil adquisición en

el mercado, se ha montado el «dinamómetro de huella» que aparece en la fotografía. Como puede apreciarse, consta de dos grapas para cables de acero que obligan a comprimirse mutuamente, cuando se someten a las fuerzas de tracción indicadas, a una bola de acero y a una placa - patrón de aluminio recocido.

Mediante una serie de ensayos, se comprobó (Tablas I y II) que se obtenían huellas muy similares si,

en una Máquina Universal, se sometían a compresión la bola de acero y la placa - patrón, bien directamente o a través del dinamómetro de huella. La velocidad de aplicación de las cargas fue en este segundo caso muy superior a las del primero, con objeto de tratar de conseguir una aproximación aceptable del fenómeno dinámico. A partir de estos ensayos se confeccionó la Tabla III donde se indican los valores de las

TABLA I

Diámetro huella (mm)	Cargas aplicadas en compresión (kgf)									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
d ₁	2,48	2,91	3,34	3,64	4,02	4,33	4,59	4,82	5,06	
d ₂	2,44	2,98	3,41	3,70	4,08	4,33	4,65	4,90	5,11	
d ₃	2,47	2,97	3,38	3,77	4,08	4,32	4,60	4,84	5,07	
d _m	2,46	2,95	3,38	3,70	4,06	4,33	4,61	4,85	5,08	

Diámetro huella (mm)	Cargas aplicadas en compresión (kgf)									
	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1.000
d ₁	5,59	5,60	5,90	6,13	6,32	6,52	6,69	6,78	7,06	7,19
d ₂	5,45	5,66	5,85	6,04	6,25	6,42	6,57	6,79	7,02	7,13
d ₃	5,44	4,69	5,86	6,07	6,23	6,53	6,48	6,61	6,87	6,97
d _m	5,46	5,68	5,87	6,07	6,27	6,42	6,58	6,71	6,98	7,10

TABLA II

Diámetro huella (mm)	Cargas aplicadas sobre el dinamómetro (kgf)									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
d ₁	2,45	3,04	3,40	3,72	4,20	4,40	4,64	4,87	5,13	
d ₂	2,50	2,93	3,35	3,77	4,09	4,50	4,57	4,88	5,18	
d ₃	2,46	2,99	3,34	3,60	4,12	4,32	4,54	4,85	5,09	
d _m	2,47	2,99	3,36	3,70	4,14	4,41	4,58	4,87	5,13	

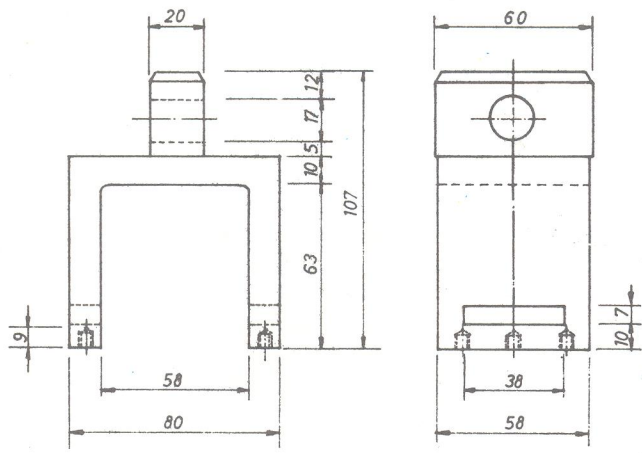
Diámetro huella (mm)	Cargas aplicadas sobre el dinamómetro (kgf)									
	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1.000
d ₁	5,63	5,85	5,90	6,25	6,52	6,51	6,78	7,07	7,26	7,14
d ₂	5,75	5,82	5,83	6,30	6,47	6,70	6,88	6,90	7,20	7,13
d ₃	5,67	5,84	6,14	6,21	6,48	6,72	6,84	6,85	7,18	7,41
d _m	5,68	5,84	5,96	6,25	6,49	6,64	6,83	6,94	7,21	7,22

