manera elemental, antes de estudiar lo que se llama propiamente Física.

CAPITULO II.

Nociones de Mecánica.

6. Se llama Mecánica, á la ciencia que trata del movimiento y equilibrio de los cuerpos.

Se divide en cuatro partes: Estática, Dinámica, Hidrostática é Hidrodinámica.

La Estática, trata del equilibrio de los cuerpos sólidos. La dinámica del movimiento de los mismos. La Hidrostática del equilibrio de los líquidos y gases; y la Hidrosdinámica del movimiento de los líquidos y gases. Además, se ha dado el nombre de Hidráulica, á la parte de la Hidrodinámica que se ocupa de la elevación, conducción y distribución de las aguas.

7. Fuerzas. Se llama fuerza á toda causa capáz de producir una modificación cualquiera en la materia.

La fuerza no es como se cree una propiedad de la materia, pues si bien es cierto que jamás las encontramos separadas en la naturaleza, no debe inferirse de esto que una sea propiedad de la otra. Son dos elementos esencialmente diferentes, el uno activo, el otro inerte.

La naturaleza de la fuerza, nos es completamente desconocida y solo podemos valuarla por sus efectos sobre la materia, con arreglo á este principio: *los efectos son proporcionales á sus causas.* La fuerza obrando sobre los elementos de la materia, tiende á acercarlos ó alejarlos; pero si no aumenta ni disminuye, tampoco disminuye ó aumenta la distancia entre ellos. La fuerza obrando entre los átomos de un cuerpo simple ó entre las moléculas de un compuesto, se le llama fuerza de cohesión y se define diciendo: que es la que une entre sí átomos ó moléculas de la misma naturaleza. Esta fuerza, muy grande en los sólidos, disminuye en los líquidos y es muy pequeña en los gases.

La fuerza obra tambien entre átomos ó moléculas heterogéneas con tal energía, que unidos íntimamente constituyen un cuerpo nuevo diferente de los componentes; en este caso, se dá al fenómeno el nombre de combinación química y á la fuerza que lo produce, fuerza de afinidad ó fuerza química. Obra tambien entre cuerpos heterogéneos ya sólidos, ya líquidos ó gaseosos; entre un sólido y un líquido, entre un sólido y un gas, entre un líquido y un gas; pero en ninguno de estos casos dá lugar á un tercer cuerpo diferente, cada uno sigue siendo lo que es; por ejemplo: si se toman dos láminas planas de cualquiera sustancia sólida y se pone una sobre la otra y se comprimen, se unen entre sí; y si entre ellas se pone una capa de agua, la unión es aún más fuerte, al grado que dos láminas de vidrio, primero se romperian que se lograra separarlas y solo deslizando una sobre la otra, se logra separarlas sin romperlas. Los ejemplos más notables de este modo de obrar de las fuerzas, los tenemos en todos los pegamentos de que hacemos uso y tambien en las soldaduras de los metales entre sí. En este caso, la fuerza toma el nombre de fuerza de adhesión y se dice, es la que une materias diferentes, pero sin dár lugar á un cuerpo nuevo. Todas estas fuerzas se llaman en general, moleculares ó atómicas, según que ejerzan su acción en los cuerpos compuestos ó en los simples; tambien se les llama inter-atómicas ó inter-moleculares.

La fuerza, desde el momento que nos es desconocida su íntima naturaleza, y que solo la conocemos por sus efectos, no podemos representarla por nada material; entonces la estudiamos geométricamente y se ha convenido en representarla por líneas rectas cuya longitud varie con la intensidad de la fuerza que representen; para esto, se adopta una unidad lineal que generalmente es el centímetro y se lleva sobre la línea tantas veces cuantas son las unidades de fuerza que se quieren representar.

8. Una fuerza se define por cuatro caractéres: punto

de aplicación, dirección, intensidad y sentido. Se llama su punto de aplicación, aquel en que obra directamente. Dirección es: la línea según la cual obra. Intensidad: el valor de la fuerza expresado en peso. Por último se llama sentido, á su modo de obrar con respecto á los puntos cardinales ú objetos que se tomen por punto de comparación.

