

## LOS CORDONES DEL CALZADO.

Hay muchas formas de atar los cordones de los zapatos. La finalidad principal del atado es que cuando caminemos, los cordones sujeten las orejas para que estas se mantengan fijas y los pies no “bailen” dentro del calzado.

En la figura 1 se detallan las partes más importantes de un zapato.

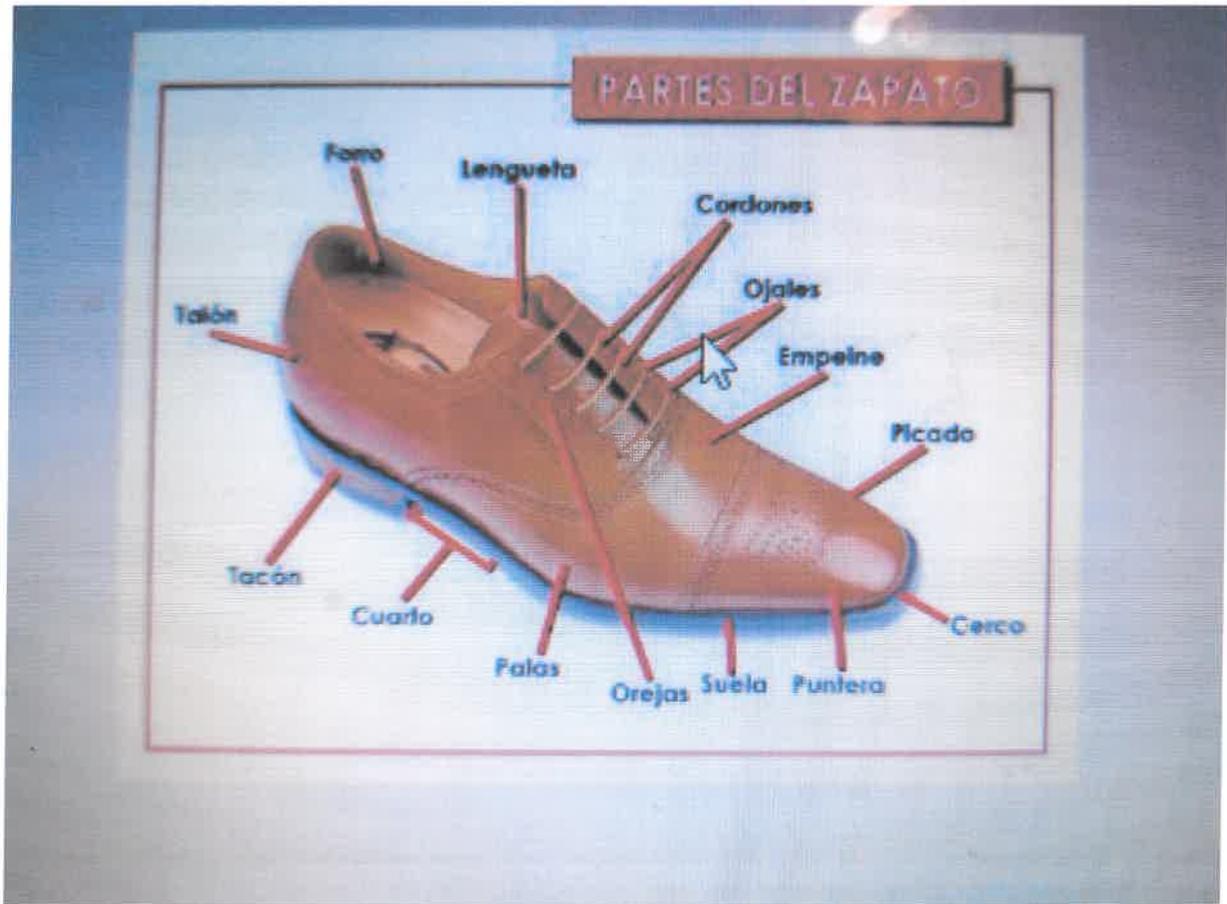


Figura 1.

Vamos a estudiar las acciones que se ejercen al caminar sobre las distintas partes del zapato y para ello representemos una sección vertical simplificada de estas partes de un zapato en reposo. (Figura 2). Las uniones entre palas, orejas y cordones son articuladas, (entre ellas no se ejerce ningún momento) y la lengüeta no está unida a las orejas, solamente contacta con ellas.

