***ESCUELA:* 4-107 "EJÉRCITO ARGENTINO"**

- **Espacio Curricular: Física**
- **Curso/División: 3° 1ra/2da**
- **Profesor: Fernando Barrigón**
- **Nombre y Apellido:**

GUÍA N°4

Tema: Peso, Fuerzas y Sistemas de fuerzas

Fecha de Entrega
1era. 11/04/22 - Corrección
2da. 18/04/22 - Definitiva

Objetivo:

- ✓ Comprender y dominar las técnicas y las unidades de la medición.

A continuación se detallan las capacidades a evaluar:

- Lectura comprensiva - Resolución de problemas - Aplicación de saberes previos

Actividad N°1

Concepto de Peso

A continuación seguiremos con el trabajo de la materia que nos permitirá desarrollar las siguientes actividades.

CUESTIONARIO

Preg. 1 - Defina peso. Dé un ejemplo.

Preg. 2 - Exprese las unidades en que se mide el peso.

Preg. 3 - ¿Qué es la fuerza de gravedad?

Preg. 4 - ¿Guarda alguna relación la gravedad con el peso? Explique cuál.

Preg. 5 - ¿Cómo se miden las fuerzas? Explique el funcionamiento del Dinamómetro.

Preg. 6 - ¿Qué es el peso específico? A través de un ejemplo describa el cálculo y las unidades en que se mide.

Preg. 7 - ¿La relación de volumen y el peso, es una consecuencia de peso específico? ¿Por qué?

Preg. 8 - ¿Cómo se determina el peso específico de un líquido y de un sólido, desde lo experimental?

Preg. 9 - Si bien las áreas y los volúmenes, tienen una forma analítica de calcularse, conociendo el peso del cuerpo también podemos hacerlo ¿Cómo se determinan áreas y volúmenes a través del método de pesadas?

Concepto de Fuerza

Preg. 10 - ¿Cómo se define una fuerza? Dé un ejemplo.

Preg. 11 - ¿Qué es una escala? Ejemplo las escalas cartográficas, explíquelas.

Preg. 12 - ¿Cuáles son los elementos constitutivos de una fuerza? Grafique.

Preg. 13 - ¿Qué es un sistema de fuerzas, cuál es su resultante y cuando el sistema está en equilibrio?

Preg. 14 - ¿Cuáles son los tipos de sistemas de fuerzas? Dé un ejemplo de cada uno.

Preg. 15 - ¿Cómo se calcula la resultante de un sistema de fuerzas colineal?

Preg. 16 - ¿Cómo se calcula la resultante de un sistema de fuerzas concurrentes, o que tienden a concurrir en un mismo punto? Método de paralelogramo.

Preg. 17 - Explique las dos verificaciones experimentales del método de paralelogramo.

Preg. 18 - ¿Cómo se resuelve el caso, para determinar la resultante, de dos fuerzas concurrentes que no tienen el mismo punto de aplicación? Desarrolle un ejemplo.

Preg. 19 – Describa cómo se determina la resultante de un sistema de fuerza aplicando los siguientes métodos:

a) Método de polígono de fuerzas.
b) Método de la poligonal.
c) Método de polígono funicular.

Desarrolle un ejemplo de cada caso.

Preg. 20 - ¿Qué es y cómo se establece la equilibrante de un sistema de fuerza? Resolución gráfica.

Preg. 21 - ¿Cómo se descomponen dos fuerzas concurrentes?

Actividad N° 2

Resuelva los siguientes ejercicios.

Ej 1 - Calcule el peso específico de un cuerpo que pesa 1,8kgf, siendo su volumen de 0,35 cm3.

Ej 2 - ¿Cuál será el peso específico de una sustancia, tal qué, 25 cm3 pesan 67500 kgf?

Ej 3 - El peso específico de un líquido es de 1,275 kgf / cm3 ¿Cuál será el peso de ¾ litros de ese líquido?

Ej 4 - ¿Cuánto pesará el papel de aluminio del envoltorio de un chocolate si su espesor es 22 micrones, su longitud es de 15,2 cm y un ancho de 8,1 cm? (peso específico del aluminio 2,7 grf/cm2).

EJ 5 - La superficie irregular de cierto papel pesa 7,5 grf y 10 cm2 del mismo pesan 0,37 grf ¿Cuál es la superficie del papel?

FUERZAS

FUERZA Y PESO. OTRAS FUERZAS QUE ACTUAN EN LA NATURALEZA

Denominamos *fuerzas* a todo aquello que tiende a modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo.

Cuando sostenemos un cuerpo o tratamos de levantarlo, el esfuerzo muscular realizado nos da la idea de fuerza y, a la vez, de una magnitud de ese cuerpo, que llamamos *peso*.

Peso de un cuerpo

Si sostenemos un objeto cualquiera suspendido por medio de un hilo (fig. 2-1), observaremos que el hilo se pone tenso y, si se llegara a cortar, el cuerpo caería indefectiblemente hacia el suelo. Este fenómeno tantas veces observado, comentado y estudiado se produce por la acción de una fuerza que actúa sobre todos los cuerpos ubicados en la superficie terrestre, llamada *fuerza de gravedad*.

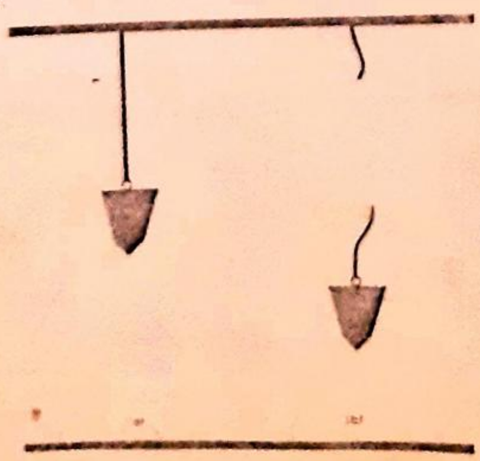

Fig. 2-1. *Fuerza de la gravedad. Esta fuerza actúa sobre la pesa que está sujeta por el hilo, por esto el hilo está tenso (a); si se corta el hilo, el cuerpo cae por la acción de esa fuerza (b).*

Luego:

El peso de un cuerpo representa la fuerza de gravedad que se ejerce sobre él.

Coloquemos sucesivamente distintos cuerpos A, B, C suspendidos de un mismo resorte, como lo indica la figura 2-2.

Observaremos que se producen distintos estiramientos, por lo cual decimos que poseen diferente peso. Si en cambio colocamos los cuerpos M, N o P (fig. 2-3) puede ocurrir que provoquen iguales estiramientos y decimos que tienen el mismo peso.

En todos los casos, los estiramientos se han producido por la acción de la fuerza de la gravedad sobre esos cuerpos.

Por ello podemos decir:

Peso de un cuerpo es la mayor o menor fuerza de atracción de la gravedad que la Tierra ejerce sobre un cuerpo situado en ella.

Unidad de peso. Es el gramo peso. Es el peso de la milésima parte del kilogramo patrón considerado a 45° de latitud.

La fuerza de gravedad

Si analizamos el proceso verificado al colocar el cuerpo en el resorte de las figuras 2-2 y 2-3 o suspender el cuerpo mediante un hilo, comprobaremos que siempre el estiramiento se produce en sentido hacia el centro de la Tierra, por lo cual diremos:

La fuerza de la gravedad tiene sentido hacia el centro de la Tierra.

Podríamos también comprobar que el mismo cuerpo colocado en el mismo resorte pero considerado en distintos lugares de la Tierra provocara diferentes estiramientos, lo que permite expresar:

La fuerza de atracción de la gravedad no es igual en todos los puntos de la Tierra.

