



DEPARTAMENTO  
DE FÍSICA



COORDINACIÓN  
**FÍSICA**  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

## GUÍA DE EJERCICIOS 7



# EQUILIBRIO ROTACIONAL

2023



FACULTAD DE CIENCIA  
**VIRTUAL**  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE



## Objetivos de aprendizaje:

Esta guía sirve de soporte a la unidad del curso: Leyes de la estática.

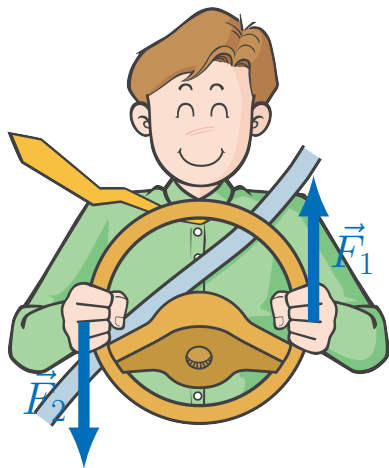
Las capacidades que tienes que comprobar o desarrollar a través de esta guía son

- Expresar correctamente un torque.
- Realizar sumas de torques.
- Determinar si un objeto se encuentra en equilibrio de rotación.

## 1. Introducción

### 1.A. Motivación

En la guía sobre equilibrio de Fuerzas, aprendiste que, si la fuerza neta sobre un objeto tiene un valor distinto de cero, el objeto no permanece en equilibrio. Ahora, consideremos el caso representado en la imagen siguiente:



Las fuerzas  $\vec{F}_1$  y  $\vec{F}_2$  son de la misma amplitud, misma dirección, pero de sentido opuesto así que la fuerza neta sobre el manubrio es  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$ .

Pero, se sabe que el manubrio va a girar (en el sentido antihorario). Si bien el criterio de fuerza neta nula nos garantiza que el manubrio no se mueve en ninguna de las tres direcciones del espacio (equilibrio de translación), falta un criterio para caracterizar el **equilibrio de rotación**.

En el caso de la figura 1 se aplicó un par de fuerzas al manubrio de misma amplitud, misma dirección, pero sentido opuesto. Además, la dirección de los vectores no pasa por el eje de rotación del manubrio.

Figura 1: Figura de referencia.

En las figuras 2 y 3 se muestra el caso en que la dirección de los vectores de un par de fuerzas iguales y opuestas pasa por el eje de rotación del manubrio. Sin embargo, en estos casos, es evidente que el manubrio no va a girar.



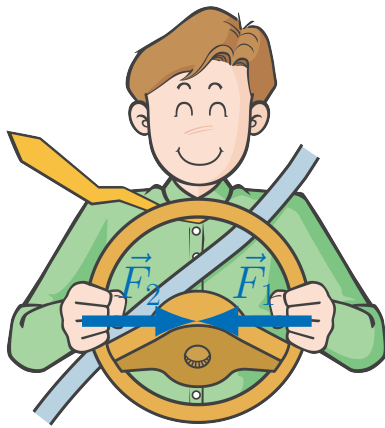


Figura 2: Figura de referencia.

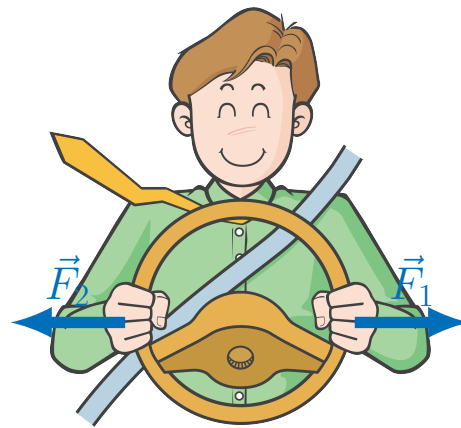


Figura 3: Figura de referencia.

Por lo tanto, si se aplican al manubrio dos fuerzas iguales, que no pasan por el eje de rotación del manubrio (como se observa en la figura 4), se sabe que no va a rotar el manubrio y la reacción de la columna de dirección ( $\vec{R}$ ) permite que se equilibren las fuerzas:  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{R} = 0$ .

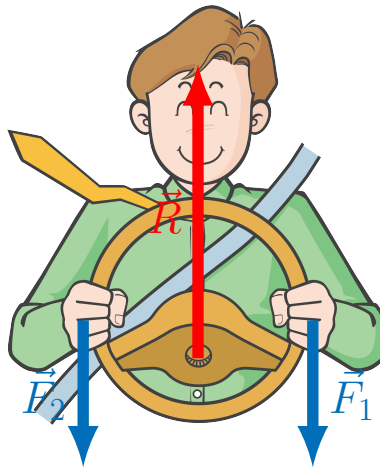


Figura 4: Figura de referencia.