TABLA III

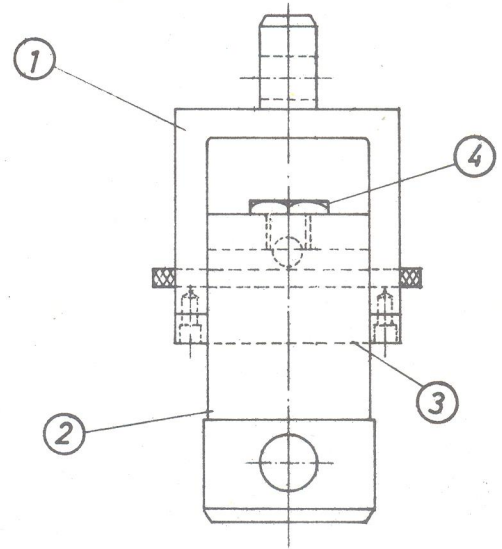
Fuerza (kgf) instantánea	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Diámetro medio huella (mm)	2,46	2,95	3,38	3,70	4,06	4,33	4,61	4,85	5,08

Fuerza (kgf) instantánea	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1.000
Diámetro medio huella (mm)	5,46	5,68	5,87	6,08	6,27	6,42	6,58	6,71	6,98	7,10

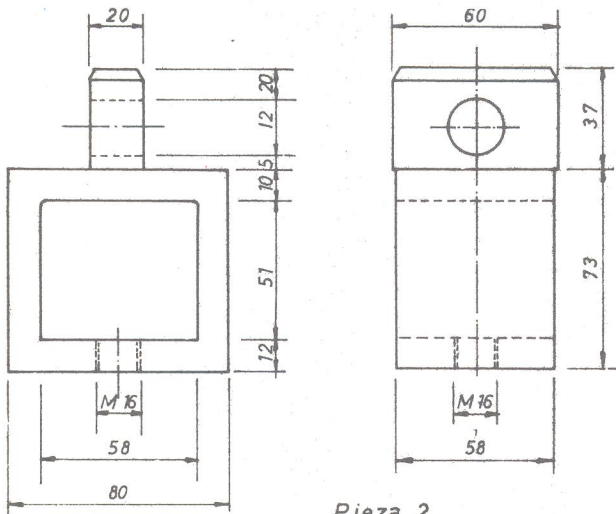
Fuerza (kgf) instantánea	1.050	1.100	1.150	1.200	1.250	1.300	1.350	1.400	1.450	1.500
Diámetro medio huella (mm)	7,37	7,50	7,65	7,79	7,94	8,07	8,19	8,32	8,40	8,57



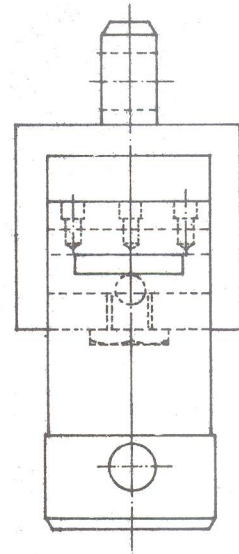
Pieza 1



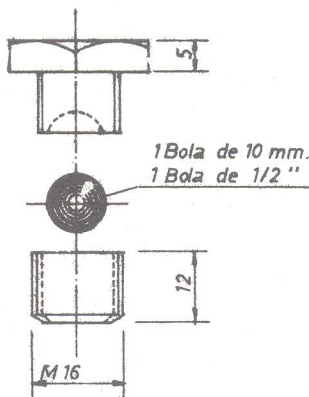
Cotas en mm.