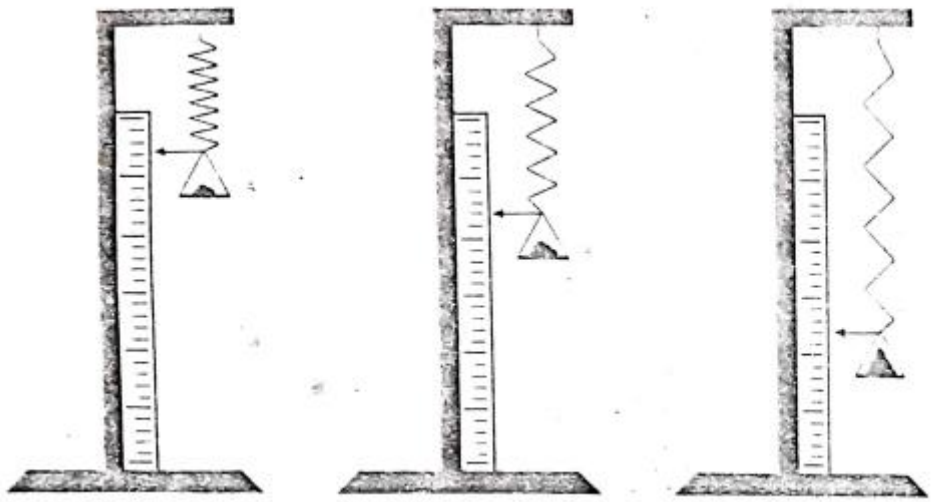

Fig. 2-2. *Peso de los cuerpos. Los cuerpos provocan distintos estiramientos pues sus pesos son diferentes.*

Se ha podido comprobar al respecto que la fuerza de atracción es mayor en los polos que en el ecuador (fig. 2-5), por lo cual:

El peso de un cuerpo varía con la latitud del lugar; su valor máximo lo adquiere en los polos y disminuye hacia el ecuador.

Imaginemos ahora ese mismo cuerpo en el resorte y a cierta altura sobre el nivel del mar, por ejemplo, en un avión a mil, dos mil o más metros del suelo. ¿Qué sucederá? Pues que, al estar más alejado de la Tierra, la acción de la fuerza gravitatoria ha disminuido y por ello el peso (estiramiento provocado) es menor (fig. 2-6).

De lo explicado resulta:

El peso de un cuerpo varía en proporción inversa a su distancia respecto de la Tierra.

O bien: A medida que el cuerpo se aleja de la Tierra, pesa menos.

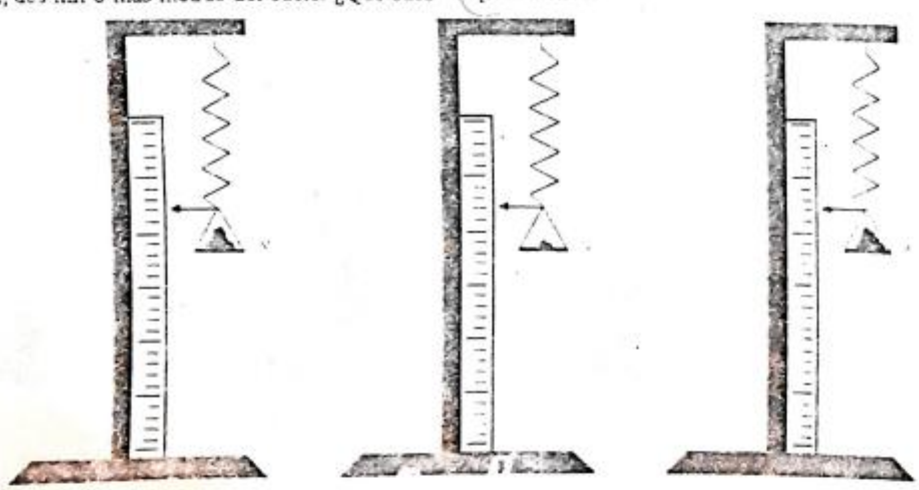

Fig. 2-3. *Los cuerpos provocan igual estiramiento. Poseen el mismo peso.*

Fig. 2-4. *Sentido de la fuerza de gravedad. Siempre ese sentido es hacia el centro de la Tierra.*

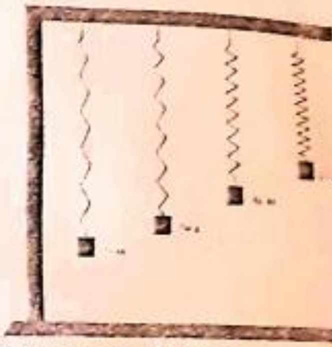

Fig. 2-5. *El peso de un cuerpo varía según la latitud del lugar.*

MEDICION DE FUERZAS. EL DINAMOMETRO

Se llama así al aparato destinado a medir la intensidad de fuerzas por comparación con pesos determinados, tomados como unidad de medida (fig. 2-7).

Consta de un resorte totalmente elástico. Uno de sus extremos está fijo; el otro puede desplazarse libremente y posee un fiel que marca sobre una escala el estiramiento (o deformación) provocado por la fuerza que se aplica en el extremo libre.

Ciertos cuerpos poseen la propiedad de poder modificar su forma (longitud, volumen) por acción de fuerzas exteriores que, una vez desaparecidas, permiten al cuerpo recobrar su forma primitiva. A esta propiedad se denomina *elasticidad*.

La escala del dinamómetro se gradúa en kilogramos empleando para ello pesas de distintos valores, correspondientes al sistema ya estudiado.

La intensidad de la fuerza aplicada se mide entonces directamente sobre la escala según el estiramiento o deformación provocado en el resorte o cuerpo elástico.

El kilogramo fuerza

De lo expuesto, queda entonces justificado que hablemos de fuerzas de 20 kilogramos, 72 kilogramos, etcétera. Es decir que tomamos como unidad de fuerza el kilogramo peso y lo llamamos kilogramo fuerza.

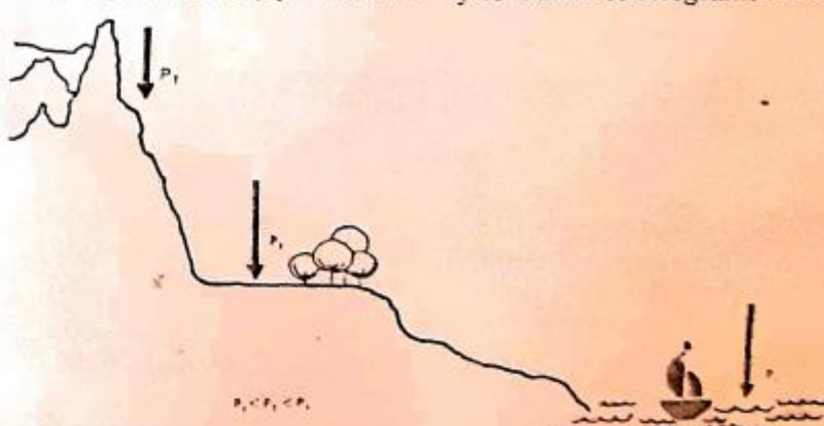

Fig. 2-6. *Variación del peso. A medida que el cuerpo se aleja del nivel del mar pesa menos pues disminuye la atracción de la gravedad.*

Fig. 2-7. *Dinamómetro. Consta de un resorte con un fiel y una escala graduada en kilogramos.*

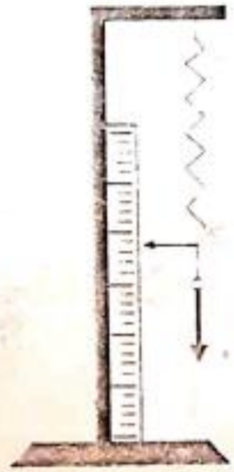

Fig. 2-8. *Uso del dinamómetro. Al aplicar la fuerza F, se estira el resorte e indica en kilogramos la intensidad de la fuerza*

Cuando decimos que se ha aplicado una fuerza de 20 kilogramos, equivale a aplicar una fuerza tal, que provoca en el dinamómetro un estiramiento equivalente a un cuerpo de 20 kilogramos de peso

En símbolos: F = 35 kgf, se lee la fuerza F_1 posee una intensidad de 35 kilogramos fuerza.

Es decir que: *para medir fuerzas empleamos el kilogramo peso o kilogramo fuerza, que equivale al peso del kilogramo patrón*, construido de platino e iridio y que se encuentra depositado en el Museo de Pesas y Medidas de Sèvres (París).

El peso del kilogramo patrón equivale al peso de un dm^3 de agua destilada a 4°C, al nivel del mar.

De ahí esta correspondencia 1 kilogramo de agua ocupa 1 dm^3 de volumen.

El kilogramo fuerza se representa así $k\vec{g}$, o bien, kgf

También se usa el símbolo kp llamado kilopondio (de ponderable).