Frente a estas observaciones, para poder caracterizar el equilibrio de rotación de un objeto, se necesita un nuevo concepto: **el torque**.

De manera similar al criterio de equilibrio de fuerza, cuando se producen varios torques y el torque neto sobre un objeto es nulo, el objeto está en **equilibrio de rotación**.

¿Qué pasaría si no existiera la columna de dirección?

- En el primer caso: hay equilibrio de fuerza, pero no de torque, entonces el manubrio gira y no se mueve ni vertical ni horizontalmente.
- En el segundo caso: hay equilibrio de torque y de fuerza, entonces el manubrio no gira y no se mueve ni vertical ni horizontalmente.





- En el último caso, hay equilibrio de torque, pero no de fuerza ( $\vec{R}$  no está presente) y el manubrio se mueve verticalmente hacia abajo.

## 1.B. Ideas clave

- **Torque:** El torque respecto a un punto es una magnitud vectorial que tiende a provocar un cambio en el estado de rotación de un objeto alrededor de un eje que pase por dicho punto. La dimensión del torque (o momento de una fuerza) es una fuerza que multiplica una longitud. Su unidad en el Sistema Internacional es el  $N \cdot m$ .

Si  $\vec{r}$  es el vector que señala el punto de aplicación de la fuerza  $\vec{F}$  respecto al eje de giro, el torque se define como el producto cruz de  $\vec{r}$  por  $\vec{F}$ :

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$
$$|\vec{\tau}| = |\vec{r}| \cdot |\vec{F}| \cdot \sin \theta.$$

- **Equilibrio rotacional:** Una de las condiciones para que un cuerpo se encuentre en equilibrio es que **no debe tener tendencia a girar**. Un cuerpo rígido que, en un sistema de referencia inercial, no está girando alrededor de un punto tiene un momento angular (concepto que se revisará más adelante en el curso) igual a cero alrededor de ese punto.

Un cuerpo rígido en equilibrio no debe tener tendencia a girar alrededor de ningún punto, por lo que **la suma de todos los torques externos con respecto a cualquier punto debe ser cero**:

$$\sum \vec{\tau} = 0$$

## 2. Problemas

**Todos aquellos problemas que se encuentren dentro de un recuadro como éste serán revisados en alguna de las Clases de Ejercicios.**

En todos los problemas, donde sea necesario, considere  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .

1. El viento aplica una fuerza horizontal de 0,785 N sobre una planta de altura 0,45 m. La planta se inclina relativamente a la vertical de un ángulo  $14^\circ$ . Determina la magnitud del torque sobre la planta.

(R: 0,343 N.)



2. Una persona ejerce una fuerza horizontal de 190 N en el aparato de prueba que se muestra en la figura 5. Determina la magnitud de la fuerza  $\vec{M}$ .

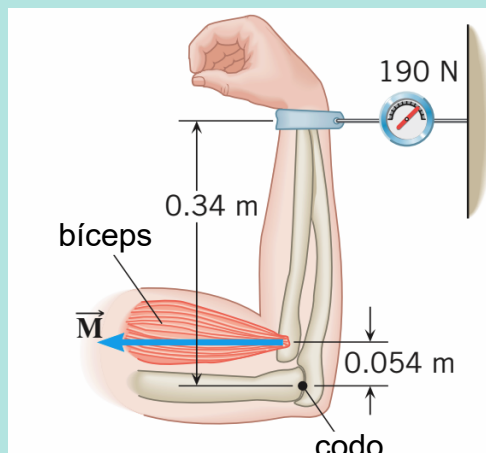


Figura 5: Figura de referencia.

(R: 1200 N.)

3. La figura 6 muestra a una persona que tiene un peso de 584 N haciendo lagartijas (o *push-ups*). Calcula los torques respecto a los pies y centro de gravedad (cg en la figura) y con ello determina el valor de la fuerza normal en cada pie.

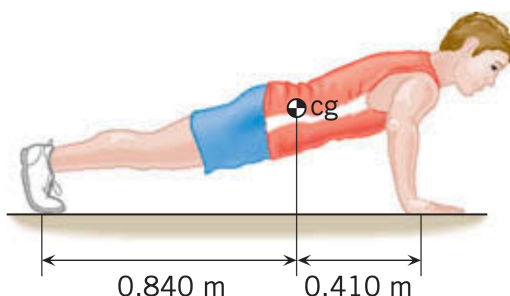


Figura 6: Figura de referencia.

