

## Física y vías de comunicación

### ¿Cómo logra el Puente Bahuarte entre Durango y Mazatlán mantenerse en equilibrio?

Por las carreteras de nuestro país circulan vehículos de todo tipo. Desde bicicletas con poco peso hasta camiones que pueden transportar grandes cargas como maquinaria pesada y elementos de construcción... incluso en algunas ocasiones se ha trasladado aviones por carretera.

La orografía nacional es muy irregular por lo que con frecuencia es necesaria la construcción de puentes que permitan la comunicación entre dos sitios que no pueden ser conectados vía terrestre, como sucedió en un tramo de la carretera Durango – Mazatlán. En un lugar, para conectar dos elevaciones sobre el Río Bahuarte, fue necesaria la construcción de un puente: el Puente Bahuarte.

Con este puente se culminó la construcción de la carretera que reduce el tiempo de traslado entre Durango y Mazatlán de 7 horas a sólo dos horas y media, impactando en gran medida al comercio y al turismo, ya que por su integración al nuevo eje carretero es posible el traslado de personas y mercancías entre los dos océanos que limitan nuestro país.

Pero, ¿cómo logra este puente soportar el paso de vehículos?, ¿es lo mismo que pase sobre él un vehículo compacto a que pase un camión que traslada un tractor?, cuando no pasan vehículos sobre el puente, ¿no existen fuerzas sobre él?

El Puente Bahuarte (figura 1) se ubica en la Sierra Madre Occidental en los límites



de Durango y Sinaloa sobre la Autopista Durango – Mazatlán. Recibió un Récord Guinness porque es el puente atirantado más alto del mundo. Su longitud es de 1124 m, tiene 20 m de ancho y una altura de 402.57 m sobre el río Bahuarte. Además, entre sus torres existe una distancia de 520 m sin la presencia de soporte alguno. Esta 'luz' o 'vano' corresponde casi a la mitad de su longitud total.

Figura 1. Puente Bahuarte.

[https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQo-ZUCp\\_J6P5C-z8h6wh-kTDvhP544uFWqCeJWIGBFVCzkP3\\_e\\_nw](https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQo-ZUCp_J6P5C-z8h6wh-kTDvhP544uFWqCeJWIGBFVCzkP3_e_nw)

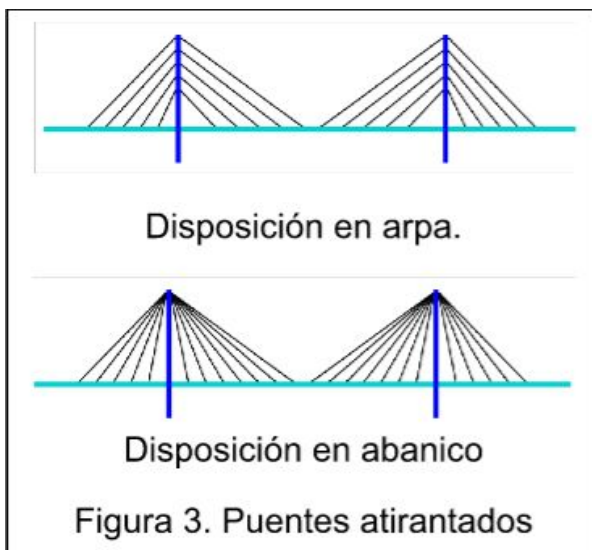
Se dice que un puente es 'atirantado' cuando la parte por la que transitan personas y vehículos, llamada tablero, está soportada por tirantes. Éstos son fuertes cables de acero, sujetos a torres que se elevan de los pilares (figura 2). La construcción de puentes atirantados es frecuente en todo el mundo porque permiten luces o vanos prolongados, lo que es considerado de gran belleza arquitectónica.