PESO ESPECIFICO

Supongamos tener cubos de 1 cm de lado (1 cm^3) de hierro, de aluminio, de plomo, de madera, de corcho, etc. (fig. 2-9)

Procedamos a pesarlos y verificaremos que cada uno posee distinto peso. Resulta evidente que a pesar de ser todos del mismo volumen, sus pesos son distintos.

Diremos entonces que cada sustancia posee un determinado *peso específico*.

Así diremos:

Peso específico de una sustancia es el peso de la unidad de volumen.

También puede expresarse que.

Peso específico es el cociente entre el peso de un cuerpo y su volumen.

$$\left(\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}\right)$$

En símbolos:

$$\rho^{*} = \frac{P}{V}$$

Unidades de peso específico

De acuerdo con las relaciones indicadas entre peso y volumen sabemos que:

1 litro de agua pesa	1 kgf	y ocupa	1 dm^3
1 ml " " "	1 gf	" "	1 cm^3
1 kl " " "	1 tm	" "	1 m^3

* ρ: rho (letra del alfabeto griego), que simboliza al peso específico

De estas relaciones surgen las correspondientes a las unidades de peso específico, o sea:

$$\rho = \frac{P}{V}$$

$$\Rightarrow [\rho] = \frac{kgf}{dm^3} \text{ o } \frac{gf}{cm^3} \text{ o } \frac{tm}{m^3}$$

El peso específico del hierro es 7,8 $\frac{kgf}{dm^3}$ lo cual significa que 1 dm^3 de hierro pesa 7,8 kgf o bien 7,8 $\frac{gf}{cm^3}$ o también 7,8 $\frac{tm}{m^3}$ que nos dice que 1 m^3 de hierro pesa 7,8 toneladas.

Por lo tanto, el peso específico de un cuerpo es un número constante (para la misma latitud) que puede ser expresado en $\frac{kgf}{dm^3}$; $\frac{gf}{cm^3}$ o $\frac{tm}{m^3}$.

Consecuencias del concepto de peso específico

a) Como 1 dm^3 de agua pesa 1 kilogramo, el peso específico del agua es 1 $\frac{kgf}{dm^3}$.

b) Atento a que comparamos volúmenes iguales, p.ej.: 1 dm^3, cada sustancia tiene un determinado peso específico y ese valor indica el número de veces que un cuerpo es más o menos pesado que el mismo volumen de agua.

Si el peso específico fuera 0,5 $\frac{gf}{cm^3}$ significa que este cuerpo es 2 veces más liviano (pesa la mitad) que un mismo volumen de agua.

Fórmulas que se deducen de la fundamental del peso específico:

como

$$\rho = \frac{P}{V}$$

resulta que

$$P = \rho V \quad \text{y} \quad V = \frac{P}{\rho}$$

Determinación experimental del peso específico

A) De sólidos.

Si el peso específico es la relación entre el peso y el volumen, para poder calcularlo el proceso es el siguiente:

a) Averiguar el peso
b) Averiguar el volumen

a) *Averiguación del peso de un cuerpo.* Evidentemente, esto se logra mediante una balanza de precisión

b) *Averiguación del volumen.* Introducimos el cuerpo dentro de una probeta graduada, con líquido suficiente para cubrir al cuerpo. La variación del nivel provocada por la inmersión del cuerpo (propiedad de *impenetrabilidad de los cuerpos*) nos indica sobre la escala de la probeta el volumen del cuerpo, expresado en centímetros cúbicos (fig. 2-10).

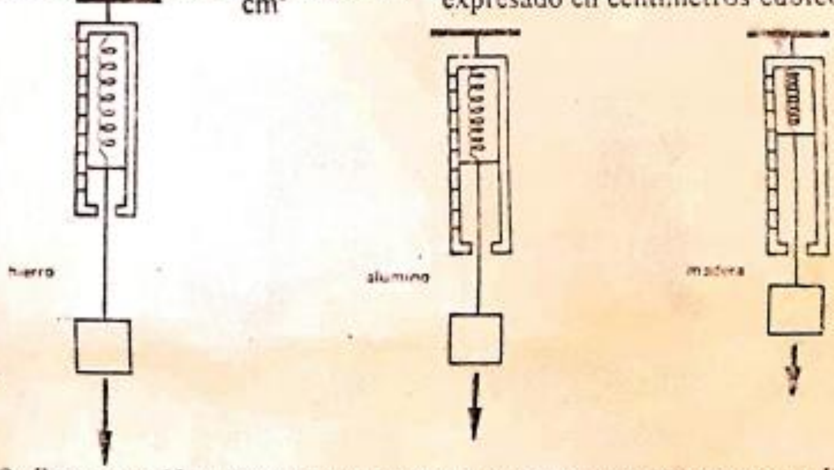

Fig. 2-9. *Peso específico. Volúmenes iguales de diferentes sustancias pesan distinto*

Si no poseemos probeta graduada procedemos así:

1º Llenamos con agua un frasco de boca ancha y lo ubicamos dentro de otro (fig 2-11).

2º Introducimos el cuerpo. Este desalojará una cantidad de agua igual a su volumen, que caerá en el otro recipiente.

3º Pesamos el agua desalojada. Como 1 cm^3 de agua pesa un gramo, la cantidad de gramos de agua desalojada nos indica el volumen en cm^3 que tiene el cuerpo.

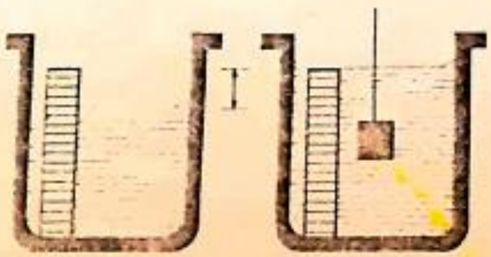

Fig. 2-10. Volumen de un cuerpo. Al introducir el cuerpo asciende el nivel de agua, lo cual indica el volumen del cuerpo según la escala en cm^3 adicionada.

B) De líquidos.

1º Consideramos un volumen dado del líquido problema, mediante una probeta graduada.

2º Pesamos esa cantidad definida de líquido. El cociente entre el peso calculado y el volumen empleado nos dará el peso específico.

También puede trabajarse así:

1º Peso en volumen determinado de agua.

2º Peso en volumen igual del líquido estudiado.

3º Realizamos el cociente entre el peso del líquido y el peso del agua y obtenemos el peso específico deseado.

Este procedimiento nos indica cuántas veces más pesado o más liviano es el líquido problema con respecto al agua, que es en definitiva el peso específico relativo de un cuerpo.

DETERMINACION DE AREAS Y VOLUMENES MEDIANTE PESADAS

Cálculo de superficies mediante pesadas

Para calcular la superficie de una figura irregular se procede así:

a) Dibujamos el contorno sobre una cartulina y la recortamos.

b) Pesamos esa figura recortada. Sea P ese peso, y la correspondiente superficie, S.

c) Determinamos sobre la misma cartulina una superficie (S') conocida, por ej.: un cuadrado de 5 cm de lado, cuya superficie será 25 cm^2.

d) Recortamos esa superficie y la pesamos. Sea P' el peso unitario. Como todo el trabajo se ha realizado con un mismo material, supuesto homogéneo (igual espesor en toda su extensión), las superficies consideradas resultan proporcionales a sus pesos.

Luego si:

$S' = 25\ cm^2$ pesa $P = 0{,}75$ gf

y $S = X$ pesa $P = 2{,}10$ gf

surge así el siguiente razonamiento:

Si 0,75 gf corresponden a 25 cm^2

2,10 gf " " X

$$X = \frac{2{,}10\ gf\ \ 25\ cm^2}{0{,}75\ gf} = 70\ cm^2$$

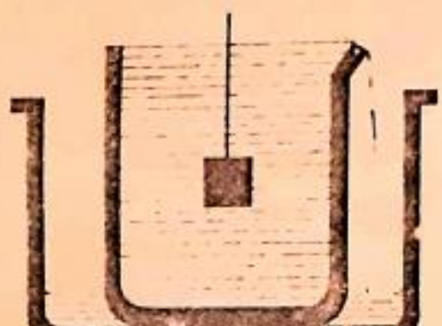

Fig 2-11. *Volumen de un cuerpo. De acuerdo con los gramos de agua desalojados será el volumen expresado en cm^3.*

De esta última expresión resulta que:

$$S = \frac{P\,S'}{P'}$$

S : superficie por calcular;
S': superficie unidad;
P : peso de la superficie desconocida;
P': peso de la superficie unidad.