Las fuerzas segun su modo de obrar sobre la materia, se clasifican en instantáneas, contínuas, constantes y variables. Se dice que una fuerza es instantánea, cuando obra durante un tiempo muy corto, como una explosión. Contínua, cuando no cesa de obrar sobre la materia aunque varíe de intensidad, como la cohesión en los cuerpos sólidos y líquidos. Cuando la fuerza contínua, varía de intensidad, se le llama tambien contínuo-variable ó simplemente variable.

Una fuerza es constante, cuando no varía de intensidad. La gravedad, fuerza que hace que todos los cuerpos abandonados á cierta altura, caigan á la superficie de la tierra, es una fuerza contínua en todo el globo y es constante en cada lugar; pero varía al variar éste; se puede decir que es contínua-constante para un mismo lugar y variable según los lugares.

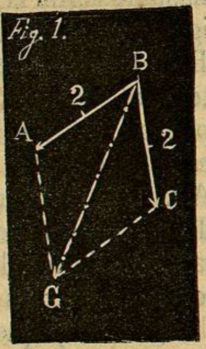
Clasificadas las fuerzas por sus direcciones, se dividen en: paralelas y angulares ó concurrentes; son paralelas cuando las líneas que las representan lo son; y angulares, cuando las mismas líneas forman ángulos.

9. La fuerza obra de dos modos sobre la materia: repeliéndola ó atrayéndola, ó como vulgarmente se dice, empujando y jalando. En el primer caso se dice que obra por pulsión, y en el segundo por tracción. Una fuerza de pulsión se cambia en una de tracción, cambiándola de sentido. Una fuerza no se altera cuando se trasporta á un punto cualquiera de su dirección ó paralelamente á sí misma.

Cuando varias fuerzas obran sobre un punto material ó sobre un cuerpo, puede determinarse gráficamente su efecto final: la línea que representa este efecto se llama su resultante, y la operación, composición de las fuerzas; pero también se puede descomponer una fuerza dada en varias que es el problema inverso. En el caso de la composición, las fuerzas se llaman componentes de la resultante, y en el de la descomposición, la fuerza dada se considera como la resultante, y aquellas en que se descompone, como sus componentes.

10. Composición de las fuerzas angulares. Ya dije, que fuerzas angulares, son aquellas que aplicadas al mismo punto, forman entre sí un ángulo. Para determinar de una manera gráfica la resultante de dos fuerzas angulares, se emplea un teorema que se llama del paralelógramo de las fuerzas y se enuncia: La resultante de dos fuerzas angulares está representada en magnitud, intensidad y dirección, por la diagonal del paralelógramo construido sobre las fuerzas.

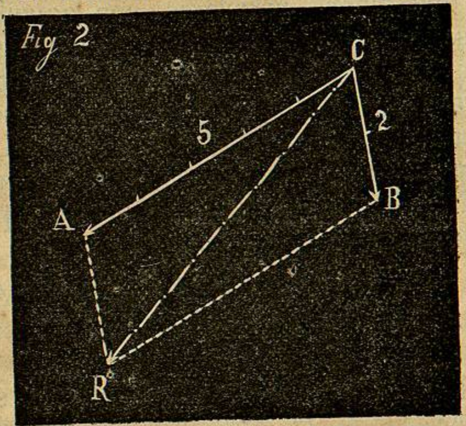
11. Demostración teórica.—Sean A B $=2$, B C$=2$ (fig. 1) dos fuerzas iguales obrando por tracción sobre el punto B; supongamos por un momento que obra solo la fuerza A B, es evidente que llevarà al punto B hasta A, y si en este momento suponemos que obra la fuerza C B, lo llevará de A á G, según la línea A G igual y paralela á C B: luego el efecto final de las dos fuerzas obrando separadamente, es el de llevar al punto B á G; este efecto queda representado por la menor distancia B G entre los dos puntos y esta no es otra cosa que la diagonal del rombo A B C G; y como en el rombo la diagonal divide los ángulos opuestos en partes iguales, resulta que la línea B G es la bisectriz del ángulo A B C. Supongamos ahora que las dos fuerzas obran á la vez sobre el punto B, es imposible que siga los dos caminos B A y B C, luego deberá seguir uno intermedio y como las fuerzas son iguales, no hay razón para que se acerque más á uno que á



otro, luego sigue la bisectriz del ángulo A B C. Como se vé, el efecto es el mismo, ya sea que obren unidas ó separadas, y es la diagonal del paralelógramo construido sobre las fuerzas.

