



FISICA DE LAS UNIONES Y ATADOS CON CUERDAS.

Desde hace muchos años viendo películas de vaqueros, me extrañaba la forma en la que el jinete sujetaba a su caballo cuando lo dejaba fuera para entrar en el salón. Cogía la rienda por el extremo, y le daba una sola vuelta y cuarto alrededor del madero horizontal dispuesto para este fin sin ningún tipo de nudo. La rienda estaba atada pero no anudada.

Siempre me había parecido que, sin un buen nudo, el caballo con un pequeño tirón podría librarse. Solía pensar que en las películas se les suelen pasar a menudo este tipo de detalles y que, por lo tanto, aunque no fuese lo que ocurría en la realidad, no tenía demasiada importancia, pues el director no lo tomaba en consideración.

Me parecía que, si el animal tiraba un poco, la cinta resbalaría alrededor del madero y el animal podría soltarse.

He realizado unos sencillos experimentos que vienen representados en las figuras 1 y 2.

En la primera se comprueba que una pila de 11 gr. dándole al cordón una vuelta y media alrededor de mi dedo puede equilibrar los 117 gr. que pesa la navaja del otro extremo del cordón del zapato.

En la segunda, la misma pila de 11 gr. dando dos vueltas y media al cordón, puede soportar el peso de 365 gr. de la piedra de afilar.

Los vaqueros por experiencia sabían que dando un poco más de una vuelta al madero era suficiente para atar al animal. En este caso el peso de la pequeña pila del experimento lo realiza la parte de la rienda que cuelga, la superficie de contacto es mayor al ser mayor la anchura de la cinta que el cordón de nuestro ensayo. A su vez una vuelta alrededor del madero es más larga que una vuelta alrededor de mi dedo.



Figura 1



Figura 2.

En ninguno de los dos casos hemos llegado a la máxima fuerza de rozamiento que se da cuando aumentando la fuerza llega en momento en que la cinta empieza a deslizarse.

No nos engañaron en la carrera. En los ejemplos que estudiábamos en la escuela, la fuerza normal era independiente de la fuerza con la que tirábamos para efectuar el movimiento. En estos casos sin embargo no hay fuerza normal hasta que no hay tensión en el cordón y por lo tanto compresión a lo largo de la longitud de contacto. Esta fuerza normal crece a medida que aumenta la tensión.

La tensión en el cordón no es constante en toda su longitud como sucede por ejemplo en un polipasto si despreciamos el rozamiento entre las poleas y la cuerda. Es fácil deducir que en la figura 1, la tensión en la parte del cordón del que cuelga la pila es de 11 gr. y en la que cuelga la navaja de 117 gr. Debido a la compresión del cordón sobre el dedo, aparece una fuerza de rozamiento a lo largo del enrollamiento que se opone al deslizamiento.

Cuando estudiábamos la carrera, recuerdo que el profesor de física, a la hora de explicar las fuerzas de rozamiento nos animaba a investigarlo por nuestra cuenta más en profundidad, pues nos decía que era un campo poco explorado.

Cuando empecé a escribir este artículo no creía que habría tantos físicos, ingenieros y matemáticos que hubiesen tocado este tema.