Relación que nos dice: *la superficie desconocida es igual al producto del peso de la superficie problema por la superficie unidad, todo dividido por el peso de la superficie unitaria o conocida.*

Cálculo del volumen mediante pesada

Este proceso es el explicado anteriormente al estudiar peso específico, o sea:

a) Se llena totalmente un recipiente con agua, y se coloca dentro de otro.

b) Se introduce el cuerpo dentro del frasco con agua, lo cual provoca el desalojo de una cantidad de agua igual al volumen del cuerpo (principio de impenetrabilidad).

c) El peso del agua desalojada equivale al volumen del cuerpo pues cada cm^3 es igual a 1 gramo.

Si se desalojaron 35 gf de agua, el volumen del cuerpo es de 35 cm^3.

Forma de pesar el agua desalojada

1º Pesamos el recipiente con el agua derramada.

2º Pesamos ese recipiente sin agua.

La diferencia de pesadas nos indica los gramos de agua que equivalen al volumen del cuerpo.

LAS FUERZAS SON MAGNITUDES VECTORIALES

Si nos preguntan: ¿está bien definido decir una longitud de 25 m, o un peso de 18 kgf y un volumen de 35 cm^3 o un peso específico de 7,8 gf/cm^3? Contestamos *sí*, pues esas magnitudes son escalares.

Mientras que si leemos: la fuerza F = 35 kgf; la velocidad es de 45 km/h, diremos que no están perfectamente definidos pues son magnitudes vectoriales.

Como las fuerzas son magnitudes vectoriales, es necesario determinar su punto de aplicación, dirección, sentido e intensidad para que queden perfectamente definidas.

Por ello, para representar una fuerza, se emplean los *vectores*.

La longitud del vector indica, según la escala elegida, la intensidad de la fuerza (fig. 2-12a).

En el ejemplo de la figura 2-12b, el vector F representa, según la escala, 1 cm: 5 kgf, una fuerza de 30 kgf con sentido hacia la derecha y según la dirección de la recta *m*.

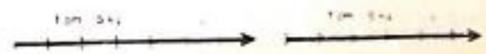

Fig. 2-12. *Representación de una fuerza. Se emplean los vectores con una escala dada.*

En la figura 2-13 tenemos indicadas fuerzas de igual sentido y distinto sentido.

$\bar{F}_2$ y $\bar{F}_3$ distinto sentido.

$\bar{F}_1$ y $\bar{F}_2$ tienen igual sentido.

Escala

Es el cociente o relación entre la magnitud considerada y la representación en el gráfico

$$E = \frac{Mr}{Md}$$

E : escala;
Mr: medida real;
Md: medida en el dibujo

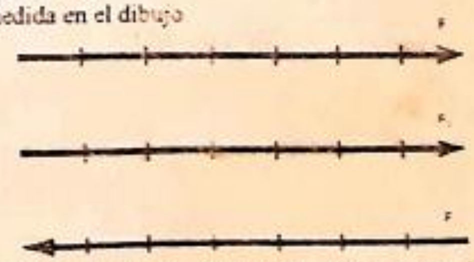

Fig. 2-13. *Fuerzas de igual dirección. Las tres tienen igual dirección. F_1 y F_2 igual sentido. F_3 de distinto sentido.*

Por ejemplo:

Representar la longitud de 25 m, en 5 cm. ¿Cual es la escala?

$$E = \frac{25\ m}{5\ cm} = 5\ \frac{m}{cm}$$

significa que debemos representar 5 m por cada centímetro.

Sea representar una fuerza de 345 kgf en escala 15 kgf/cm (15 kgf por cada centímetro).

Procedemos así:

$$E = \frac{Mr}{Md} \quad \therefore$$

$$\Rightarrow \quad Md = \frac{Mr}{E} = \frac{345\ kgf}{15\frac{kgf}{cm}} = 23\ cm$$

Elementos de una fuerza

Recordemos que un vector es un segmento orientado, con un punto de aplicación, una dirección, con un sentido y una determinada longitud que en una escala previamente elegida indicará la *intensidad* de esa fuerza.

Toda fuerza queda entonces perfectamente definida al conocer:

- Punto de aplicación.
- Dirección.
- Sentido.
- Intensidad.

Punto de aplicación. Punto que pertenece al cuerpo y es donde se ha aplicado la fuerza.

Dirección. Recta a la cual pertenece el vector.

Sentido. Es el indicado por la flecha (fig. 2-14) y que se coloca en uno de los extremos del vector.

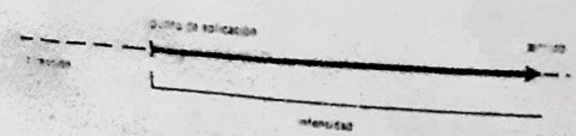

Fig. 2-14. *Sentido de una fuerza. Está indicado por la flecha.*

Intensidad o módulo. Está representada por la longitud del vector, de acuerdo con una escala elegida. El vector de la figura 2-15 equivale a 35 kgf pues cada cm representa 5 kgf.

Fig. 2-15. *Intensidad. Está dada por la longitud del vector según una determinada escala.*

Recta de acción. Recta respecto de la cual la fuerza puede trasladar su punto de aplicación.

Así por ejemplo: las fuerzas F_1 y F_2 de la figura 2-16 tienen la misma dirección (paralela) pero sus rectas de acción son distintas.

En cambio F_x y F_y de la figura 2-17, tienen igual dirección e igual recta de acción.

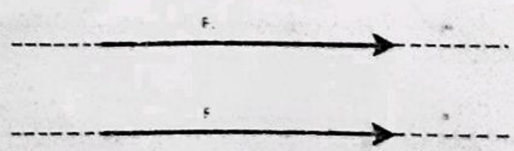

Fig. 2-16. *Dirección y recta de acción. Las fuerzas F_1 y F_2 tienen igual dirección pero diferente recta de acción.*

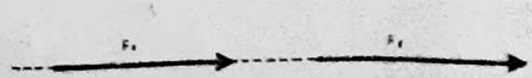

Fig. 2-17. *Igual recta de acción. Las fuerzas F_x y F_y poseen la misma recta de acción.*

Estática

Es el estudio de las fuerzas en equilibrio.

3

SISTEMAS DE FUERZAS CONCURRENTES

FUERZAS APLICADAS A UN CUERPO

Sistema de fuerzas

Es el conjunto de fuerzas que actúan sobre un cuerpo (fig 3-1).

Resultante de un sistema de fuerzas. Llamamos resultante de un sistema de fuerzas a la fuerza que puede reemplazarlas con el mismo efecto (fig. 3-2).

Sistema de fuerzas en equilibrio. Un sistema de fuerzas está en equilibrio cuando su resultante es nula.

Consecuentemente, la acción simultánea de esas fuerzas sobre un cuerpo no provoca variaciones en éste; es como si sobre el cuerpo no estuvieran actuando esas fuerzas

Tipos de sistemas de fuerzas

a) Las fuerzas son colineales.

b) Las fuerzas son concurrentes o tienden a concurrir en un punto.

c) Las fuerzas son paralelas.

Propiedad de las fuerzas respecto de su dirección, sentido y punto de aplicación. El efecto de una fuerza no se altera si su punto de aplicación se desplaza sobre su recta de acción, es decir, conservando su dirección y sentido (fig 3-3)

Sólido sometido a la acción de fuerzas que tienen la misma recta de acción

Este tipo de sistema de fuerzas se denomina también de fuerzas colineales (colineales pues las fuerzas pertenecen, coparticipan de la misma recta de acción)

1º Las dos fuerzas pertenecen a la misma recta (igual dirección), tienen distinto sentido y la misma intensidad (fig. 3-4).

Es el tradicional caso de la cinchada sin vencedor, o la acción de los dos tensores de un poste, en el que las fuerzas se anulan.

