Rev. Esp. de Cir. Ost., 19, 219-223 (1984)

Estática. Equilibrio

Dra. C. ZARAGOZÁ

Nota de Redacción:

Siguiendo lo anunciado en el número anterior, publicamos en este número y en los sucesivos las nociones básicas de Física Aplicada de interés para la formación del Traumatólogo para mejor expresar sus ideas, redactadas por la Dra. Zaragozá Rovira, profesora de Física Médica de la Facultad de Medicina de Valencia.

I. Condiciones de equilibrio

De las leyes de Newton se deduce que la condición para que un cuerpo esté en equilibrio de traslación es que la fuerza total que actúa sobre él sea cero, y, para que exista equilibrio de rotación, que el momento total aplicado sea cero.

Si sobre un cuerpo actúan diversas fuerzas $\vec{F}_i$ (i = 1, 2,...) la fuerza total es la suma de las distintas fuerzas:

$$\vec{F} = \Sigma\, \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots$$

Al escribir que dos fuerzas, actuando por separado, producen el mismo efecto que la fuerza suma, estamos haciendo algo más que una operación aritmética, ya que afirmamos que el efecto de la fuerza F_1 no se ve afectado por la presencia de la fuerza F_2. Supongamos un cuerpo que cae libremente en el aire, empujado por un viento horizontal. Sobre él actúan dos fuerzas: el peso y el empuje del viento. Al sumar las fuerzas establecemos que son independientes: es decir, que la presencia de una de ellas no se ve alterada por la presencia de la otra: el cuerpo pesa lo mismo haya o no haya viento.

Del mismo modo escribiremos, para el movimiento de rotación:

$$\vec{M}_o = \Sigma\, \vec{M}_{oi} = \vec{M}_{o1} + \vec{M}_{o2} + \ldots$$

en que todos los momentos se toman respecto del mismo punto.

Las condiciones de equilibrio se escribirán como:

$$\vec{F} = 0$$
$$\vec{M}_o = 0$$

Al ser las fuerzas magnitudes vectoriales, y, concretamente, vectores deslizantes, que no tienen punto de aplicación fijo, se suman vectorialmente. Existen procedimientos gráficos para hallar el módulo y dirección de la suma de dos fuerzas en los distintos casos: concurrentes, paralelas, antiparalelas, etc.

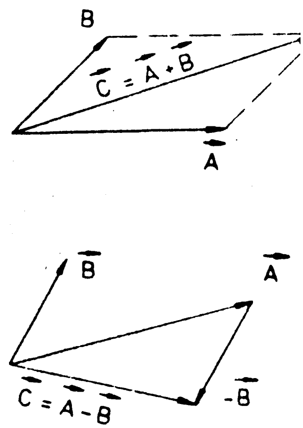

FIG. 1.– Suma de vectores.

El resultado es siempre una fuerza resultante y/o un momento resultante. Sin embargo, los procedimientos algebraicos son más sencillos y precisos que los geométricos.

Del mismo modo que la suma de dos fuerzas es otra fuerza, una fuerza dada se puede descomponer en dos, cuya suma sea

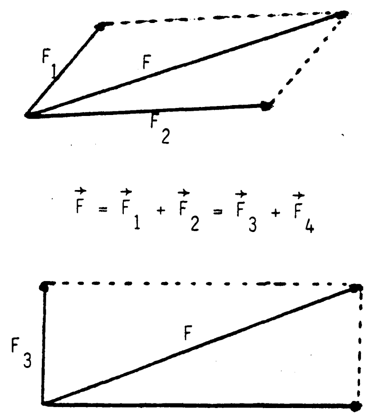

FIG. 2.– Una misma fuerza tiene distintos componentes.

la fuerza dada, y que se llaman sus *componentes*. La descomposición de una fuerza en dos componentes, naturalmente, no es única.

Salvo en casos particulares, las componentes de una fuerza se suelen tomar perpendiculares entre sí, formando unos ejes cartesianos octogonales. La dirección y sentido positivo de los ejes se elige arbitrariamente del modo más conveniente en cada caso, sin que tengan que ser obligadamente uno vertical y otro horizontal. Por ejemplo, si estudiamos la fuerza que actúa sobre un cuerpo situado en un plano inclinado, tomaremos el eje X paralelo al plano y en eje

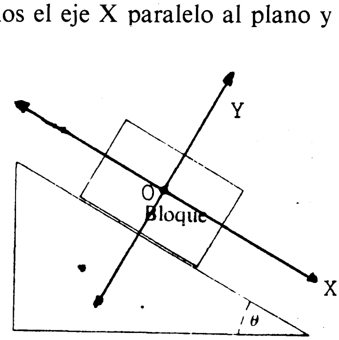

FIG. 3.– Sistema de ejes coordenados en un plano inclinado.