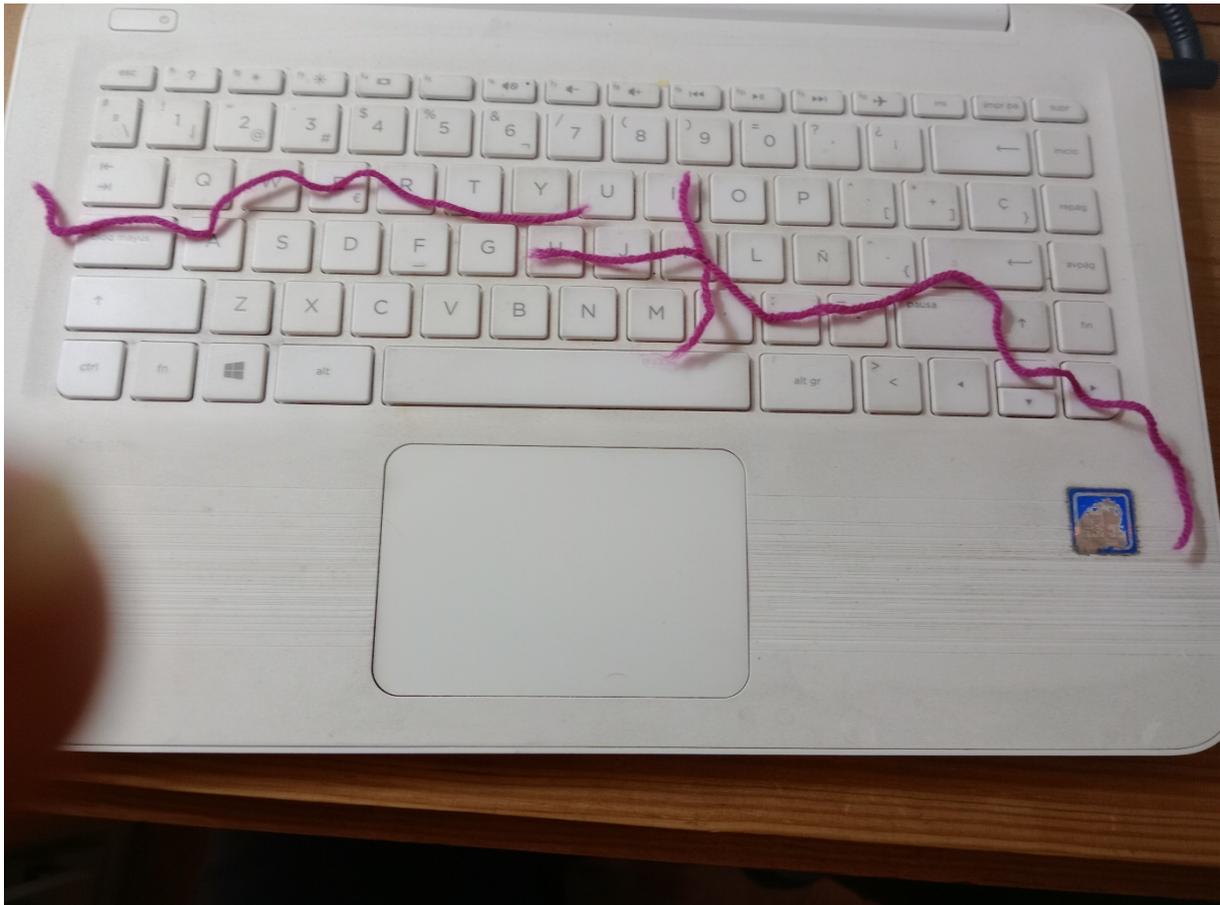
Estos resultados tienen una fácil explicación. Cuando la cinta de la caballería no está tirante, despreciando el peso propio de la cinta, no hay ningún tipo de tensión. Cuando tiramos de ella, esta tensión longitudinal produce una presión normal de la cinta sobre el madero en todos sus puntos de contacto. Como sabemos una tensión normal cuando se intenta un movimiento produce un rozamiento que se opone al movimiento, proporcional a esta normal y al coeficiente de rozamiento entre la madera y el cuero en toda la superficie de contacto.

Con estos dos experimentos hemos comprobado de paso que cuando la superficie de contacto entre el cordón de zapato y mi dedo es mayor, es mayor a su vez la fuerza de rozamiento.

Cuando estudiábamos el rozamiento en la carrera nos decían que la fuerza máxima de rozamiento era independiente del área de la superficie de contacto. Pero este caso es distinto, en estos casos en que la fuerza normal solo aparece a partir de que se pone en tensión la cinta, sí que esta fuerza aumenta con la superficie de contacto.

He realizado otro sencillo experimento. Tomando medio metro de lana lo cortamos por la mitad y uniendo las dos partes por medio de un nudo simple. Si no tiramos con fuerza de los extremos cortos al ejecutar el nudo, al tirar de las partes largas del cordón este se soltará fácilmente, pues no ha sido ejecutado correctamente el nudo.