En consecuencia:

La resultante de dos fuerzas de igual dirección, igual intensidad y distinto sentido es nula

Simbólicamente:

$$\bar{F}_1 = \bar{F}_2$$

$$R = \bar{F}_1 \cdot \bar{F}_2 \; ; \; R = 0$$

2ª Las dos fuerzas tienen igual dirección distinto sentido y diferente intensidad (fig. 3-5).

Es el caso de la cinchada con un vencedor. Decimos: *La resultante entre dos fuerzas de igual dirección, distinta intensidad y sentido contrario es otra fuerza de igual*

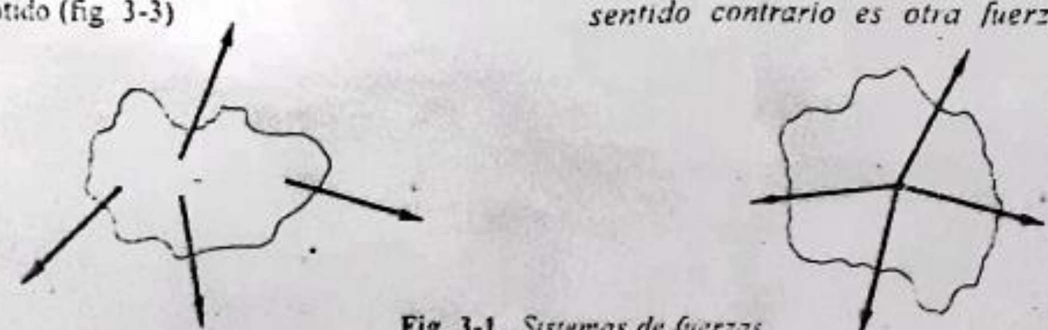

Fig. 3-1. *Sistemas de fuerzas.*

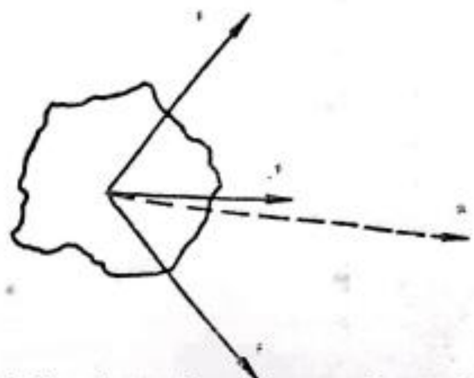

Fig. 3-2. *Resultante de un sistema. La resultante R equivale a la acción simultánea de F_1, F_2 y F_3*

dirección, sentido igual al de la mayor y cuya intensidad es la diferencia entre sus intensidades.

En símbolos:

$$\vec{F}_1 > \vec{F}_2$$

luego:

$$R = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$$

ejemplo:

$$F_1 = 70 \text{ kgf}; \; F_2 = 30 \text{ kgf}$$

$$R = 70 \text{ kgf} - 30 \text{ kgf} = 40 \text{ kgf}$$

3º Las dos fuerzas tienen igual dirección y sentido.

En este caso *la resultante entre dos fuerzas de igual dirección y sentido es igual a otra fuerza de igual dirección y sentido cuya intensidad es la suma de las fuerzas dadas* (fig. 3-6).

En símbolos:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{R}$$

por ejemplo

$$F_1 = 50 \text{ kgf}. \; F_2 = 45 \text{ kgf}$$

$$R = 50 \text{ kgf} - 45 \text{ kgf} = 95 \text{ kgf}$$

ACCION Y REACCION

Supongamos que se comprime, mediante una fuerza cualquiera, un resorte. Al liberarse, aquél retoma su primitiva forma.

El clavo colocado en la pared reacciona anulando el efecto (acción) del cuerpo colgado de él.

Si el estante con libros no reacciona ante el peso (acción) de los libros, todo se desmorona. En la figura 3-7 damos la idea de lo expuesto.

Cuando el trapecista cae en la red de seguridad, ésta se estira y luego recupera su estado primitivo provocando el ascenso de aquél.

En ambos casos, a la fuerza actuante que comprime el resorte o estira la red, se opone otra que permite al cuerpo retomar su forma primitiva.

A la primera la denominamos *acción* y a la segunda, *reacción*.

En general se cumple lo siguiente:

Cuando un cuerpo ejerce sobre otro una fuerza (acción), recibe de éste otra fuerza (reacción) de igual intensidad y sentido contrario.

En el caso de un cuerpo sostenido por un hilo, éste se pone tenso. La acción la ejerce el cuerpo (por su peso), y el hilo, al reaccionar, se pone tenso. La reacción del aire de los neumáticos y los elásticos de un ómnibus permite anular la acción del peso de su carrocería y de los pasajeros.

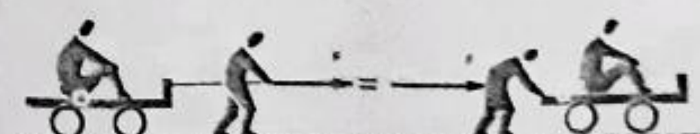

Fig. 3-3. *Propiedad del punto de aplicación. La fuerza puede desplazarse manteniendo su dirección y sentido. El efecto no altera*

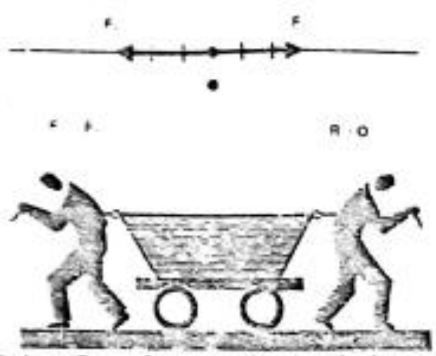

Fig. 3-4. *Dos fuerzas de igual dirección e intensidad pero de sentido contrario tienen resultante nula.*

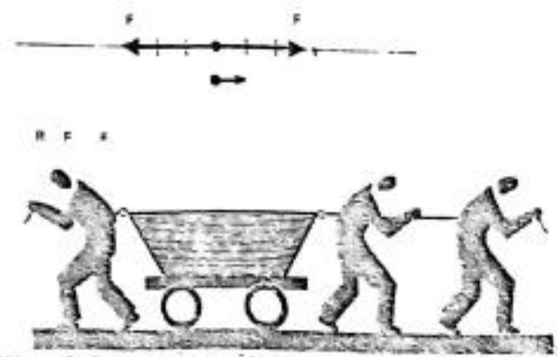

Fig. 3-5. *Fuerzas de sentido contrario. La resultante es igual a la diferencia de las dadas y con sentido de la mayor.*

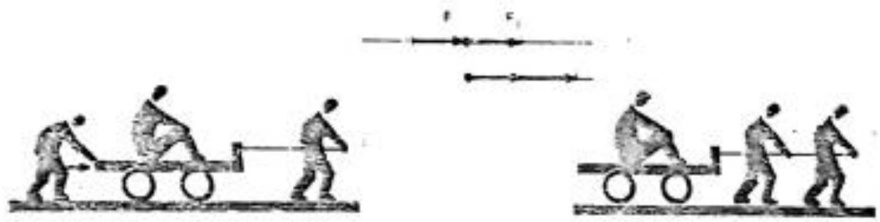

Fig. 3-6. *Fuerzas de igual sentido. La resultante es la suma de las dadas con igual dirección y sentido.*

Sólido sometido a la acción de dos o más fuerzas concurrentes. Regla del paralelogramo

Para el caso en que las fuerzas no estén sobre la misma dirección (o recta de acción) se aplica la llamada regla del paralelogramo o paralelogramo de las fuerzas.

Así, dado el sistema de fuerzas F_1 y F_2 (fig. 3-8) concurrentes en el punto O, se procede a trazar por el extremo de F_1: $m // F_2$ y por el extremo de F_2: $n // F_1$. De este modo queda formado el paralelogramo OF_1RF_2, en el cual la diagonal OR es la resultante del sistema.

Por tanto:

La resultante de dos fuerzas concurrentes es la diagonal del paralelogramo, que tiene por origen el origen de las fuerzas.

Como las fuerzas F_1 y F_2 se habrán representado en cierta escala, con un simple producto se obtendrá el valor de la resultante.