Pieza 2



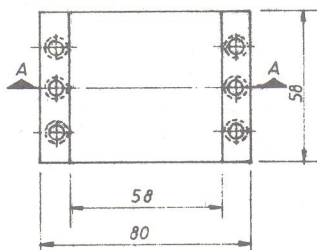
Sección A-A



1 Bola de 10 mm.
1 Bola de 1/2"

Pieza 4

Esc 1:1



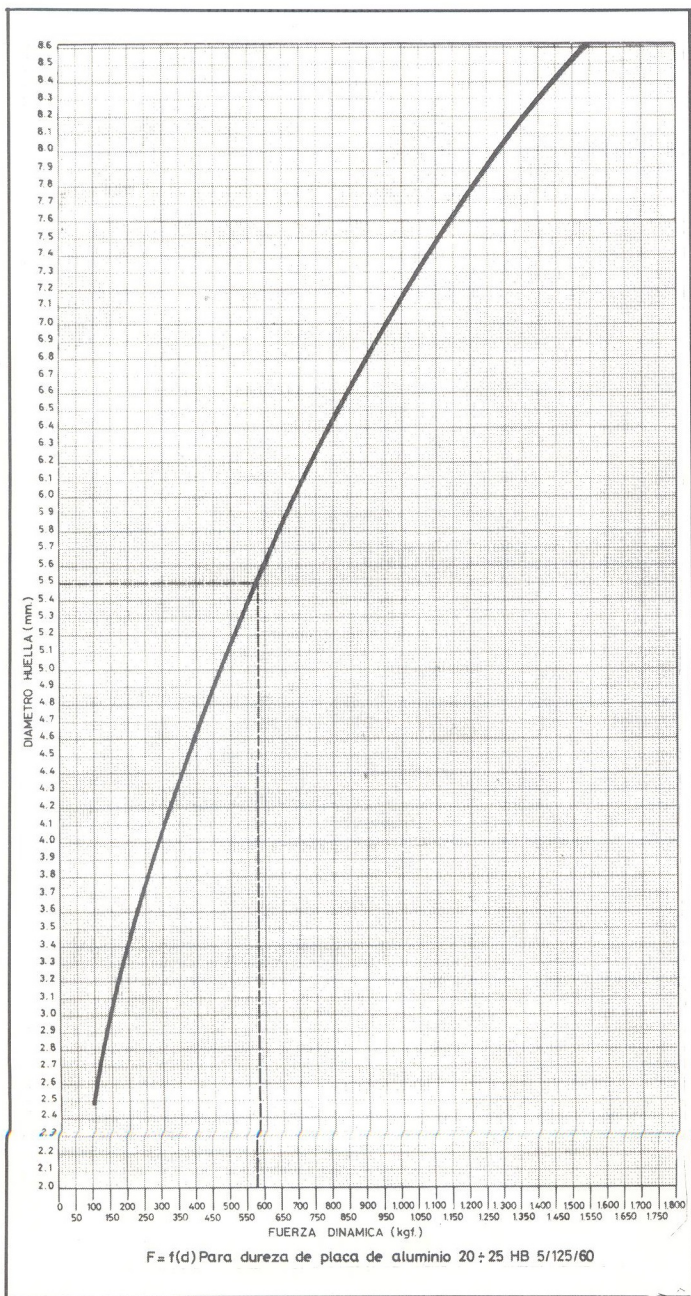
Pieza 3

DINAMOMETRO DE HUELLA

DETALLES Y CONJUNTOS

fuerzas dinámicas correspondientes a cada diámetro medio de la huella.

A continuación se realizaron pruebas dinámicas de caídas en las que se determinaron, por una parte, los diámetros medios de las huellas obtenidas con el dinamómetro, y por otra, los valores máximos de las fuerzas dinámicas registradas por un transductor piezoeléctrico incorporado a un osciloscopio. A partir de los valores medios de las huellas calculados en estas pruebas dinámicas, se dedujo, por aplicación de la Tabla III el valor de la fuerza correspondiente. Comparando este valor con el de la máxima fuerza registrada por el osciloscopio, se apreció que las diferencias de ambas medidas no eran superiores, en ningún caso,



al 8 %. Por ello y mediante las oportunas correcciones, se confeccionó el Gráfico I en el que se ha representado en ordenadas, los valores medios de los diámetros de huella obtenidos con el dinamómetro, y en abscisas, los correspondientes valores de la fuerza dinámica.