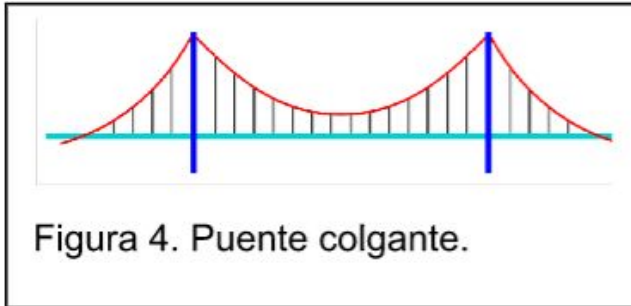
Figura 2. Partes fundamentales de un puente atirantado

[https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS6sJWP8d0HFXogB7pdd0HbLDwtvh\\_WJB\\_YNz3mE58ZK68s80\\_o](https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS6sJWP8d0HFXogB7pdd0HbLDwtvh_WJB_YNz3mE58ZK68s80_o)

El conjunto de tirantes soportados por una torre tiene disposición geométrica. Cuando se trata de tirantes paralelos se denomina disposición en arpa. Cuando tienen una disposición radial, se denomina en abanico (figura 3).



Los puentes atirantados se parecen a los puentes colgantes (figura 4), sin embargo difieren en la forma de soportar la carga. En los primeros los tirantes transmiten la carga del tablero y de los vehículos a las torres. Mientras en los colgantes, la carga se transmite mediante cables secundarios al cable principal y luego de éste a las torres.



En ingeniería, la palabra 'carga' se refiere a la fuerza que deben soportar los elementos de una construcción y su estudio es fundamental para garantizar que las edificaciones se mantengan erguidas.

El cálculo de las fuerzas a que se verá sometida una construcción determina sus dimensiones y los materiales a emplear. Tiene sus bases en el concepto físico de **equilibrio**. De acuerdo con éste, para que un cuerpo esté en equilibrio **la suma de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo debe tener resultado nulo, es decir  $\sum F = 0$**  (en otras palabras, la magnitud de la fuerza resultante es igual a cero  $F_R = 0$ ). Esta noción se conoce como **condición de equilibrio traslacional**.

Adicionalmente, para que un cuerpo no tenga giros, es necesario satisfacer la **condición de equilibrio rotacional**. De acuerdo a ésta, y de manera análoga a la condición anterior, **la suma de todos los momentos que actúan sobre un cuerpo debe tener resultado nulo es decir  $\sum M = 0$** .

En este escrito se enfatiza el equilibrio traslacional, básico en la construcción porque su efecto es mantener en su sitio a una edificación. Así, si un cuerpo (como un puente) está en reposo y la resultante de las fuerzas que sobre él actúan es cero, este cuerpo permanecerá en reposo; aspecto por supuesto imprescindible en las construcciones.

En términos generales para planear el proceso de construcción de un puente, los ingenieros identifican las fuerzas a que serán sometidos, aplican el concepto de equilibrio y emplean esta información como base para diseñar sus elementos constructivos. Una estrategia frecuente para analizar las fuerzas que actuarán sobre un puente consiste en dividir un problema en problemas más pequeños. Así, eligen las partes en que concurren varias fuerzas y las van estudiando una por una. Ejemplo de partes cruciales son aquellas en las cuales los tirantes se unen a la torre y donde se unen al tablero; mientras que ejemplo de magnitudes cruciales son el peso y cantidad de vehículos que el tablero puede soportar.

Un detalle interesante es que los tirantes introducen fuerzas inclinadas con componentes horizontales y verticales. Las torres y pilares son los elementos encargados de soportar los componentes verticales originados por el peso del tablero y de los vehículos que transitan por él. Mientras que el tablero debe soportar los componentes horizontales que transmiten los tirantes (figura 5). Estas

componentes, verticales por un lado y horizontales por otro, se equilibran para evitar que el puente cambie su posición, ya que el resultado de su suma, es decir

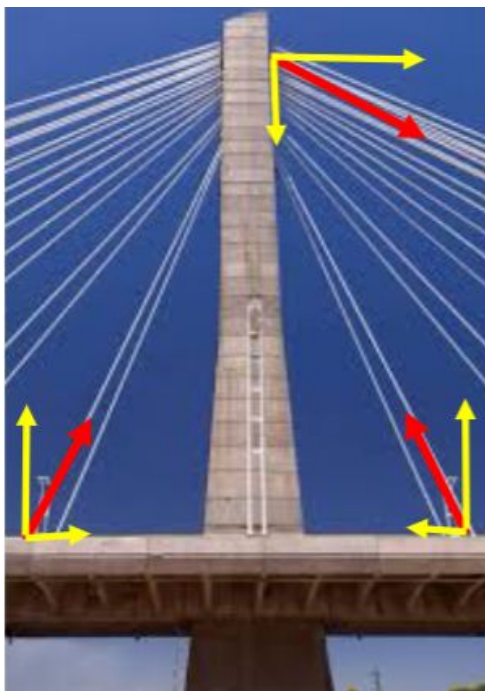


Figura 5. Fuerzas que introducen los tirantes en rojo. Componentes horizontales y verticales en amarillo.

su resultante debe ser cero ( $\sum F_x = 0$  y  $\sum F_y = 0$

). Otro efecto de las fuerzas que introducen los tirantes es producir giro en las torres. Para mantener a estos elemento en su sitio, un ingeniero debe considerar al equilibrio rotacional.