(R: 96 N.)

4. Determina el torque (magnitud y dirección) alrededor del punto  $O$  debido a la fuerza  $\vec{F}$  en cada una de las situaciones que se representan la figura 7. En todos los casos, la fuerza

$\vec{F}$  y la varilla están en el plano de la página, la varilla mide 4 m de largo y la fuerza tiene magnitud de 10 N.

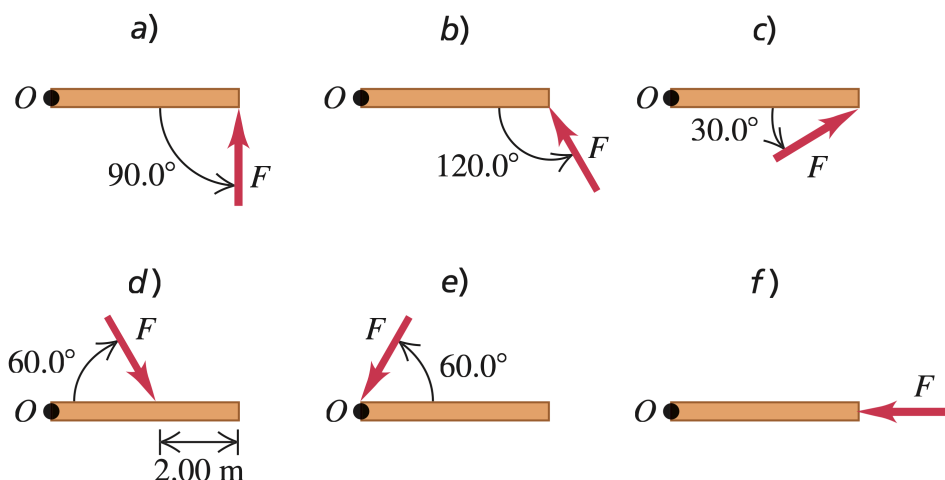


Figura 7: Figura de referencia.

(R: a) 40 Nm. b) 34,6 Nm. c) 20 Nm. d) 17,3 Nm. e) 0 Nm. f) 0 Nm.)

5. Determina el torque alrededor del punto  $O$  para las dos fuerzas aplicadas como en la figura 8. La varilla y las dos fuerzas están en el plano de la página.

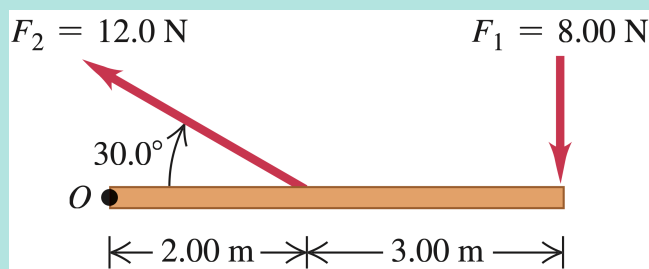


Figura 8: Figura de referencia.

(R: 28 Nm, en sentido horario.)

6. Se aplica una fuerza de 20 lb sobre la varilla de control AB como se muestra en la figura 9. Si se sabe que la longitud de la varilla es de 9 pulgadas y que el torque respecto de B es de 120 lb·pulg en el sentido de las manecillas del reloj, determina el valor de  $\alpha$ .



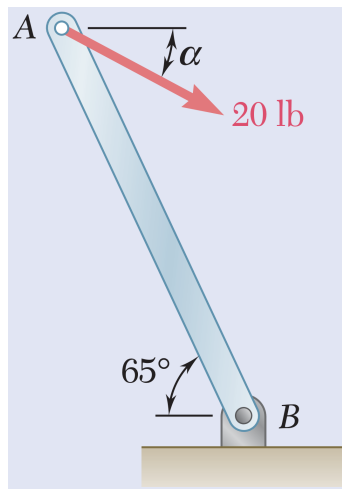


Figura 9: Figura de referencia.

(R:  $23,2^\circ$ .)

7. Determina el momento de torsión neto (magnitud y dirección), sobre la viga en la figura 10, respecto

- a un eje a través de O perpendicular a la página y
- a un eje a través de O perpendicular a la página.

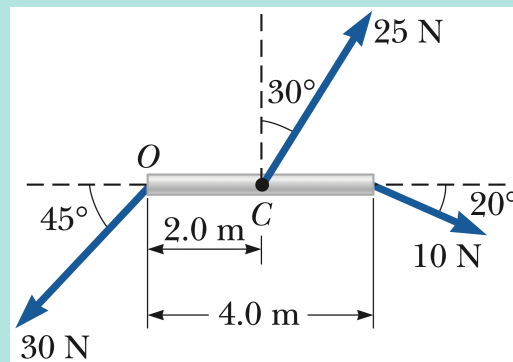


Figura 10: Figura de referencia.