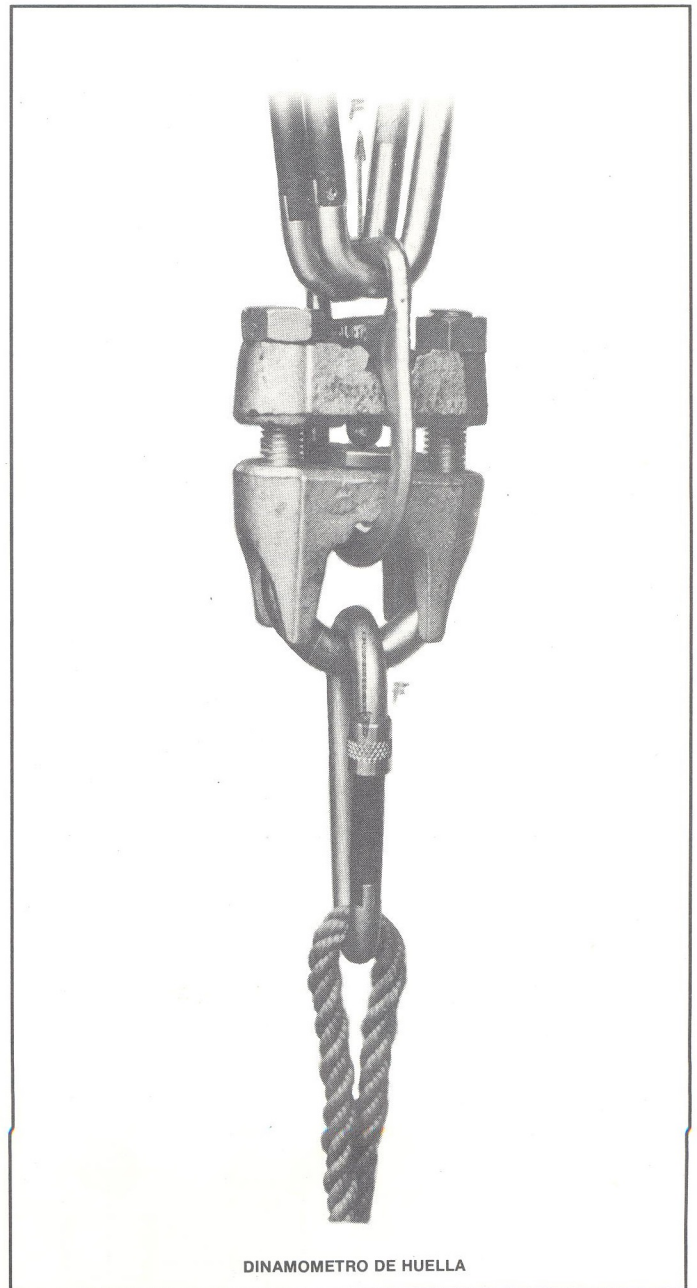
APLICACION

Como resumen, para su aplicación práctica, indicaremos:

—La placa-patrón de aluminio a utilizar debe tener una dureza de 20 a 25 HB 5/125/60 y un espesor uniforme de 7 mm. como mínimo.

—La superficie de la citada placa, sobre la que actúa la bola de acero, debe estar exenta de todo tipo de defectos o resaltes (preferiblemente pulida).

—Con objeto de obtener una mayor exactitud las bolas de acero a utilizar serán de 10 mm. (para fuerzas iguales o inferiores a 500 kgf) y de 12,7 mm. de diámetro (para valores superiores a los 500 kgf).



—El centro de la huella, para que sea válida la prueba, debe distar del borde de la placa, al menos dos veces el diámetro de la huella.

Su colocación es muy sencilla, ya que el montaje del mismo en el pórtico o instalación de ensayo se efectúa acoplando uno de sus extremos al punto de

anclaje y en el otro se engancha el mosquetón del cinturón a ensayar que, previamente, se ha abrochado al maniquí (saco de 80 kgs.).

Para la realización de las pruebas se eleva el maniquí hasta que el punto de conexión del elemento de amarre a la faja coincida con el punto de anclaje (dinamómetro, en el que se ha dispuesto la placa - patrón) y se deja caer libremente, sin velocidad inicial, midiéndose a continuación el diámetro medio de la huella, en dos direcciones perpendiculares. Si la huella fuese ovalada, se considerará únicamente el menor de los diámetros.

El resultado de la medida anterior permite fácilmente, mediante la aplicación del gráfico indicado, la determinación de la fuerza dinámica desarrollada en la caída.

Resultados aún más precisos y fiables pueden conseguirse adoptando un «dinamómetro de huella» de fabricación propia, en el que se sustituya las grapas por piezas mecanizadas. A título de ejemplo exponemos a continuación un esquema propio de diseño de un dinamómetro de este tipo.

BIBLIOGRAFIA

-G. ARDOUIN: «Etude experimentale sur les ceintures de sécurité» Cahiers des Comités de Prevention. (1972).

-G. NOEL: «Etude pour la normalisation de matériel de sécurité employé dans le bâtiment et les travaux publics». Annales de l'Institut Technique du Bâtiment des Travaux Publics. N.º 295-296 (1972).

-AMPHOUX, POLI, SEVIN Y OTROS: «Effets sur l'homme des ceintures de sécurité ou sangles thoraciques au moment de l'arrêt des chutes». Le Travail Humain. Volumen 3 (1972).

-SAFETY ENGINEERING. THE BOEING COMPANY, AERO-SPACE DIVISION: «Evaluation of Safety Belts. Lanyards, and Shock Absorbers». Protective Equipement Report. N.º 2-1886-09 (1967).

Emilio Partida Perdigones

José M.ª Cortés Díaz



protección VELCRO

cierre seguro

su rápida manipulación
evita accidentes



cosido



engrapado



pegado



clavado



autoadhesivo



cierre velcro
(de venta en mercerías)

VELCRO®

velcro española s.a.
apartado 9343 Barcelona.