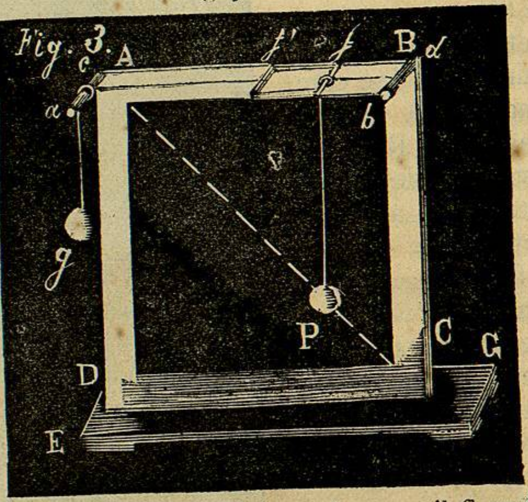
12. Corolario.—La resultante de dos fuerzas iguales, es la diagonal del paralelógramo construido sobre ellas y divide su ángulo en dos partes iguales.

13. Si las dos fuerzas son desiguales, un razonamiento semejante demuestra el teorema. Sean A C = 5, y B C = 2 (fig. 2) las fuerzas: si obra separadamente AC, llevará á C. al punto A, y si cuando este llegue á A obra la fuerza B C llevará el punto A hasta R segun A R igual y paralela á B C, luego el efecto final es llevar el punto C á R y C R es la resultante; y esta es la diagonal del paralelógramo A C B R construido sobre las fuerzas, luego queda demostrado el teorema del paralelógramo de las fuerzas cuando estas son desiguales. Obsérvese que en este caso el ángulo de las fuerzas no queda dividido en partes iguales, sino desiguales, y que la resultante está más cerca de la fuerza mayor.



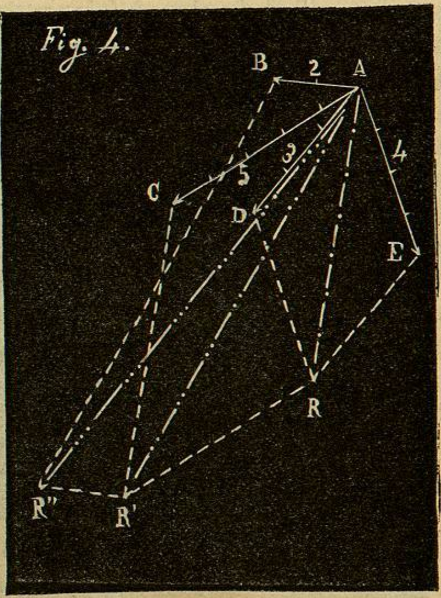
14. Demostración experimental. La más sencilla es la que aplicamos diariamente al cortar una hoja de papel, pues en este caso las dos manos son las fuerzas y el papel se corta siguiendo la bisectriz del ángulo que forman. Hay tambien un aparato muy sencillo con el cual puede demostrarse claramente. Este consiste en un cuadrado (fig. 3) A B C D de madera que descansa en un soporte E G: sobre el lado A B y perpendicular á él, están fijas dos lámi-

nas a y b que llevan cada una tres agujeros; dos tienden paralelamente dos alambres ç y d, en el de enmedio de b se fija la extremidad de un cordon que se pasa por el agujero medio de una lámina f de un cuadro que corre en los alambres; la otra extremidad lleva un peso P; á la lámina del cuadro movil f' se fija un cordón que pasa por el agujero medio de a ó por una polea y su extremidad g sirve para jalar. Para darse cuenta de lo que pasa, hay que ver cuáles son las fuerzas que obran sobre el peso P; una es la resistencia del cordón P f, que tiende á llevar el peso hácia arriba, y la otra f'a aplicada al centro de P y obrando según el lado C D, pero que produce el mismo efecto trasportada á f'a paralela á sí misma. De esto resulta que el peso P sigue la diagonal C A del paralelógramo construido sobre los lados del cuadro.