Y perpendicular a él (fig. 3). La fuerza peso, vertical, se descompondrá en dos: una perpendicular a la superficie, dirigida según el eje de ordenadas, que se equilibra con la reacción del suelo, y otra paralela a ella, según el eje de abcisas, que es la que hará mover al objeto.

Para cada fuerza F_i se cumplirá:

$$F_i = F_{xi} + F_{yi}$$

La suma de las fuerzas F_i se traduce en la suma de sus componentes, F_{xi} y F_{yi}. La primera nos dará la componente F_x de la fuerza total y la segunda la componente F_y. La primera ley del equilibrio se descompone en dos:

$$F_x = \Sigma\ F_{xi} = 0$$
$$F_y = \Sigma\ F_{yi} = 0$$

Si un cuerpo está en equilibrio, el momento total, respecto de un punto cualquiera, será nulo. Para sumar momentos, hay que calcular los momentos de las distintas fuerzas respecto del mismo punto y sumarlos. Si el valor de la suma es cero, tomando momentos respecto de un punto cualquiera, será siempre cero, sea cual sea el punto elegido.

II. Aplicación de la resolución de problemas

Los problemas de estática pueden ser de dos tipos:

– Caso 1: dado un sistema sobre el que actúan varias fuerzas, estudiar si está en equilibrio o no.

– Caso 2: dado un sistema en equilibrio sobre el que actúan varias fuerzas, unas conocidas y otras no, calcular estas fuerzas desconocidas.

En su planteamiento, estos problemas son sencillos, ya que se reducen a establecer correctamente las condiciones de equilibrio:

$$F_x = 0$$
$$F_y = 0$$
$$M_o = 0$$

y ver si se cumplen o no (caso 1), o, suponiendo que se cumplen, despejar las incógnitas (caso 2). A la hora de resolver un problema concreto, se pueden presentar dificultades, por lo que presentamos un esquema de trabajo para la resolución de casos prácticos. Los pasos a seguir son los siguientes:

1.– Comience por dibujar un esquema aproximado de la situación, es decir, traduzca el enunciado a una gráfica lo más completa posible.

2.– Señale en este esquema general el cuerpo, o cuerpos, cuya situación estática le interesa.

3.– Escoja unos ejes coordenados rectangulares, buscando la orientación más conveniente para simplificar al máximo el trabajo posterior.

4.– Trace lo que se llama el *«diagrama de cuerpo libre»:* un esquema en el que figure únicamente el cuerpo o cuerpos de interés, junto con todas las fuerzas externas que actúen sobre él.

5.– Aplique las ecuaciones de Newton al sistema representado en el diagrama de cuerpo libre.

6.– Compruebe que los resultados obtenidos son razonables y que las unidades son las correctas.

Este esquema es una guía de trabajo muy detallada, que, en ningún caso, debe considerarse como indispensable para llegar a la solución correcta.

Vamos a aplicar este esquema a la resolución de un problema concreto. En la figura 4 se muestra el dispositivo conocido como tracción de Russell, utilizado en la reducción de fracturas de fémur. La tracción se utiliza para contrarrestar la contracción muscular, que podría producir desalineamientos en la fractura. El propósito es el de ejercer fuerzas adecuadas que mantengan las dos secciones del hueso alineadas y apenas tocándose, y el problema consiste, precisamente, en hallar la fuerza de tracción ejercida por este dispositivo. Si bien las poleas se estudian en un tema posterior, en lo que respecta a la estática podemos adelantar que únicamente transmiten la tensión del cable, variando su dirección, pero no su magnitud. El cable que pasa por las cuatro poleas mantiene la misma tensión en toda la longitud del cable.

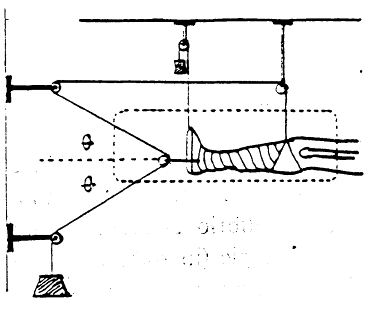

FIG. 4.– Tracción de Russell.

1.– Esquema del problema: es el representado en la figura.

2.– Sistema de interés: es el que figura dentro de la línea punteada.

3.– Tomamos el eje X horizontal, ya que ésta es la dirección de la pierna, y sentido positivo hacia la derecha. El eje Y será vertical, y positivo dirigido hacia arriba.