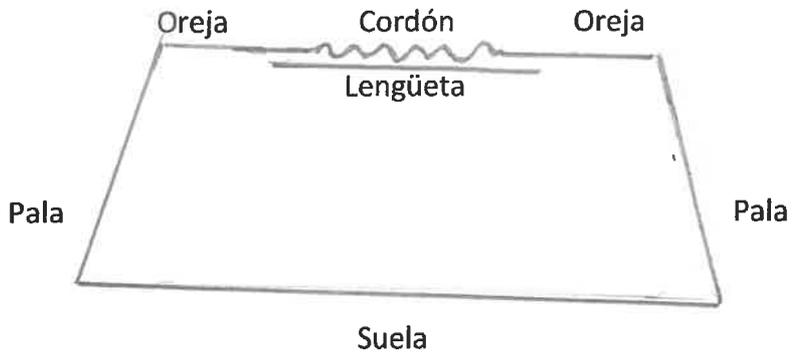
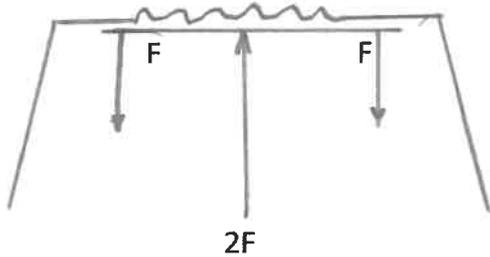
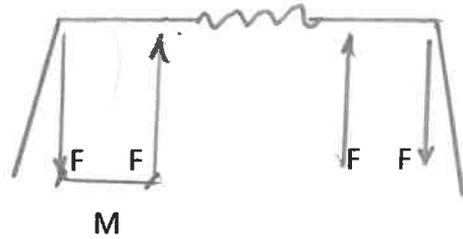


Figura 2. Esquema simplificado de sección transversal del zapato

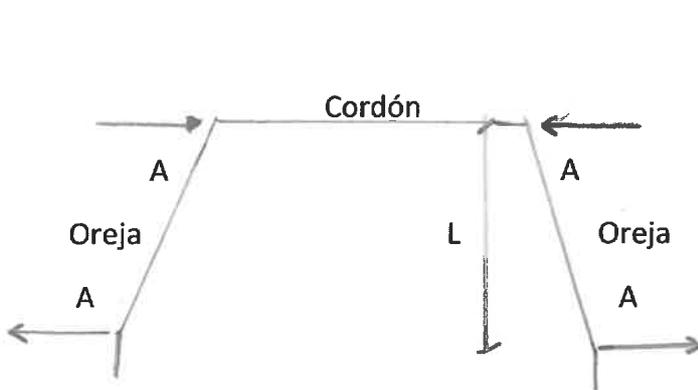
En la figura 3 se detallan varias fases de lo que sucede mientras caminamos.



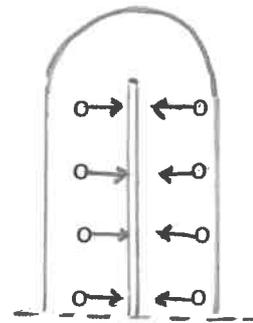
Fase 1, fuerzas sobre la lengüeta.



Fase 2, fuerzas verticales sobre las orejas



Fase 3, fuerzas horizontales sobre las orejas.



Fase 4, fuerzas de atado en las orejas

FIGURA 3. Proceso de la formación de la fuerza de atado.

Cuando vemos un zapato con sus cordones atados, si no estamos caminando, o el zapato está por ejemplo en un escaparate, la tensión en el cordón es nula, el cordón no tira de las orejas. (Figura 2).

Cuando caminamos, en principio apoyamos la puntera en el suelo, a continuación, elevamos el empeine que empuja hacia arriba a la lengüeta ejerciendo contra ella unas presiones que podemos representarlas mediante una fuerza vertical resultante de estas presiones, que le vamos a llamar  $2F$ . (Fase1). Equilibrando esta fuerza vertical hacia arriba ( $2F$ ) surgen dos fuerzas resultantes verticales hacia abajo ejercidas por las orejas sobre la lengüeta, que de esta forma se equilibran.