Para soportar el paso vehículos de diferente peso, los ingenieros calculan las fuerzas que se ejercen sobre el tablero, las torres y los pilares a partir de condiciones de equilibrio y en función de sus resultados deciden los materiales de construcción y sus dimensiones. Por supuesto ellos consideran el máximo peso posible de los vehículos que transitarán por un puente, y agregan factores de seguridad. Sin embargo, aunque no haya vehículos sobre el puente, siempre existen fuerzas sobre el tablero, los tirantes, las torres y los pilares. **El hecho de que el puente permanezca en su sitio no se debe a que se apliquen fuerzas sobre él, sino a que la suma de todas ellas y la suma de sus giros tiene un valor nulo.**

La construcción de un puente implica muchos más elementos de los antes descritos, aunque ciertamente éstos son la base.

### Actividades para la comprensión

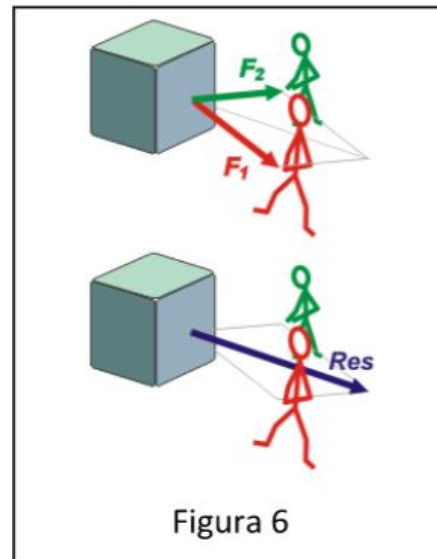
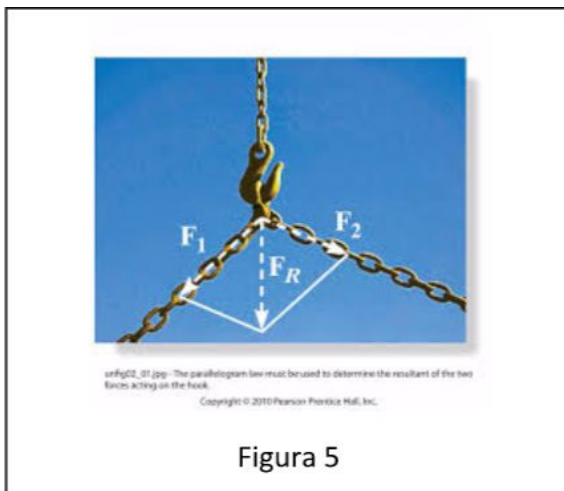
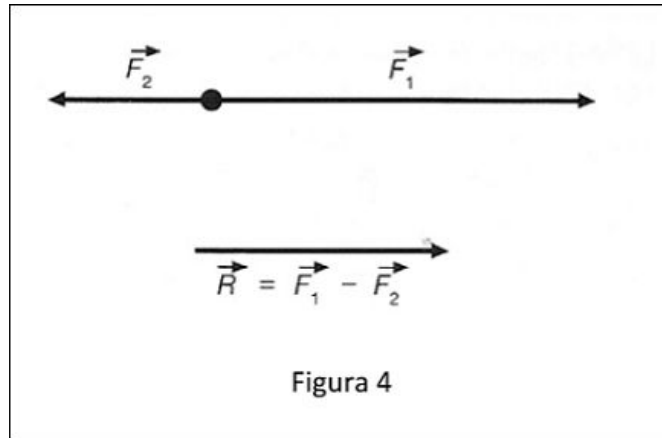
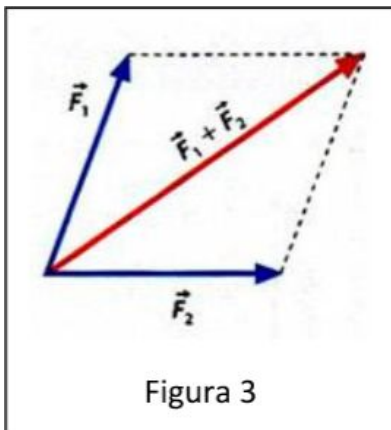
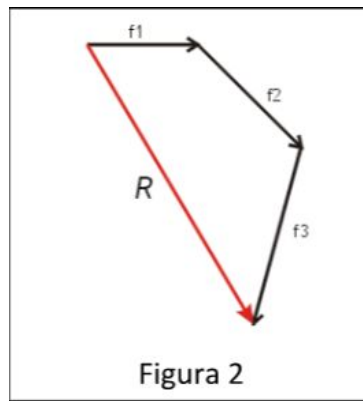
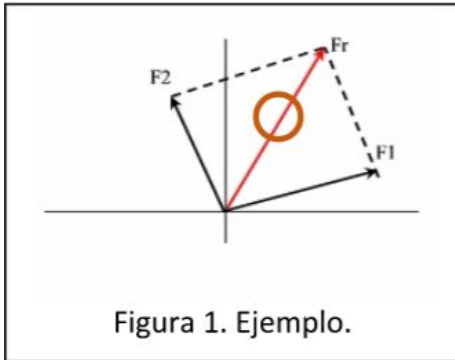
1. Escribe una 'x' en el recuadro del descriptor que representa lo que sabes. Describe en la última columna cómo puedes mejorar lo que sabes.

