

## Paralelogramo de Fuerzas

### ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA ADICIÓN VECTORIAL DE FUERZAS

- Estudio gráfico del equilibrio de tres fuerzas independientes.
- Estudio analítico del equilibrio de fuerzas, con orientación simétrica de las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$ .

UE1020300

05/15 JS

### FUNDAMENTOS GENERALES

Fuerzas son vectores, es decir, que se suman de acuerdo con las leyes de la adición vectorial. Interpretando gráficamente, el punto inicial del segundo vector se desplaza hasta el punto final del primer vector. La flecha desde el punto inicial del primer vector hasta el punto final del segundo vector representa el vector resultante. Si se consideran ambos vectores como los lados de un paralelogramo, el vector resultante será entonces la diagonal del paralelogramo (ver Fig. 1).

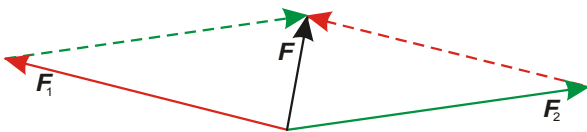


Fig. 1: Adición vectorial de fuerzas (Paralelogramo de fuerzas)

Sobre la mesa de fuerza s e puede comprobar sencilla y claramente la suma vectorial de las fuerzas. Para ello, el punto de aplicación de tres fuerzas individuales en equilibrio se encuentra exactamente en el centro. Se determinan los valores absolutos de cada una de las tres fuerzas originadas por las masas colgantes y se leen sus direcciones como ángulos en una escala angular.

En un equilibrio de fuerzas, la suma de las fuerzas aisladas cumplen la condición:

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 = 0 \quad (1)$$

Es decir que la fuerza  $-\mathbf{F}_3$  es igual a la suma vectorial de las fuerzas  $\mathbf{F}_1$  y  $\mathbf{F}_2$  (ver Fig. 2):

$$-\mathbf{F}_3 = \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (2)$$

Para la componente vectorial paralela a la suma  $\mathbf{F}$  se cumple

$$-F_3 = F = F_1 \cdot \cos\alpha_1 + F_2 \cdot \cos\alpha_2 \quad (3)$$

y para la componente perpendicular a ella

$$0 = F_1 \cdot \sin\alpha_1 + F_2 \cdot \sin\alpha_2 \quad (4)$$

Las ecuaciones (3) y (4) describen la adición vectorial analíticamente. Para la comprobación experimental es conveniente fijar la fuerza  $\mathbf{F}_3$  en el ángulo 0.

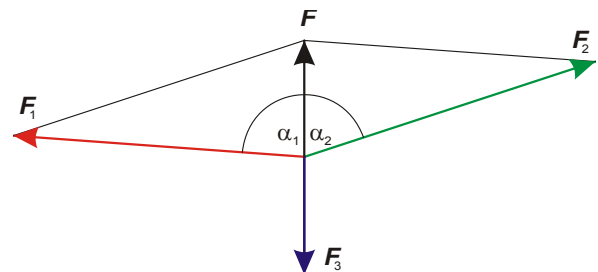


Fig. 2: Determinación de la suma vectorial de dos fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  a partir de la fuerza  $F_3$  que mantiene el equilibrio

Alternativamente a la consideración analítica, se puede estudiar el equilibrio de las fuerzas también gráficamente. En este caso se dibujan primero las fuerzas con sus valores absolutos y sus ángulos partiendo del punto de aplicación. A continuación se desplazan las fuerzas  $\mathbf{F}_2$  y  $\mathbf{F}_3$  hasta que el punto inicial se encuentre al final del vector anterior. Como resultado se espera el vector resultante igual a 0 (ver Fig. 3). Esta situación se realiza en el experimento con tres fuerzas cualesquiera que se encuentren en equilibrio.

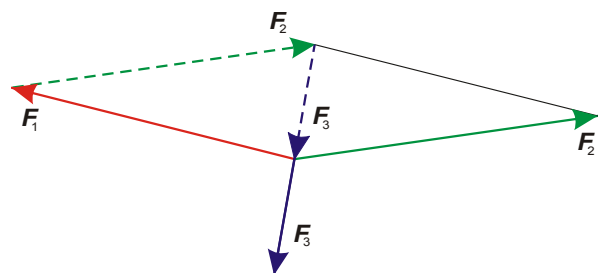


Fig. 3: Estudio gráfico del equilibrio de tres fuerzas aisladas de cualquier orientación

En el experimento la consideración analítica se limita al caso especial en que las fuerzas  $\mathbf{F}_1$  y  $\mathbf{F}_2$  estén orientadas simétricamente con respecto a  $\mathbf{F}_3$ .

LISTA DE EQUIPOS

- 1 Mesa de fuerzas 1000694 (U52004)

MONTAJE



Fig. 4: Montaje experimental

- Monte la mesa de fuerzas sobre una superficie plana.
- Fije las ruedas de desviación de los brazos de fuerza en 60°, 180° y 300°.
- Con abrazaderas de soporte se fijan las cuerdas en el anillo blanco, cada una de ellas se pasa alrededor de una rueda de desviación y se carga con un juego completo de pesas de ranura.
- Compruebe si el anillo blanco se orienta simétricamente con respecto al centro de la mesa.
- Si es necesario se corrige la orientación de la mesa y la dirección de las cuerdas.