(R: a) 30 Nm. b) 36 Nm.)

8. Una fuerza de 800 N actúa sobre la ménsula, como se muestra en la figura 11. Determina

el momento de la fuerza (torque) con respecto a B.

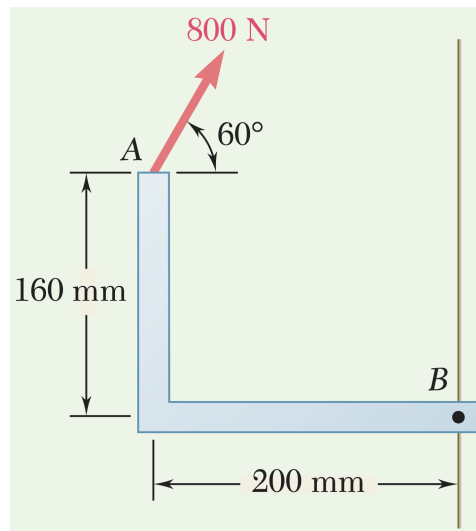


Figura 11: Figura de referencia.

(R: -202,6 Nm.)

9. Una varilla AB se sostiene en su lugar con un cordón AC. Si se sabe que  $c = 840$  mm y que el torque respecto de B de la fuerza ejercida por el cordón en el punto A es 756 Nm, determina la tensión en el cordón.

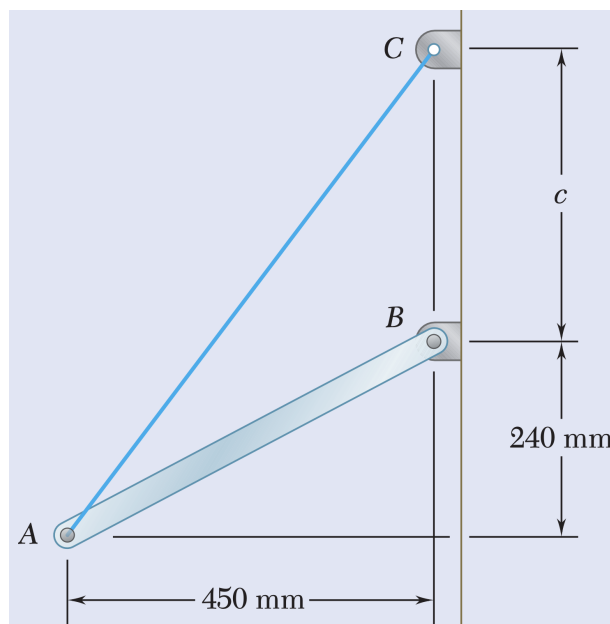


Figura 12: Figura de referencia.





(R: 2340 N.)

10. La pata palanca de la figura 13 se somete a una fuerza vertical de  $P = 25 \text{ lb}$  en la empuñadura mientras que, para sacar el clavo, se necesita una fuerza de  $F = 155 \text{ lb}$  en la horqueta. Encuentre el momento de cada fuerza sobre el punto A y determine si P es suficiente para sacar el clavo. La palanca hace contacto con la madera en el punto A. (in es pulgada)

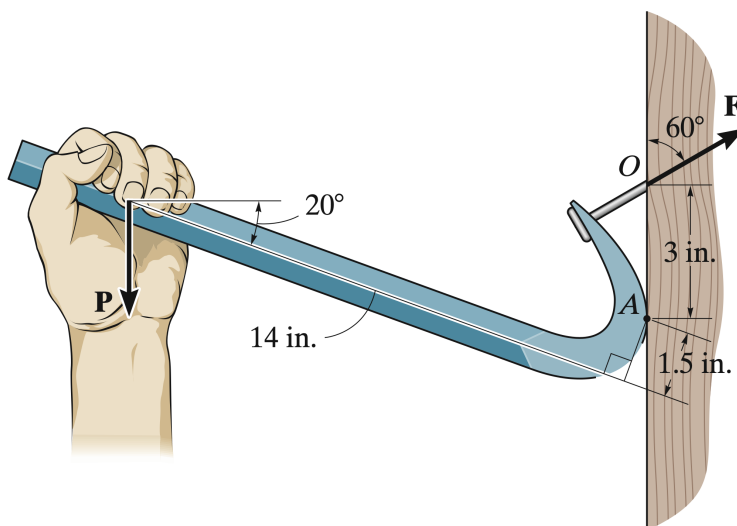


Figura 13: Figura de referencia.