Condición de equilibrio traslacional				
Indicador	Descriptor			Cómo mejorar
Diferencia entre fuerza aplicada y	<input type="checkbox"/> Reconozco las fuerzas que se aplican sobre un cuerpo.	<input type="checkbox"/> Identifico qué es una fuerza resultante.	<input type="checkbox"/> Distingo las fuerzas que se aplican a un cuerpo, de su resultante.	

fuerza resultante.				
Equilibrio.	<input type="checkbox"/> Identifico objetos del entorno que se encuentran en equilibrio.	<input type="checkbox"/> Reconozco cuáles son las condiciones del equilibrio traslacional.	<input type="checkbox"/> Puedo explicar con mis palabras qué se requiere para que objeto se encuentre en equilibrio traslacional.	
Formas de expresar condiciones de equilibrio traslacional.	<input type="checkbox"/> Expreso las condiciones de equilibrio traslacional con palabras.	<input type="checkbox"/> Utilizo : $\sum F = 0$ para expresar condiciones de equilibrio traslacional.	<input type="checkbox"/> Para expresar condiciones de equilibrio traslacional empleo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>F_R = 0</math></li> <li>• <math>\sum F = 0</math></li> <li>• <math>\sum F_x = 0</math> y <math>\sum F_y = 0</math></li> </ul>	
Predicciones sobre permanencia del equilibrio traslacional.	<input type="checkbox"/> Puedo dibujar a las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.	<input type="checkbox"/> Calculo la fuerza resultante a partir de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.	<input type="checkbox"/> Puedo predecir si un objeto permanecerá en equilibrio traslacional con saber el valor de la fuerza resultante.	
Predicciones sobre la magnitud de la fuerza resultante.	<input type="checkbox"/> Identifico si un objeto se encuentra en reposo o si tiene algún tipo de movimiento.	<input type="checkbox"/> Puedo reconocer cuándo un objeto cambia su estado de movimiento.	<input type="checkbox"/> Puedo predecir si sobre un cuerpo $F_R = 0$ o $F_R \neq 0$ al analizar si cambia su estado de movimiento.	
Problemas sobre objetos en equilibrio traslacional.	<input type="checkbox"/> No tengo idea cómo resolver un problema sobre condiciones de equilibrio.	<input type="checkbox"/> Puedo resolver problemas sobre condiciones de equilibrio si me ayudo de mis apuntes y/o consulto con mis compañeros.	<input type="checkbox"/> Resuelvo problemas sobre condiciones de equilibrio porque sé calcular fuerzas resultantes e identificar cambios en el estado de movimiento de los cuerpos.	