En efecto: si R equivale a 7 U y cada segmento U equivale a 2,7 kgf, es:

$$R = 7U \; 2{,}7 \text{ kgf}$$

o sea:

$$R = 18{,}9 \text{ kgf}$$

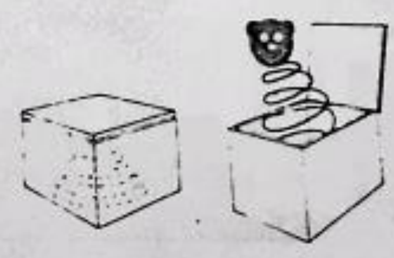

Fig. 3-7. *Acción y reacción.*

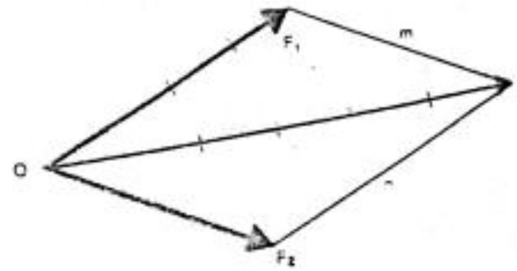

Fig. 3-8. *Regla del paralelogramo. Hacemos m y n paralelas a las fuerzas dadas y la diagonal OR es la resultante del sistema.*

Verificación experimental

La regla del paralelogramo puede verificarse, según el dispositivo de la figura 3-9, que consta de 2 dinamómetros detrás de los cuales existe una pizarrita para poder representar gráficamente el paralelogramo que da el nombre a la regla

a) De la unión de las cuerdas colocamos una pesa de 30 kgf y observamos que ambos dinamómetros marcan en kgf las fuerzas F_1 y F_2 que actúan en cada uno de ellos.

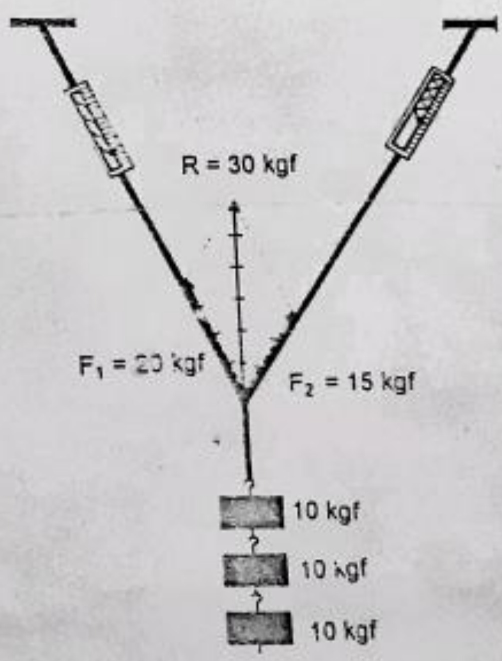

Fig. 3-9. *Comprobación de la regla del paralelogramo.*

b) Sobre la pizarra determinamos en escala F_1 = 20 kgf y F_2= 15 kgf, trazamos el paralelogramo, su diagonal —6 U— representa la resultante de 30 kgf.

Esta comprobación puede también hacerse como indica la figura 3-10

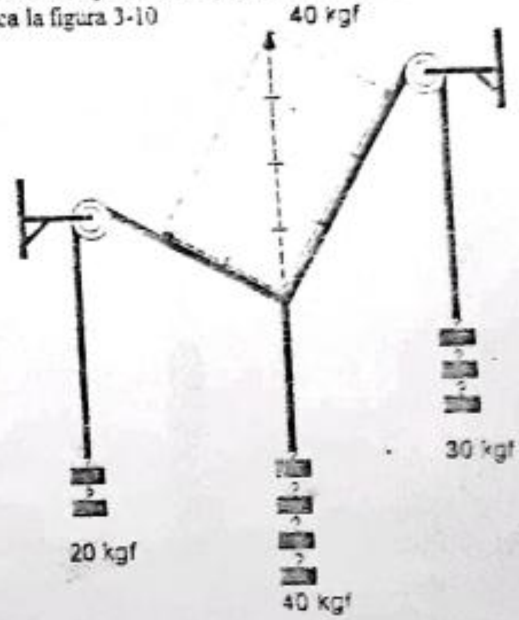

Fig. 3-10. *Otra forma de verificar la regla del paralelogramo.*

Caso de dos fuerzas concurrentes que no tienen el mismo punto de aplicación

En la figura 3-11 representamos el caso indicado.

Para situaciones como ésta (fig. 3-12), se trazan las direcciones de las fuerzas dadas, de modo que se logre el punto común de ésta. Luego se trasladan las fuerzas dadas a ese punto común —este traslado no altera el efecto de aquéllas— y se procede como en el caso anterior.

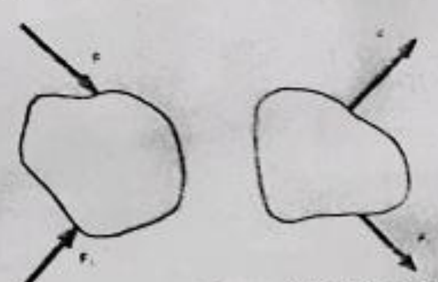

Fig. 3-11. *Sistema de fuerzas. Son concurrentes pero no tienen el mismo punto de aplicación*

Composición de varias fuerzas concurrentes

Polígono de las fuerzas

Dado el sistema de fuerzas F_1, F_2, F_3 y F_4 (fig. 3-13) concurrentes en el punto O, la resultante total se obtiene (aplicando la propiedad asociativa que cumple la suma de vectores) por medio de la regla del paralelogramo, de la siguiente manera: sumamos F_1 y F_2, nos da la resultante parcial R_1; luego, R_1 y F_3 nos da la resultante parcial R_2, a continuación, R_2 y F_4 nos da la *resultante final* R.

Observemos el gráfico obtenido y veremos que podríamos simplificar el procedimiento construyendo directamente la poligonal *a b c* (fig. 3-13). De esto surge el llamado polígono de las fuerzas.

Método de la poligonal

Para calcular la resultante de varias fuerzas concurrentes en un punto O (fig. 3-14), se traza, por el extremo de la primera fuerza, un segmento igual y paralelo a la segunda fuerza.

Por el extremo de dicho segmento trazamos otro igual y paralelo a la tercera fuerza y así sucesivamente hasta determinar el segmento igual y paralelo a la última fuerza.

El vector cuyo origen es el de las fuerzas (O) y termina en el extremo del último segmento, representa la resultante del sistema en cuestión.

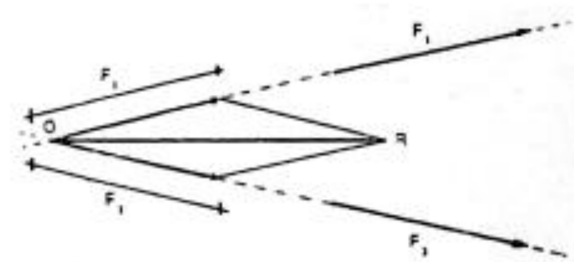

Fig. 3-12. Fuerzas concurrentes sin un punto común. Se trazan las direcciones de las fuerzas hasta lograr el punto O. A partir de ese punto se trasladan las fuerzas y se aplica la regla del paralelogramo.