4.– Representamos aislado el diagrama de cuerpo libre (fig. 5). Las fuerzas que actúan sobre el sistema, en principio, son las tensiones de los diferentes cables y el peso de la pierna, P. Por tratarse de un mismo cable, $T_1 = T_2 = T_3 = T$ y mantendremos los subíndices por comodidad. Pero, si sólo actúan estas fuerzas, el sistema no está en equilibrio, ya que tenemos dos fuerzas horizontales positivas y ninguna negativa. Estas

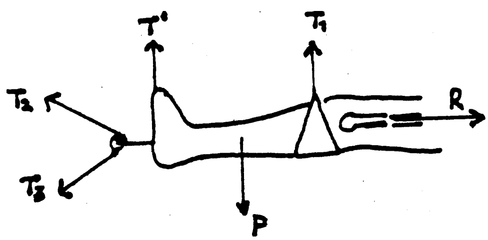

FIG. 5.– Diagrama de cuerpo libre.

fuerzas horizontales hacen que la parte inferior de la pieran «tire» de la parte superior, y, por tanto, la parte superior ejercerá una fuerza igual y opuesta sobre la parte inferior. Al estar aplicada en el sistema representado en el diagrama de cuerpo libre, hay que incluirla en él. Esta fuerza de reacción, R, es igual y opuesta a la fuerza de tracción buscada.

5.– Aplicamos las leyes de Newton:

$$F_x = 0$$

$$T_{2x} + T_{3x} - R = 0$$

$$F_y = 0$$

$$T_1 + T' + T_{2y} - T_{3y} - P = 0$$

Puesto que sólo nos interesa calcular R, despejamos en la primera ecuación:

$$R = T_{2x} + T_{3x}$$

Pero, por ser las tensiones iguales,

$$T_{2x} = T_{3x} = T \cos 15^\circ$$

y

$$R = 2\,T \cos 15^\circ$$

6.– El problema está resuelto. La tracción horizontal ejercida depende únicamente del valor de T. Una pesa de 10 Kp en el extremo del cable más largo producirá una tracción de 19'3 Kp.

III. Equilibrio de los sólidos

Un sólido extenso se puede considerar formado por partes puntuales, cada una con un peso. El peso total será la suma de todos los vectores peso, que son paralelos, y el punto de aplicación de la fuerza peso se llama *centro de gravedad* del cuerpo.

Si el sólido es uniforme y tiene forma geométrica, con centro de simetría, el centro de gravedad está localizado en el centro de simetría. Este punto no tiene necesariamente que ser un punto del cuerpo, sino que puede estar fuera de él. Por ejemplo, en un arco, el centro de gravedad es el centro de la circunferencia.

Consideremos un sólido en equilibrio mecánico, que desplazamos ligeramente de su posición.

Si tiende a volver a la posición anterior, diremos que el cuerpo está en *equilibrio estable.* Si permanece en equilibrio en la posición desplazada, su equilibrio *será indiferente.*

Por último, si se aleja cada vez más de la posición inicial, se trataba de una situación de *equilibrio inestable.* Por ejemplo, consideremos una barra uniforme. Sujeta por su punto medio está en equilibrio indiferente,

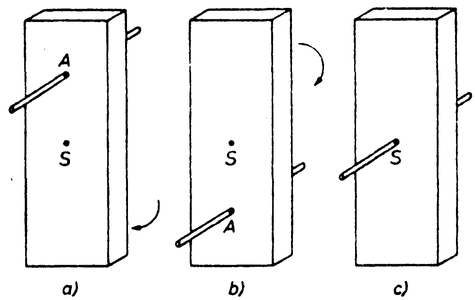

FIG. 6.– Equilibrio estable, inestable, indiferente.

ya que permanece en cualquier posición en un plano vertical. Sujeta por su extremo superior está en equilibrio estable, ya que tiende a volver a esta posición vertical. Finalmente, sujeta por su extremo inferior estará en equilibrio inestable, ya que cualquier perturbación la alejará de esta posición (fig. 6).

En este ejemplo, al ser la barra uniforme, su centro de gravedad está en su punto medio. El equilibrio estable es el que presentan los cuerpos apoyados en un punto por encima del centro de gravedad e inestable si se apoyan por debajo de él. Es el caso, por ejemplo, de un hombre sentado en un columpio (equilibrio estable), acostado (indiferente) o de pie (inestable). Una persona de pie está en equilibrio mientras la vertical que pasa por el centro de gravedad (la línea de acción del peso) esté dentro de la base de sustentación, que está delimitada por el contorno de los pies. Para aumentar la estabilidad, separamos los pies, para aumentar el área de la base de apoyo.

En la marcha, se va levantando sucesivamente cada pie. En todo momento, el centro de gravedad del cuerpo se desplaza hasta colocarse sobre el pie que en ese momento está apoyado en el suelo.