Si repetimos ahora apretando con fuerza a la hora de ejecutar el nudo, y luego tiramos fuerte de los dos extremos largos, lograremos romper el hilo de lana, pero no se rompe por el nudo, sino por una zona próxima, el nudo se mantiene sin soltarse como se ve en la figura.



El cordón se ha roto, pero el nudo no se ha soltado.

Esto es porque el nudo ha sido bien ejecutado y que el rozamiento entre las dos partes del cordón que componen el nudo es superior a la tensión de rotura del cordón. Un nudo bien ejecutado no es un punto débil del cordón, sino todo lo contrario.

El físico francés Basile Audoly en 2.008 fue capaz de deducir teóricamente la fuerza que soportaba un nudo de hasta dos cruces, pero no más.

Más tarde el ingeniero mecánico Pedro Reis realizó experimentos cada vez de mayor complejidad

Finalmente, estos dos científicos se unieron y siguieron investigando juntos. Pudieron demostrar que para un nudo de 10 cruces se necesitaba 1.000 veces más fuerza que con un solo cruce. Estos dos científicos dicen que "la mayor parte del conocimiento que tenemos sobre el comportamiento de los nudos es empírico."

La revista Nature en 2.002 publicó un artículo del matemático australiano Barkard Polster dedicado a los atados de los cordones de los zapatos.

Los marineros a lo largo de la historia son los que han inventado gran cantidad de tipos de nudos con diversas aplicaciones.

Parece además que los nudos han sido realizados desde la antigüedad por los humanos, según he leído, en Chile ha aparecido un nudo de hace 18.000 años, de hace 10.000 años en Dinamarca y de hace 9.000 en Finlandia.

No he podido resistir a la tentación de seguir investigando un poco más y he llenado un cestito de varias cosas hasta conseguir un peso de 1.163 gr.

Resulta que, con solamente dos vueltas y media del cordón, la pila de 11 gr. es capaz de sujetar la pesada cestita.



Figura 3. Cesta de 1.163 gr.

La relación entre los pesos es de $1.163/11=105$. Es decir que multiplicando por 1,67 la longitud del enrollamiento hemos conseguido multiplicar por 105 la fuerza de rozamiento.

Aunque la figura no es muy buena, se comprueba como la compresión del cordón sobre el dedo va aumentando hacia la parte de la cesta y el dedo está cada vez más aplastado y casi no circula la sangre en la zona de la cesta.

Es decir que lo que nos dicen los mencionados científicos sobre la multiplicación por mil de la fuerza al pasar de uno a 10 cruces, parece bastante creíble.

Me imagino que estos científicos realizarán los ensayos con elementos más apropiados que los míos, pero sin rizar el rizo, creo que con elementos caseros puede llegar a hacerse una idea clara de como una tensión longitudinal al curvarse el cordón se transforma en perpendicular y aparece en ese momento un rozamiento.

He titulado el escrito como "Física de las uniones" y no física de los nudos, pues como hemos visto los nudos en general se utilizan para unir dos partes de un mismo material, (lana, cuerda, etc.) y las uniones más generales pueden unir partes de dos materiales, distintos, (cuero madero, cordón dedo, etc.)

Pero al final los dos tipos de unión tienen en común que su buen funcionamiento se debe a la fuerza de rozamiento.

Con la piedra de afilar que es prismática, cuyas aristas miden 15, 5 y 3 cm. respectivamente he hecho otro sencillo experimento.

Las superficies de sus caras son $15 \times 5 = 75 \text{ cm}^2$, $15 \times 3 = 45 \text{ cm}^2$. Y $5 \times 3 = 15 \text{ cm}^2$.

La he colocado alternativamente sobre cada cara y he comprobado que efectivamente, como nos decían en la escuela de Bilbao, la fuerza de rozamiento no depende de la superficie de contacto, en los tres casos se necesita la misma fuerza para que empiece a desplazarse.

He cumplido un poco con lo que nos decía el profesor de física, que investigásemos algo sobre las fuerzas de rozamiento.

Antton del Campo.

Ingeniero Industrial.