(R: P es 25 lb, por lo que no es suficiente.)

11. Un trampolín de 3 m de longitud se apoya en un punto a 1 m del extremo fijo, y una clavadista que pesa 500 N se pone de pie en el extremo libre (figura 14). El trampolín tiene sección transversal uniforme y pesa 280 N.

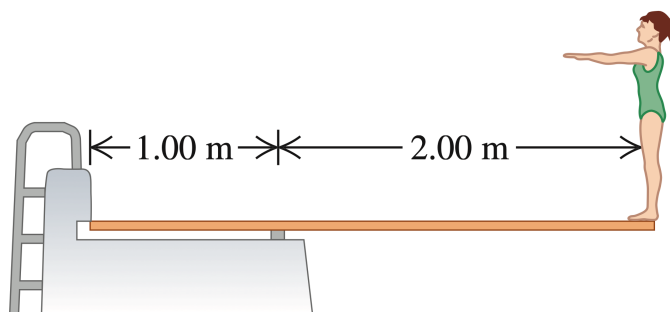


Figura 14: Figura de referencia.

Determina



- a) la fuerza en el punto de apoyo;
- b) la fuerza en el extremo izquierdo.

(R: a) 1920 N. b) 1140 N.)

12. Dos personas llevan una tabla uniforme de madera de 3 m de longitud que pesa 160 N. Si una persona aplica una fuerza hacia arriba de 60 N en un extremo, ¿en qué punto sostiene la tabla la otra persona? Inicia dibujando un diagrama de cuerpo libre de la tabla.

(R: 2,4 m.)

13. Una repisa uniforme de 60 cm y 50 N se sostiene horizontalmente mediante dos alambres verticales sujetos al techo en pendiente (figura 15). Una herramienta muy pequeña de 25 N se coloca en la repisa en medio de los puntos donde se le unen los alambres. Calcula la tensión en cada alambre. Comienza dibujando un diagrama de cuerpo libre para la repisa.

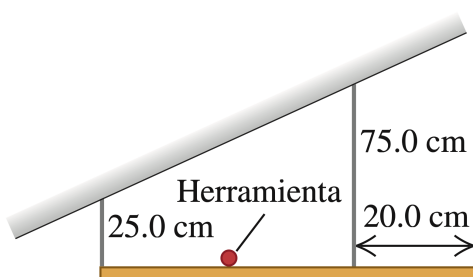


Figura 15: Figura de referencia.

(R: 25 N y 50 N.)

14. Una puerta de 2,13 m de altura y 0,91 m de ancho pesa 268 N. Una bisagra se encuentra a 0,3 m de la parte superior y otra se localiza a 30 cm de la parte inferior, sosteniendo una de ellas la mitad del peso de la puerta. Supone que el centro de gravedad (donde actúa el peso) está en el centro geométrico de la puerta. Determina la fuerza ejercida sobre la puerta por cada bisagra sobre la puerta.

(R: 79,69 N y 134 N.)

15. La viga horizontal de la figura 16 pesa 190 N, y su centro de gravedad está en su centro.



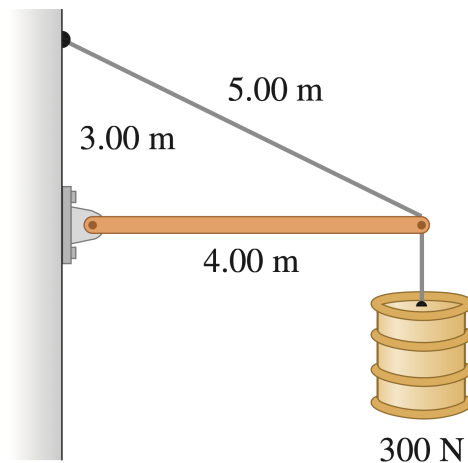


Figura 16: Figura de referencia.

Determina

- a) la tensión en el cable,
- b) las componentes horizontal y vertical de la fuerza ejercida por la pared sobre la viga.

(R: a) 658,3 N. b) Horizontal 527 N y vertical 95 N.)

16. Una barra uniforme de longitud 7,6 m y peso  $4,5 \times 10^2$  N es transportada por dos trabajadores, Sam y Joe, como se muestra en la figura 17. Determine la fuerza que cada persona ejerce sobre la barra.