La lengüeta ejerce entonces dos fuerzas verticales hacia arriba, una sobre cada oreja de valor resultante  $F$ , (Fase 2). Estas fuerzas ascendentes sobre las orejas son equilibradas por fuerzas descendentes ejercidas por las palas sobre estas orejas.

Las orejas tienden a elevarse por su parte central libre al no estar el cordón en tensión, pero en cuando se elevan un poco, como están unidas a las palas por su parte inferior, giran alrededor de la articulación que les une a las palas, e intentan separarse en su zona superior.

En ese momento los cordones, que no estaban tensionados hasta entonces, entran en tensión e impiden que las orejas se separen ejerciendo sobre ellas una fuerza horizontal total de atado  $A$ . (Fase 3).

Para que esta tensión en el cordón aparezca, es necesario como se sabe, que hayamos hecho una lazada en los extremos del cordón. Esta lazada es un nudo realizado de tal forma que pueda soltarse con facilidad tirando de sus extremos.

Esta fuerza total de atado perpendicular al eje de la lengüeta es la suma de las fuerzas que el cordón ejerce sobre los diferentes ojales. (Fase 4).

Las fuerzas ejercidas por los cordones sobre los ojales tienen la dirección del cordón y pueden descomponerse en dos componentes, la  $X$  perpendicular al eje de la lengüeta y la  $Y$  paralela a este eje. Figura 4. La componente  $X$  de la tensión es la que produce la fuerza de atado.

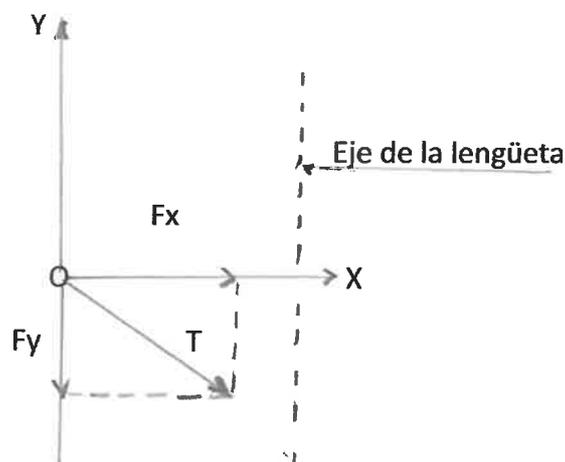


Figura 4.

Tal como se ve en la fase 3, sobre la oreja izquierda se ejerce un momento  $M=F \cdot M$  en sentido contrario al de las agujas del reloj. Este momento ejercido sobre la oreja es equilibrado por el momento producido por la fuerza total de atado del cordón A (suma de las componentes según X de las fuerzas en los ojales) y la reacción de la pala sobre la parte inferior de la lengüeta,  $M=A \cdot L$ .

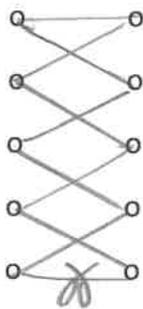
Al no haber rozamiento entre el cordón y los ojales, la tensión en el cordón es constante en todos sus puntos.

Este proceso tiene lugar prácticamente en un instante de tiempo, aunque para la descripción de lo que sucede de forma simplificada lo haya separado en varias fases.

He leído que un matemático australiano ha estudiado este tema, y dice que ha encontrado la solución ideal para el atado de los cordones de los zapatos. No he tenido ocasión de leerlo, pero lo primero que se me ocurre, es que hay que definir qué es lo que se entiende por solución ideal.

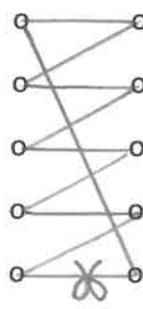
Vamos a estudiar tres ejemplos sencillos y compararlos, pero el método es extensible a todo tipo de atado.

En la figura 5 se representan de forma esquemática tres tipos de atado.



Lazada

Tipo 1



Lazada

Tipo 2



Lazada

Tipo 3

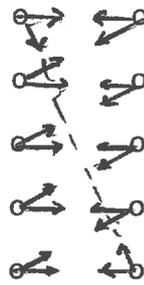
FIGURA 5

Suponemos 4 cm. de separación en los ojales en el sentido X y 2 cm. en el Y.