EJECUCIÓN

a) Orientación simétrica de  $F_1$  y  $F_2$ :

- El brazo de la fuerza  $F_3$  se deja todavía en 180°.
- Los brazos de las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  se enclavan en 10° y 350° (-10°) y se cargan con 100 g.
- La carga del brazo de  $F_3$  se elije de tal forma que el anillo blanco se encuentre en una posición de equilibrio y se anota la masa colgada  $m_3$  en la tabla 1.
- Los brazos de las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  se enclavan en 20° y 340° (-20°) y seleccionando adecuadamente  $m_3$  se restablece nuevamente el equilibrio.
- Secuencialmente se cambia a los ángulos  $\alpha_1 = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$  y  $90^\circ$ , y cada vez se determina la masa  $m_3$  para la restitución del equilibrio y se anota en la tabla 1.

b) Orientación general de los brazos de las fuerzas:

- El brazo de la fuerza  $F_1$  se enclava en 340° y se carga con 50 g.
- El brazo de la fuerza  $F_2$  se enclava en 80° y se carga con 70 g.
- El brazo de la fuerza  $F_3$  se orienta y se carga de tal forma que se establezca un equilibrio de las fuerzas.

EJEMPLO DE MEDICIÓN

a) Orientación simétrica de  $F_1$  y  $F_2$ :

Tab. 1: La masa necesaria  $m_3$  para el equilibrio de las fuerzas y la fuerza  $F_3$  calculada a partir de ella, en dependencia con el ángulo  $\alpha_1$  ( $m_1 = m_2 = 100$  g,  $F_1 = F_2 = 100$  g)

$\alpha_1$	$m_3$ (g)	$F_3$ (N)
10°	200	2,00
20°	190	1,90
30°	170	1,70
40°	155	1,55
50°	130	1,30
60°	200	2,00
70°	70	0,70
90°	0	0,00

b) Orientación general de los brazos de las fuerzas:

Tab. 2: Ángulos  $\alpha_i$  de los brazos de las fuerzas, masas colgadas  $m_i$  y las fuerzas calculadas a partir de ellas  $F_i$

$\alpha_1$	$m_1$ (g)	$F_1$ (N)	$\alpha_2$	$m_2$ (g)	$F_2$ (N)	$\alpha_3$	$m_3$ (g)	$F_3$ (N)
350°	50	0,5	80°	70	0,7	221°	80	0,8

## EVALUACIÓN

### a) Orientación simétrica de $F_1$ y $F_2$ :

En el caso simétrico ( $F_1 = F_2$  und  $\alpha_1 = -\alpha_2$ ) la ecuación (4) se cumple trivialmente. De la ecuación (3) se obtiene la ecuación para la determinación de la suma

$$F = 2 \cdot F_1 \cdot \cos \alpha_1.$$

Con esta ecuación de determinación se calculó la curva dibujada en la Fig. 5, la cual concuerda con los datos de medida de la tabla 1, dentro de la exactitud de medida.

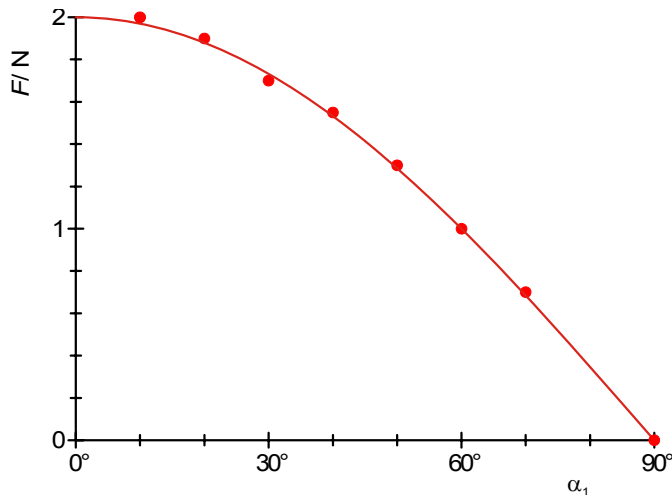


Fig. 5: Suma de dos fuerzas simétricas medida y calculada en dependencia con el ángulo de apertura  $\alpha_1$ .

### b) Orientación general de los brazos de las fuerzas:

Para la evaluación gráfica de los datos de medida de la tabla 2 se dibujan las tres fuerzas partiendo de un punto de aplicación central, con sus valores absolutos y sus ángulos. A continuación se desplazan las fuerzas  $F_2$  y  $F_3$  paralelamente hasta que el punto inicial quede en el final del vector anterior.

El vector resultante debe tener la longitud 0 dentro del rango de la exactitud de medida.

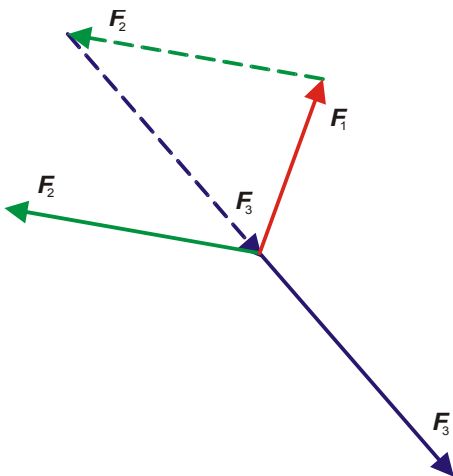


Fig. 6: Representación gráfica de las fuerzas de los datos de medida de la tabla 2 y la suma de todas las fuerzas.