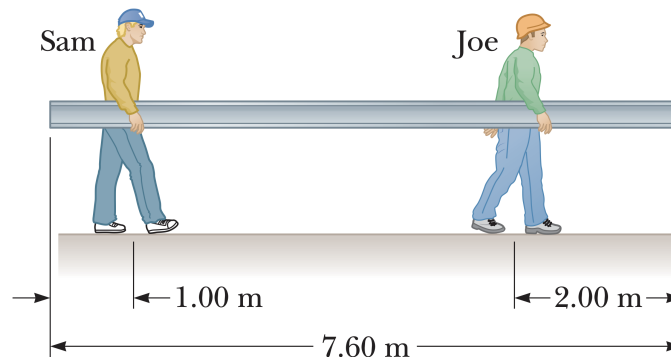


Figura 17: Figura de referencia.

(R: Sam: 176 N y Joe: 274 N.)

17. Una saltadora sostiene en equilibrio una garrocha de 29,4 N al ejercer una fuerza hacia arriba  $\vec{U}$  con una mano y una fuerza hacia abajo  $\vec{D}$  con la otra mano, como se muestra en la



figura 18. El punto C es el centro de gravedad de la garrocha. ¿Cuáles son las magnitudes de  $\vec{U}$  y  $\vec{D}$ ?

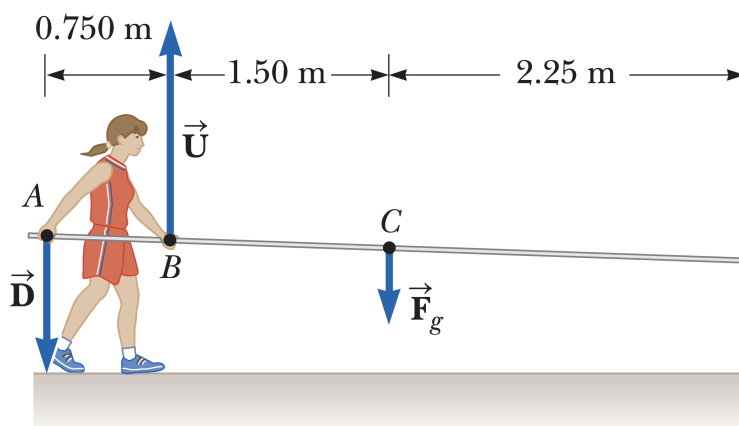


Figura 18: Figura de referencia.

(R: 88,2 N y 58,8 N.)

18. Un hombre arrastra una caja de 72 kg por el piso a una velocidad constante tirando de una correa atada al fondo de la caja. La caja está inclinada  $25^\circ$  sobre la horizontal y la correa está inclinada  $61^\circ$  sobre la horizontal. El centro de gravedad de la caja coincide con su centro geométrico, como se indica en la figura 19. Determina la magnitud de la tensión en la correa.

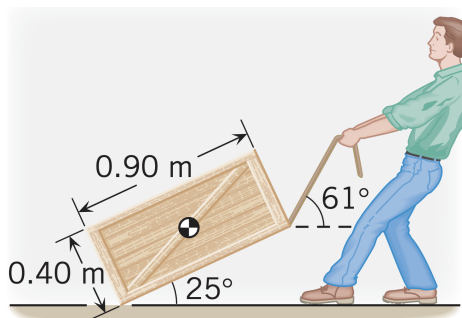


Figura 19: Figura de referencia.

(R: 430 N.)

19. Dos paredes verticales están separadas por una distancia de 1,5 m, como muestra la figura 20. La pared 1 es lisa, mientras que la pared 2 no lo es. Un tablero uniforme se apoya entre ellos. El coeficiente de fricción estática entre el tablero y la pared 2 es 0,98. Determina la longitud de la tabla más larga que se puede apoyar entre las paredes.



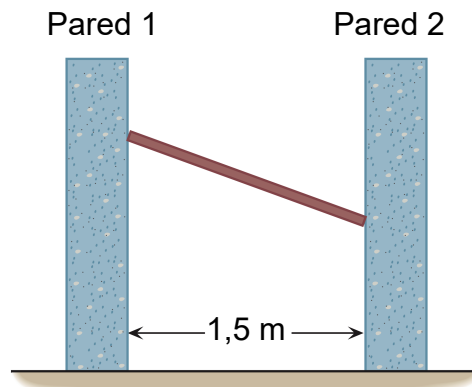
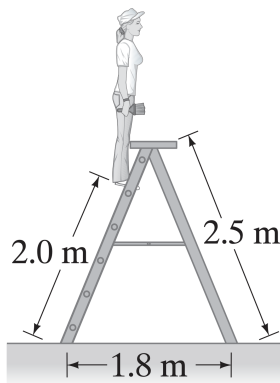


Figura 20: Figura de referencia.