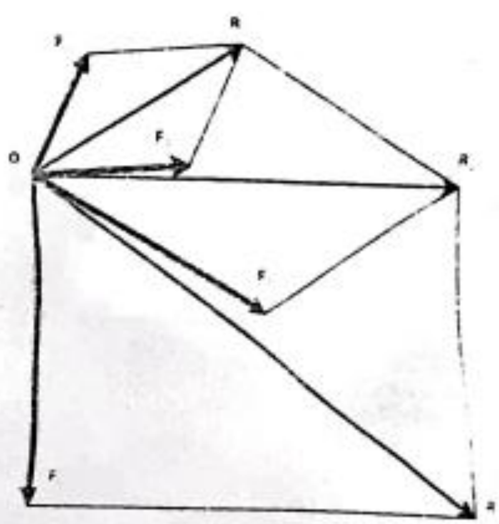

Fig. 3-13. *Composición de varias fuerzas concurrentes.*

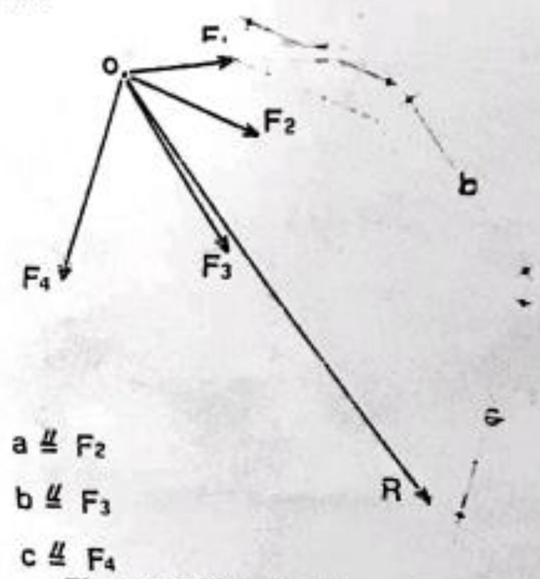

Fig. 3-14. *Método de la poligonal*

Polígono funicular. Resultante entre varias fuerzas concurrentes sin un punto común

Es el caso del sistema representado en la figura 3-15a. Se procede así:

1º Se construye la poligonal ABCD del siguiente modo:

AB // F_1

BC // F_2

CD // F_3

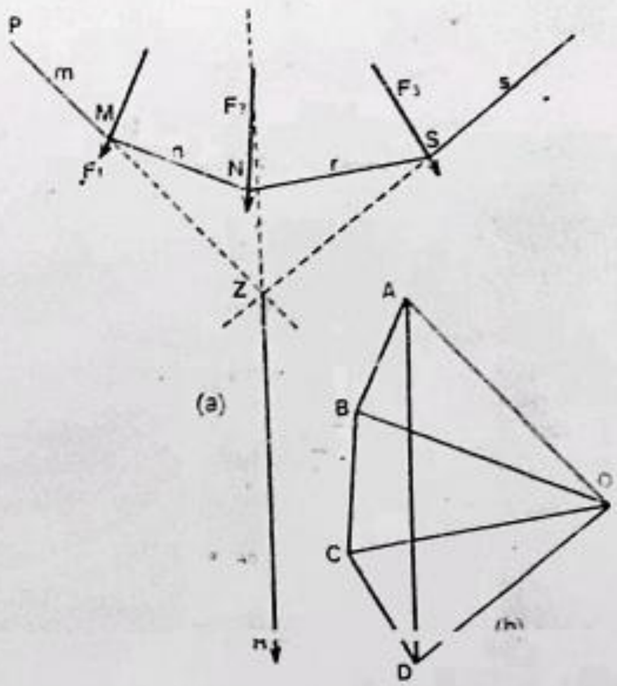

Fig. 3-15. *Polígono funicular. Se aplica para hallar la resultante de varias fuerzas concurrentes sin punto común de aplicación.*

es decir, se construyen segmentos consecutivos iguales y paralelos a las fuerzas dadas.

2º El segmento $\overline{AD}$ que une los extremos de esa poligonal, representa el vector suma o resultante.

3º Unimos los puntos A, B, C y D con un punto arbitrario O llamado polo (fig. 3-15 b).

4º Por un punto cualquiera P del plano trazamos la recta *m* //AO, hasta cortar F_1 en M (fig. 3-15 a).

Por M trazamos *n* // BO hasta cortar F_2 en N.

Por N trazamos *r* // CO hasta cortar F_3 en S.

Por S trazamos *s* // DO.

Prolongamos las direcciones *m* y *s* hasta determinar el punto Z. Por este punto Z trazamos el vector R paralelo, e igual o equipolente a AD, que es la resultante del sistema.

Este proceso se conoce con el nombre de *método del polígono funicular*.

Equilibrante

Si al sistema F_1, F_2, F_3 (fig. 3-16) aplicamos la fuerza E, de igual intensidad y dirección que la resultante R, pero de distinto sentido, anula a esa resultante R. Por tanto la fuerza E *equilibra* al sistema F_1, F_2, F_3, de ahí que esa fuerza se denomina *equilibrante*.

Equilibrante de un sistema es la fuerza capaz de anular (resultante igual a cero) o equilibrar un sistema dado.

La equilibrante es de igual intensidad y dirección pero de sentido contrario a la resultante.

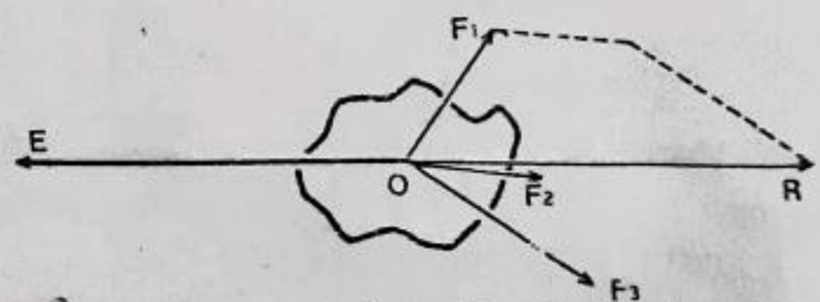

Fig. 3-16. *Equilibrante de un sistema. Es de igual intensidad que la resultante pero de sentido contrario.*

En símbolos:

$$\vec{E} = \vec{R}$$

En definitiva, si F_1, F_2, F_3 constituyen un sistema de fuerzas aplicado a un cuerpo, y E su equilibrante, el cuerpo no sufre variaciones por la aplicación de fuerzas F_1, F_2, F_3 y E.

Apliquemos a este sistema el método de la poligonal: observaremos (fig. 3-17) que se forma una poligonal cerrada, es decir:

Si por el método de la poligonal se obtiene un polígono cerrado, el sistema está en equilibrio.

En efecto, la resultante tiene por origen y extremo el origen y extremo respectivamente de la poligonal, y, como en este caso esos puntos son coincidentes, la resultante es nula.

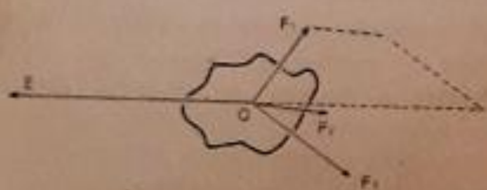

Fig. 3-17. *Poligonal cerrada. El sistema está en equilibrio. La poligonal comienza y termina en O.*

Resultante de tres o más fuerzas concurrentes no coplanares (en el espacio)

Supongamos el caso de las fuerzas F_1, F_2 y F_3 (fig. 3-18) no coplanares y concurrentes en O

.Su resultante, según lo ya estudiado, podemos obtenerla así:

1º Según el plano α (al cual pertenecen F_1 y F_2), aplicamos la regla del paralelogramo y obtenemos R_1

2º En el plano β que determinan R_1 y F_3, también por la regla del paralelogramo, obtenemos la resultante R, que es la del sistema en cuestión.

Si observamos la figura mencionada vemos que, en definitiva, ha quedado formado un paralelepípedo en el cual la resultante R es una de sus diagonales, por lo cual decimos:

La resultante de un sistema de 3 fuerzas concurrentes no coplanares se obtiene determinando el paralelepípedo que resulta de trazar por el extremo de cada fuerza las paralelas a las otras dos restantes. La diagonal de aquél, que tiene el origen de las fuerzas dadas, es la resultante del sistema.

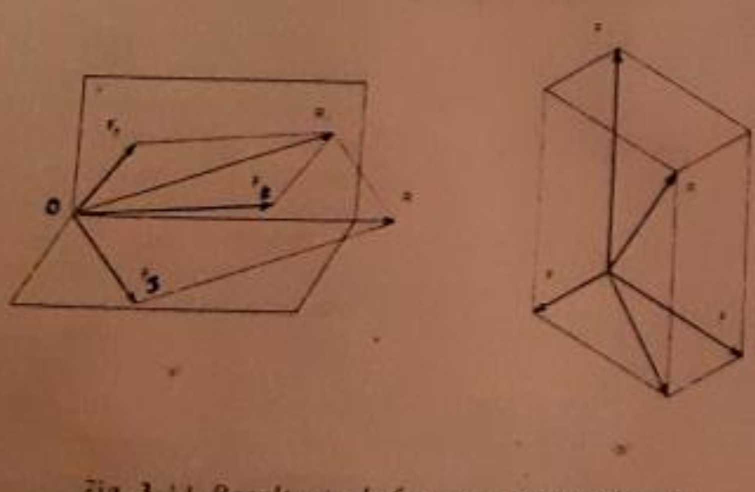

Fig. 3-18. *Resultante de fuerzas concurrentes no coplanares.*

DESCOMPOSICION DE DOS FUERZAS CONCURRENTES

Este es el caso contrario de la composición de fuerzas concurrentes. Es como si nos dieran la resultante del sistema y las direcciones correspondientes que han dado origen a aquélla.