Para resolver las siguientes cuestiones forma equipo con tres o cuatro compañeros. Discutan las respuestas y escribanla de manera individual en el sitio que indique su profesor.

2. A continuación se presentan varias figuras que muestran fuerzas aplicadas y fuerzas resultantes en diferentes situaciones. **Dibuja un pequeño círculo sobre las fuerzas resultantes.** Observa el ejemplo en la figura 1.





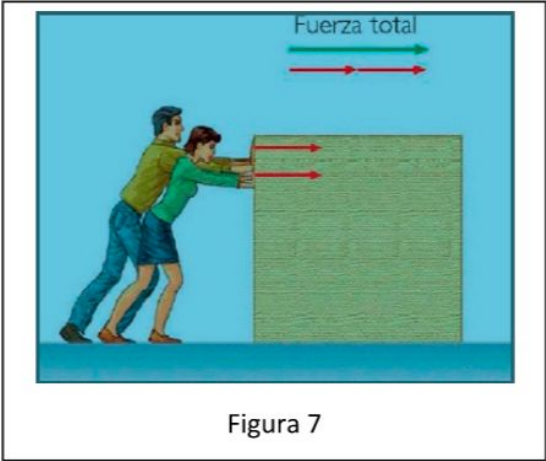


Figura 7

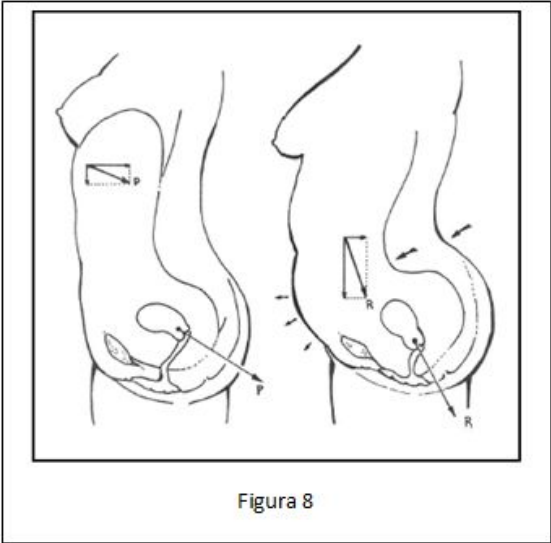


Figura 8