(R: 1,7 m.)

20. Una persona de 56 kg está de pie a 2 m de la parte inferior de la escalera mostrada en la figura 21.



Determina

- la tensión en la varilla horizontal que se encuentra en la mitad de la escalera,
- la fuerza normal que ejerce el suelo a cada lado de la escalera, y
- la fuerza (magnitud y fuerza) que el lado izquierdo de la escalera ejerce sobre el lado derecho en la bisagra en la parte superior.

Figura 21: Figura de referencia.

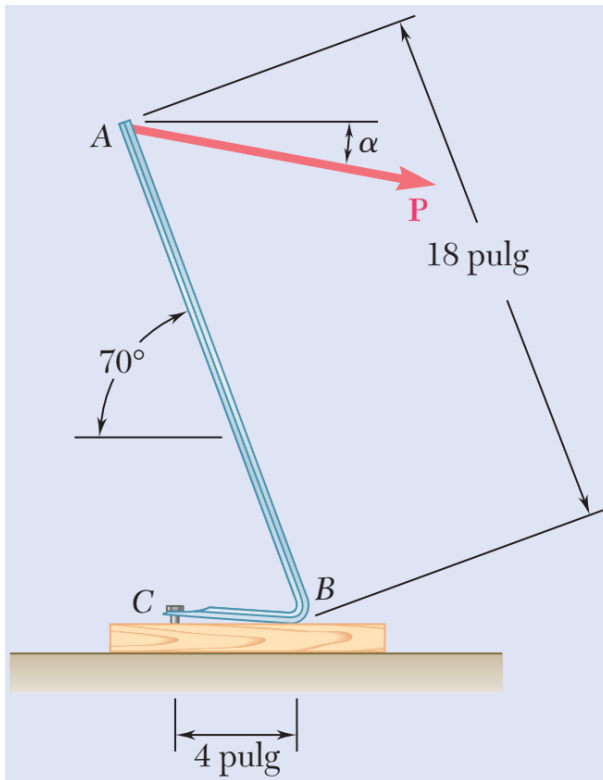
Desprecia la masa de la escalera y supone que el suelo no tiene fricción.

[Sugerencia: Considera los DCL para cada sección de la escalera.]

(R: a) 169,4 N. b) 219,5 N y 329,3 N. c) 277,3 N y  $52^\circ$ .)

21. Se sabe que es necesaria una fuerza vertical de 200 lb para remover el clavo que está en C de la tabla.





Un instante antes de que el clavo comience a moverse, determina

- el momento respecto de B de la fuerza ejercida sobre el clavo,
- la magnitud de la fuerza  $\vec{P}$  que genera el mismo momento respecto de B si  $\alpha = 10^\circ$  y
- la fuerza  $\vec{P}$  mínima que genera el mismo momento respecto de B.

Figura 22: Figura de referencia.

(R: a) 800 lb·pulg. b) 51,3 lb. c) 44,4 lb y  $20^\circ$ )

22. Determina el torque con respecto al punto O. No tomes en consideración el espesor del tubo.

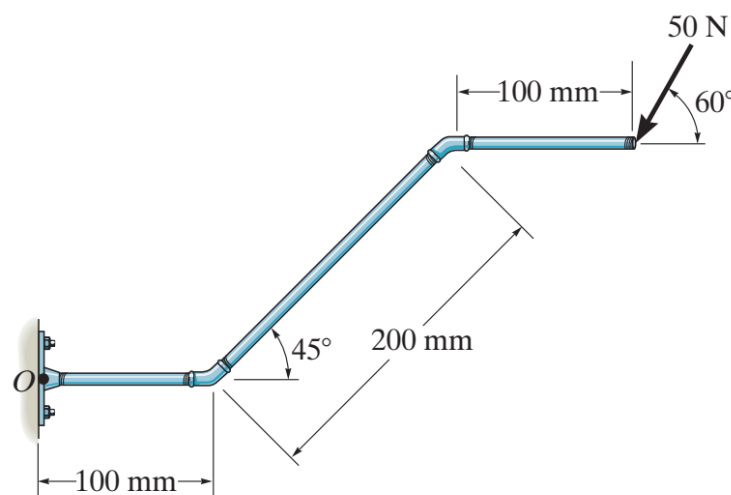


Figura 23: Figura de referencia.



(R: 11,2 N·m.)