En la figura 6 se representan las fuerzas en los ojales ejercidas por la tensión del cordón. Todas tienen el mismo valor T, la tensión en el cordón.



Tipo 1



Tipo 2



Tipo

FIGURA 6.

En la figura 7 se representan las componentes de esas fuerzas en el atado tipo 1 según los ejes X e Y definidos anteriormente.

Los valores de estas componentes son muy fáciles de calcular aplicando la trigonometría. No vamos a mostrar los cálculos para no alargar la exposición.

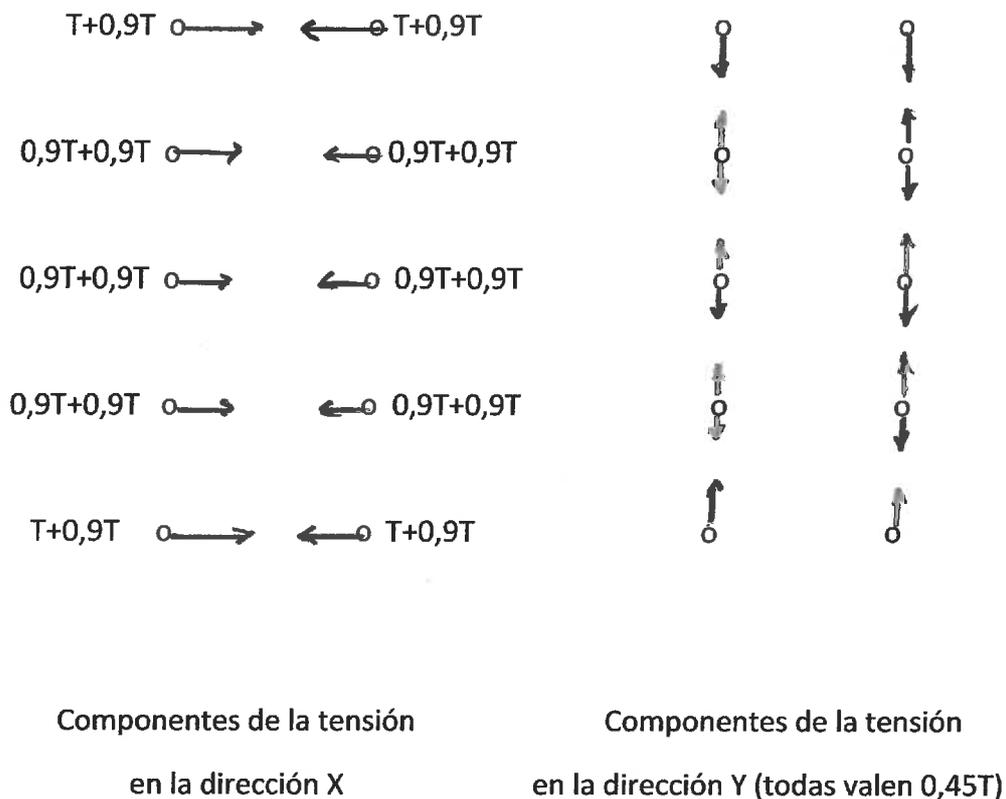


FIGURA 7. Componentes de la tensión en el tipo 1.

La fuerza total de atado en la dirección X en los ojales de la izquierda es  $8 \times 0,9T + 2 \times T = 9,2T$  en el sentido positivo y en los ojales de la derecha también  $9,2T$  en el sentido negativo. Estas dos fuerzas son las que producen el atado de los cordones. Estas son las fuerzas que hemos llamado A en la fase 3 de la figura 3.

La fuerza total de atado en el sentido Y en cada una de las dos alineaciones de los ojales es  $4 \times 0,45T - 4 \times 0,45T = 0$ , no hay fuerzas sobre las orejas en el sentido Y.

En la figura 8 se representan las componentes de las fuerzas en el atado tipo 2.