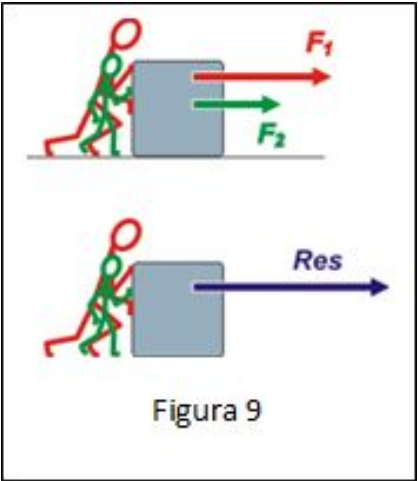


Figura 9

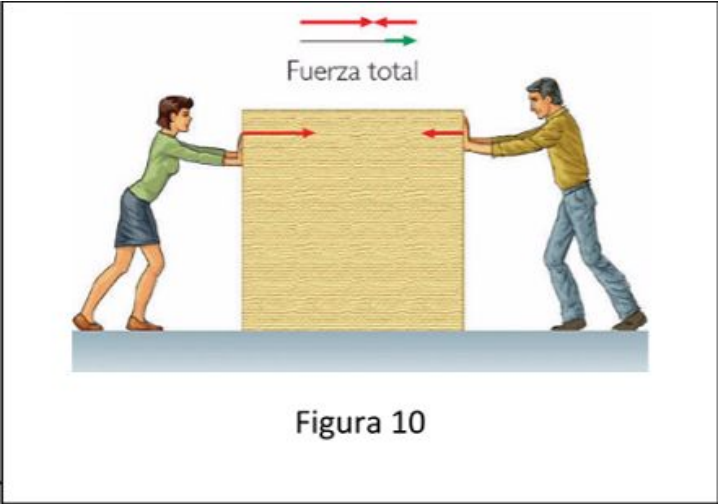


Figura 10

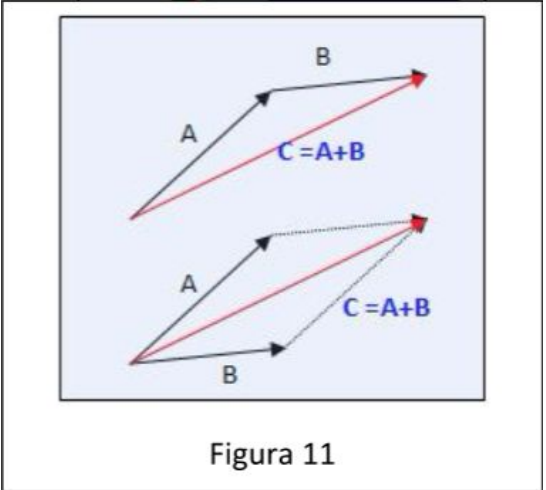


Figura 11

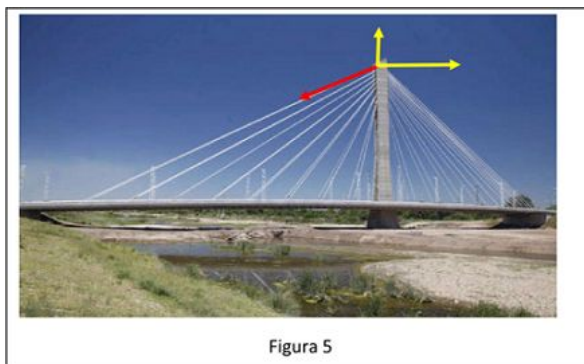
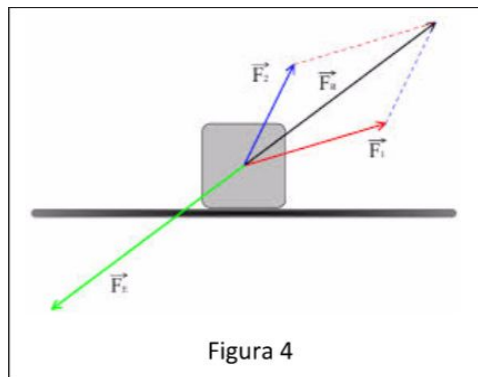
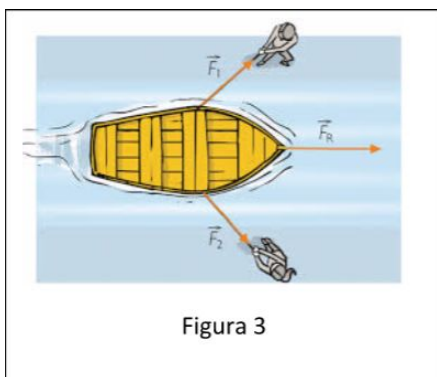
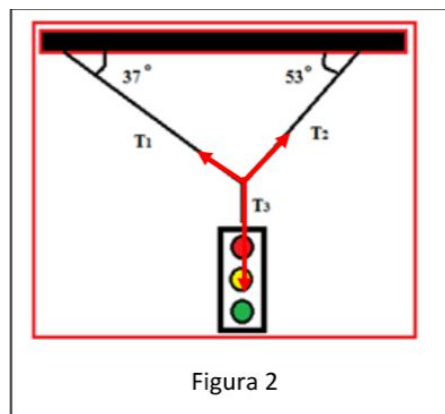
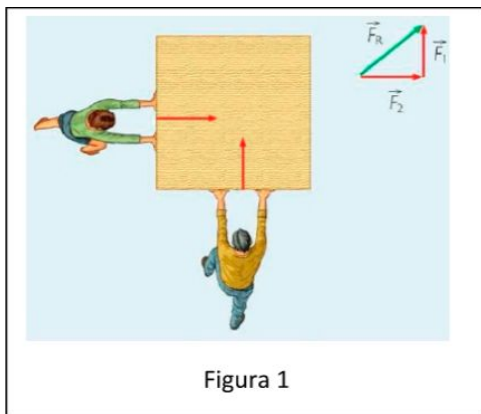
3. ¿Qué diferencia hay entre fuerza aplicada y fuerza resultante?
4. Explica con tus palabras cuándo un objeto se encuentra en equilibrio traslacional.