23. Determina el torque con respecto al punto O.

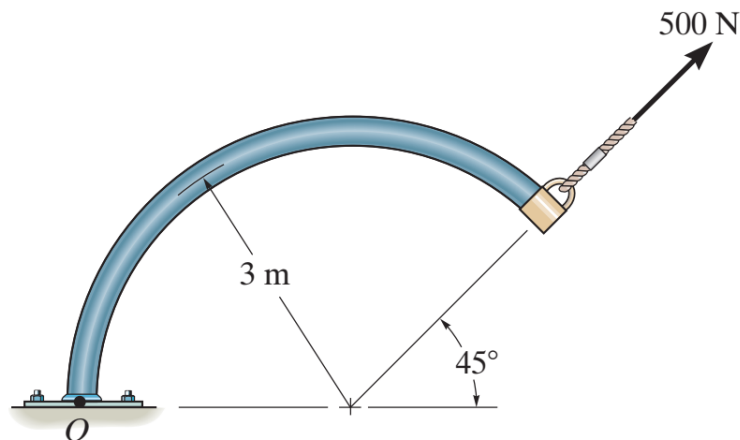


Figura 24: Figura de referencia.

(R: 1,06 kN·m.)

24. Determina el torque con respecto al punto O.

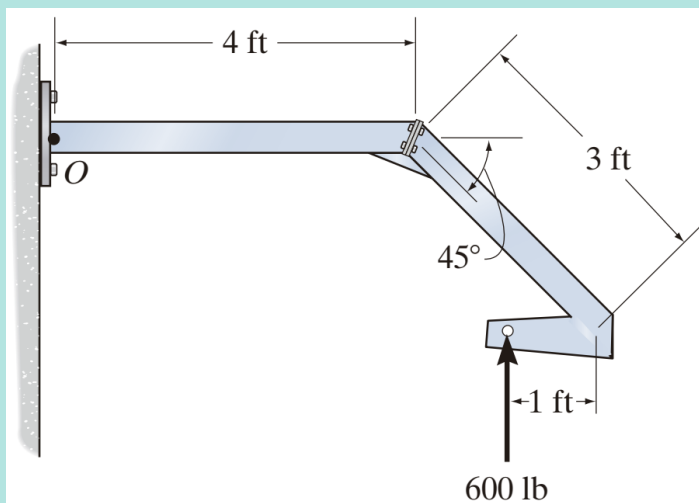


Figura 25: Figura de referencia.

(R: 4,162 kN·m.)



25. Determina el torque con respecto al punto O.

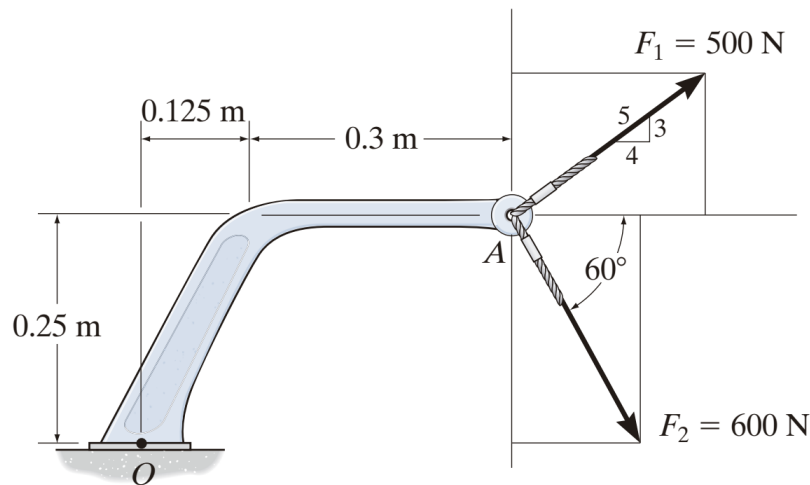


Figura 26: Figura de referencia.

(R: -268 N·m.)

## Referencias

- [1] J. D. Cutnell, K. W Johnson, Physics, Wiley, 7th ed, 2007.
- [2] R. A. Serway, J. W. Jewett Jr., Física para Ciencias e Ingenierías, Thomson, 6a ed, 2005.
- [3] D. C. Giancoli, Física para Ciencias e Ingeniería, Pearson Educación, 4ta ed, 2008.
- [4] H. D. Young y R. A. Freedman, Sears y Zemansky Física Universitaria, Pearson, 13a ed., 2013.
- [5] F. P. Beer, E. Russell Johnston y D. F. Mazurek, Mecánica vectorial para ingenieros (Estática), McGraw-Hill Education, 11a ed., 2017.
- [6] R. C. Hibbeler, Ingeniería Mecánica - Estática, Pearson Educación, 14a ed., 2016.