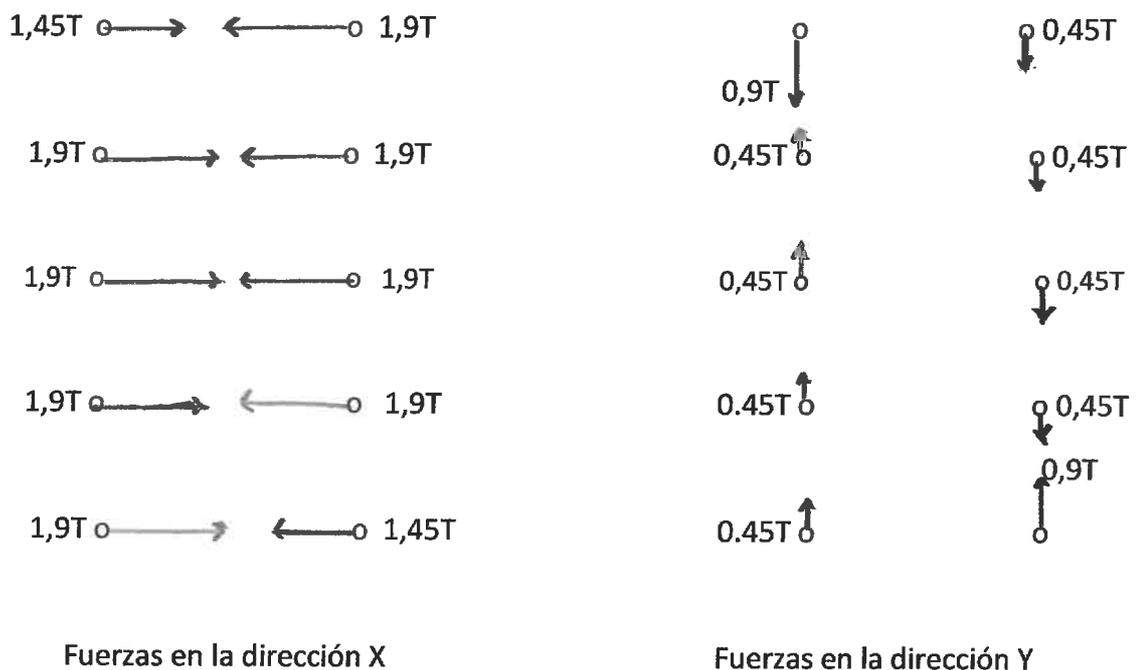


FIGURA 8. Componentes de la tensión en el tipo 2.

La fuerza total ejercida por el cordón sobre la oreja izquierda es de  $5T + 4 \times 0,9T + 0,45T = 9,05T$  en el sentido positivo de las X, y lo mismo  $9,05T$  sobre la oreja derecha en sentido negativo. En este caso la fuerza de atado es de  $9,05T$ .

En el sentido Y las fuerzas totales en los ojales son  $4 \times 0,45 - 0,9 = 0,9T$ . en sentido positivo de las Y en la alineación izquierda y en sentido negativo en la derecha. Como la separación entre alineaciones de ojales es de  $4 \text{ cm}$ , sobre las orejas se ejerce un momento de  $0,9T \times 4 = 3,6T$  en el sentido de las agujas del reloj. (Recordemos que T es la tensión en el cordón).

Este momento que tiende a hacer girar las orejas en el sentido de las agujas del reloj y produce una molestia en el empeine, lo que no ocurre en el tipo 1 como hemos visto.

En la figura 9 aparecen las fuerzas en el atado tipo 3.