5. Analiza las formas de expresar matemáticamente a las condiciones de equilibrio traslacional ( $F_R = 0$ ,  $\sum F = 0$ ,  $\sum F_x = 0$  y  $\sum F_y = 0$ ), ¿cuál de ellas consideras que es la mejor? Explica por qué.

### Actividades de integración

1. Observa las siguientes situaciones. Indica en cuál de ellas permanece en equilibrio traslacional el cuerpo sobre el que se aplican fuerzas.

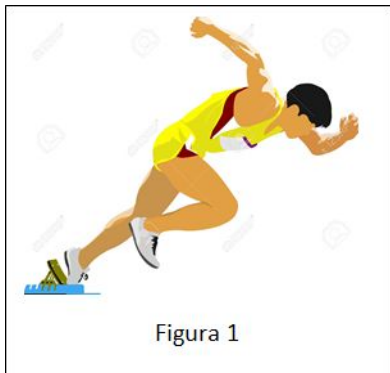
*Sugerencia:* identifica la magnitud de la suma total de fuerzas que actúan en las diferentes situaciones, decide si es o no igual a cero.





2. Observa las siguientes situaciones indica para cada caso si la magnitud de la fuerza resultante es igual o diferente de cero.

*Sugerencia:* analiza si el objeto mostrado cambia su estado de movimiento.



3. Roberto aplica una fuerza de 60 N sobre una caja como se muestra en la figura, sin embargo la caja no se mueve.



- ¿La caja se encuentra en equilibrio traslacional antes de que Roberto la empuje? Explica.
- ¿La caja se encuentra en equilibrio traslacional cuando Roberto la empuja, pero no se mueve? Explica.
- ¿Cuánto vale la fuerza resultante antes de que Roberto empuje la caja?
- ¿Cuánto vale la fuerza resultante cuando Roberto empuja la caja?

- e. En la figura se muestra la fuerza que Roberto aplica a la caja, explica qué debe suceder para que la caja no se mueva en esta circunstancia.

### Actividades de ejecución

1. ¿Por qué el Puente Balarate se mantiene en su lugar si sobre él actúan muchas fuerzas? Explica.
2. El Puente Balarate puede estar vacío, soportar el paso de personas, de carros y de camiones muy pesados, ¿cambia la magnitud de la fuerza resultante cuando soporta cargas diferentes? Explica.



3. Lorena entró a clase de Física y comentaba a su compañero: “¡claro! para que se mueva un objeto en reposo solo se requiere aplicar fuerza”. ¿Es correcta la afirmación de Lorena?, ¿es suficiente? Explica.
4. ¿Qué utilidad tiene saber sobre condiciones de equilibrio?
5. Una pareja estaba

contemplando un hermoso atardecer. Ella era estudiante de Literatura, mientras él estudiaba Física (y tenía fama de ser muy coqueto). Cuando el Sol estaba justo por desaparecer en el horizonte, en un momento de mucha quietud y romanticismo, ella le dijo a él, “¿cuánto me quieres?”... a lo que él contestó apasionadamente: “¡te quiero con todas mis fuerzas!”.... De acuerdo con sus condiciones de equilibrio, ¿piensas que ella debe creer lo que su novio dice? Explica.



6. Regresa a la rúbrica que se presenta al inicio. Reflexiona sobre lo aprendido y registra con una 'paloma' “√” lo que ahora sabes.
7. Analiza tus aprendizajes y describe en la siguiente tabla lo que sabías y ahora sabes, y lo que pensabas y ahora piensas.

Respecto de las condiciones de un cuerpo en equilibrio	
Qué sabía:	Pensaba:
Qué sé:	Pienso:

Fuentes de consulta:

Textos	Segarra, P. y Jiménez, E. (2012). <b>Física I</b> . Conect@ entornos. México: SM de Ediciones, S.A. de C.V.
Videos	Puente Baluarte – El atirantado más alto del mundo (NatGeo) <a href="https://youtu.be/u0uTxNvc49M">https://youtu.be/u0uTxNvc49M</a>
Sitios	Puentes atirantados <a href="http://puentes.galeon.com/tipos/pontstirante.htm">http://puentes.galeon.com/tipos/pontstirante.htm</a>  Equilibrio traslacional <a href="http://latino619elreyazul.blogspot.es/1275448453/equilibrio-traslacional/">http://latino619elreyazul.blogspot.es/1275448453/equilibrio-traslacional/</a>