Por tanto, el proceso que ha de seguirse es inverso al utilizado para la composición y también se realiza mediante la construcción de un paralelogramo.

Supongamos que *m* y *n* sean las direcciones* según las cuales debemos descomponer F (fig. 3-19).

Procedemos entonces así:

Por el extremo de F, trazamos FA // *m* hasta cortar a *n* y por el extremo de F, trazamos FB // *n* hasta cortar a *m*, queda así formado el paralelogramo OAFB en el cual OA y OB representan las fuerzas $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$.

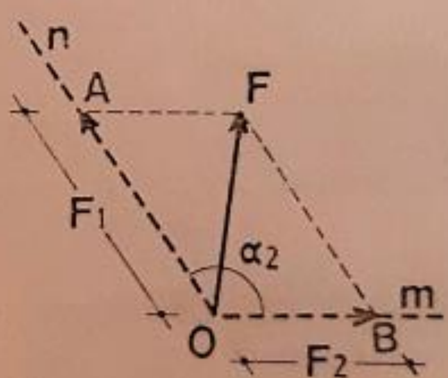

Fig. 3-19. *Descomposición de fuerzas.*

Descomposición de fuerzas según el ángulo que forman las direcciones dadas

Observemos las figuras 3-20 y 3-21. Deducimos fácilmente que a medida que aumenta el ángulo que forman las direcciones dadas para la descomposición, resultan mayores las componentes.

* El ángulo que forman las direcciones es arbitrario y por ello pueden variar F_1 y F_2.

Plano inclinado

Consideramos como plano inclinado un tobogán, la rampa de ascenso a un garaje, la planchada empleada para subir a un barco, etcétera.

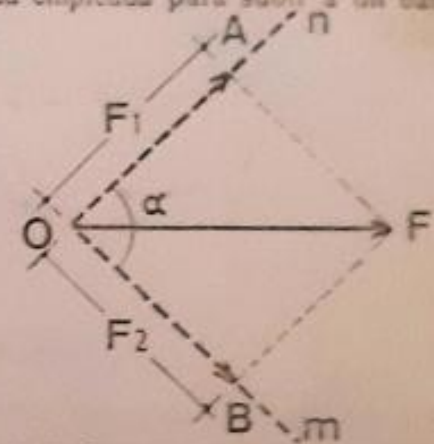

Fig. 3-20. *Descomposición de fuerzas.*

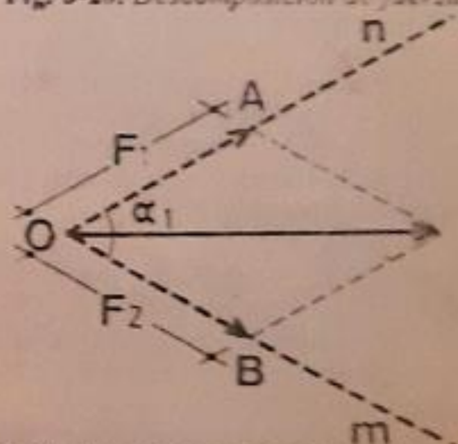

Fig. 3-21. *Descomposición de fuerzas con nuevo ángulo.*

Descomposición de fuerzas en el plano inclinado

Esquemáticamente representamos un plano inclinado por medio de un triángulo rectángulo en el cual un cateto es la base del plano inclinado, el otro cateto la altura, y la hipotenusa, el plano inclinado, en sí (fig. 3-22).

Si consideramos la descarga de un bulto por un plano inclinado, observamos que aquél se desliza por la acción de una fuerza F_1, cuyo origen explicaremos.

A primera vista, la única fuerza actuante

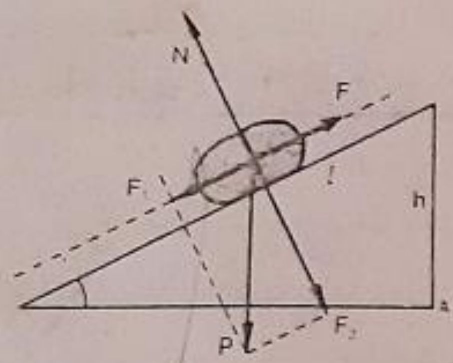

Fig. 3-22. *Plano inclinado. Cálculo de la fuerza F.*

es la del peso del bulto (fig. 3-22). Veamos qué ocurre. En el punto G está aplicada la fuerza P, peso del cuerpo (con dirección y sentido hacia el centro de la Tierra). Por el punto G trazamos la paralela al plano inclinado y una perpendicular a dicho plano: rectas *a* y *b*. Por el extremo de P trazamos *m* y *n* paralelas a las rectas *a* y *b*; de este modo determinamos los puntos T y V.

¿Qué hemos logrado?

Descomponer, según lo explicado más arriba, la fuerza P en otras dos: F_1 y F_2.

Consecuentemente, la acción de la fuerza P ha quedado transformada en F_1 y F_2 o reemplazada por ellas.

De acuerdo con lo estudiado al tratar de acción y reacción, la fuerza F_2 queda anulada por la reacción del plano (si no reaccionara, el plano se hundiría).

Entonces, ¿cuál es la única fuerza que actúa en G? Lo es la fuerza F_1, merced a la cual el bulto se desliza en el sentido y dirección de esa fuerza.

Equilibrio en el plano inclinado

Descomponemos la fuerza P (peso del cuerpo) como se explicó más arriba.

Resulta, entonces, que en el punto G actúa sobre el cuerpo solamente la fuerza F_1. Esta fuerza F_1 hace deslizar al cuerpo por el plano. Si aplicamos una fuerza F de igual intensidad y sentido contrario a la F_1 (es decir, su equilibrante) se logrará el equilibrio del cuerpo.

El valor de la fuerza F es:

$$F = P\,\frac{h}{l}$$

Obtención de la fórmula del plano inclinado

Comparemos los triángulos $B\hat{A}C$ y $G\hat{F_1}P$ (fig. 3-22) semejantes, pues

$$\hat{F_2} = \hat{A} = 1R \text{ y}$$

$\hat{P} = \hat{C}$ por tener lados paralelos

luego, sus lados homólogos son proporcionales.

Por ello se cumple:

$$\frac{GP}{GF_1} = \frac{BC}{BA}$$

GP: peso P;

$GF_1 = F_1$ por lados opuestos del paralelogramo;

BC: l (longitud del plano inclinado);

AB: h (altura del plano inclinado)

reemplazando, resulta:

$$\frac{P}{F_1} = \frac{l}{h}$$

y, como $F_1 = F$ es

$$\frac{P}{F} = \frac{l}{h} \quad \text{de la cual es} \quad F = P\,\frac{h}{l}$$

Factor de multiplicación

Como

$$F = P\,\frac{h}{l} \quad \text{es} \quad F\,l = P\,h$$

de ello resulta:

$$P = F\,\frac{l}{h}$$

expresión en la cual el cociente $\frac{l}{h}$ es el *factor de multiplicación* cuyo significado es el siguiente:

El plano inclinado tiene longitud 3,50 metros y altura 0,70 m, el cociente

$$\frac{l}{h} = \frac{3{,}50\ \text{m}}{0{,}70\ \text{m}} = 5$$

indica que para levantar un cuerpo habrá que aplicar una fuerza 5 veces menor que el peso de ese cuerpo ya que la fuerza *quedará multiplicada* 5 veces (aunque va a tener que recorrer un camino 5 veces mayor que levantando directamente).

Síntesis de las fórmulas del plano inclinado

$$F = P\,\frac{h}{l}\,; \quad P = F\,\frac{l}{h}\,; \quad l = P\,\frac{h}{F}\,; \quad h = F\,\frac{l}{P}$$