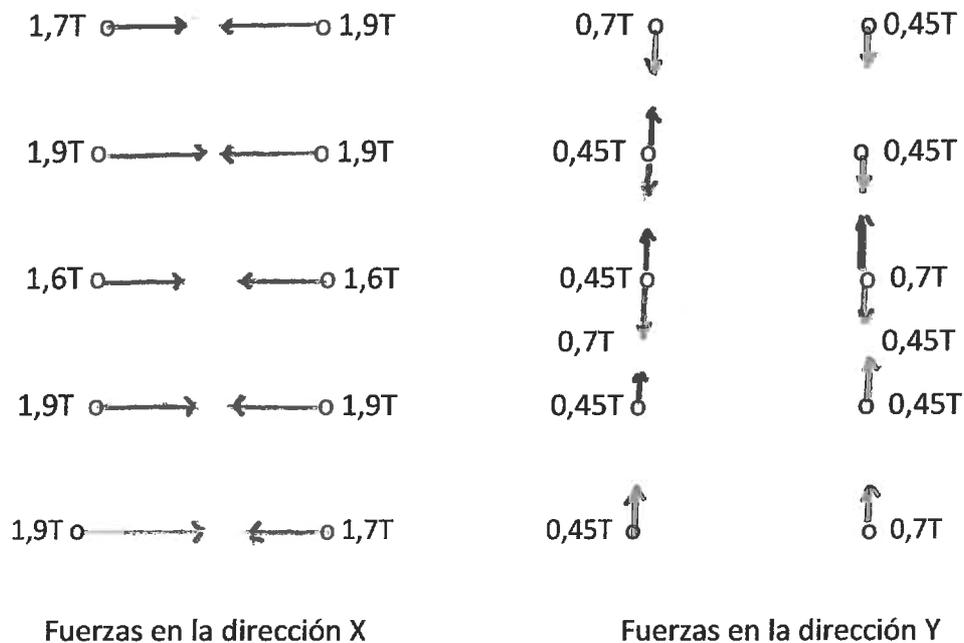


Figura 9. Fuerzas en el tipo 3.

En el sentido X tanto en la alineación izquierda como en la derecha la fuerza de atado es  $3 \times 1,9 + 1,7 + 1,6 = 9T$ .

En el sentido Y en la alineación izquierda la fuerza total es  $4 \times 0,45T - 2 \times 0,7T = 0,40T$  y en la alineación derecha también  $0,4T$ , pero en sentido contrario, es decir  $0,4T$ .

Este par de fuerzas que están separadas 4 cm. produce un momento de  $0,4T \times 4 = 1,6T$  en el sentido de las agujas del reloj.

#### COMPARACIÓN entre los tres tipos de atado.

La longitud del cordón (excepto la lazada) es fácil de deducir aplicando el antiguo teorema de Pitágoras.

Tipo 1,  $L = 44$  cm.

Tipo 2,  $L = 46,2$  cm.

Tipo 3,  $L = 45,2$  cm.

En el TIPO 1 la fuerza de atado (suma de las componentes de la tensión en el sentido X) es de  $9,2T$  hacia la derecha y lo mismo hacia la izquierda la mayor de los tres tipos.

La suma de las componentes de la tensión en el sentido Y es nula tanto en la alineación izquierda de ojales como en la derecha, no se ejerce ningún par sobre las orejas que tienda a hacerles girar.

La longitud del cordón es la menor de las tres.

De los tres tipos de atado este Tipo 1 es el más conveniente, tiene la mayor fuerza de atado, la menor longitud de cordón, y no produce ningún par que intente hacer girar las orejas.

En el TIPO 2 la suma de las componentes de la tensión en el sentido X en las orejas es igual, pero de sentido contrario en la izquierda y en la derecha, su valor es de  $9.05T$  y esta es la fuerza de atado.

En el sentido Y la suma de las componentes de la tensión tanto en la oreja derecha como en la izquierda es  $0,9T$ , pero de sentido contrario. Esto produce un momento sobre las orejas de  $0,9 \times 4 = 3,6T$ , que tiende a hacerlas girar una con respecto a la otra, lo que produce un efecto molesto sobre el empuje.

La fuerza de atado es mayor que en el tipo 3, pero la longitud del cordón es algo mayor también.

En el TIPO 3 la longitud de cordón es menor que en el Tipo 2, pero a su vez la fuerza de atado es algo menor y también produce un par sobre las orejas, aunque algo menor que en el caso 2.

Ha quedado claro que de los tres tipos de atado la mejor solución es la del tipo 1.

Pero ¿cómo podríamos comparar la idoneidad de los tipos 2 y 3?

Para ello vamos a idear un parámetro  $P$  que aumente con la fuerza de atado y disminuya con la longitud del cordón  $L$  por medio de la siguiente expresión  $P=A/L$ .

Según esto el valor de  $P$  en los tres tipos sería en este orden. Tipo 1,  $P=9,2/44=0,21$ , tipo 3,  $P=9/45,2=0,20$  y finalmente en el tipo 2,  $P=9.05/46,2=0,19$ .

Según lo anterior el orden de idoneidad sería Tipo 1, Tipo 3 y finalmente Tipo 2-

Antón del Campo.  
Ingeniero Industrial.