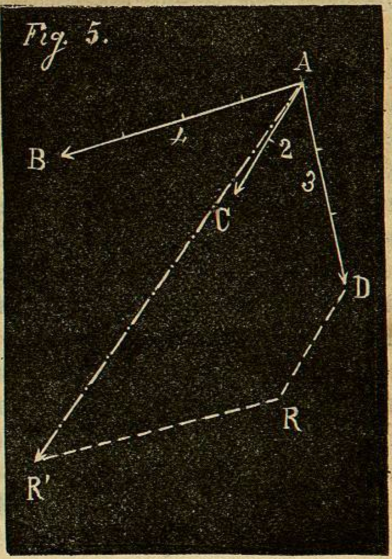


Cuando son varias las fuerzas cuya resultante gráfica se quiere determinar, se emplea el mismo procedimiento combinándolas de dos en dos, esto es, se toman dos de ellas y se busca su resultante conforme se ha dicho; en seguida se combina esta resultante con otra de las fuerzas, lo que dá una nueva resultante; esta á su vez se combina con otra fuerza y se continúa así hasta la última fuerza: la resultante final será la de todo el sistema.

Sean A B, A C, A D y A E (fig, 4) cuatro fuerzas cuya resultante se quiere determinar. Se tóman dos cualesquiera de ellas A E y A D por ejemplo, y se determina su resultante A R por la regla del paralelógramo, luego, se combina A R con A C y se tiene la nueva resultante A R'; por último, A R' se combina con A B y se tendrá A R" como resultante de todo el sistema. La resultante de un sistema de fuerzas, siempre es la misma, cualquiera que sea el sentido en que se comience la construcción; esto es, la resultante es invariable.

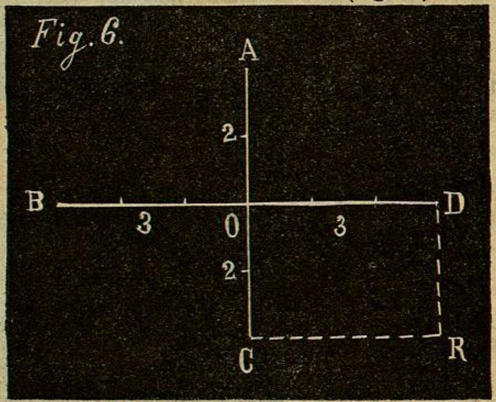


Este modo de determinar la resultante lleva el nombre de regla del paralelógramo; hay otro que se llama del polígono y no es sino un derivado del anterior; por ejemplo: Sean A B, A C y A D, (fig. 5) las fuerzas cuya resultante se quiere determinar por la regla del polígono; se toma una de las fuerzas, sea A D, se traza por su extremidad D una línea D R paralela, igual y del mismo lado que está A C con relación á A D; por R otra paralela é igual á A B y del mismo lado que está A B con relación á A D y como no hay mas fuerzas, los puntos A y R' son dos puntos de la resultante del sistema, que uniéndolos



se tiene A R' resultante final. Como se vé, es la regla del paralelógramo suprimiéndole algunas líneas, siendo por esto más violento; el polígono es A D R R' y el lado A R' que lo cierra es la resultante. El polígono toma varias formas según la fuerza porque se comienza la construcción: si en lugar de A D se comenzara por A C el polígono sería A C R R'; pero la resultante es siempre la misma.

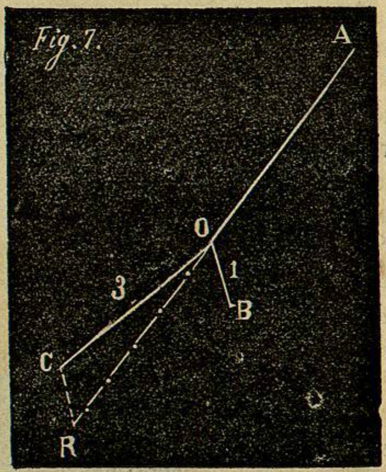
Si sucediese que el punto R' (fig. 5) fuese en la construcción á confundirse con A, se dice que el polígono se cierra por sí mismo y que las fuerzas están en equilibrio; esto es, que la resultante es nula. En efecto, sean (fig. 6) O A = O C y O B = O D, cuatro fuerzas iguales de dos en dos, aplicando la regla del polígono se traza C R paralela, igual y del mismo lado de O C á O D, por el punto R, una



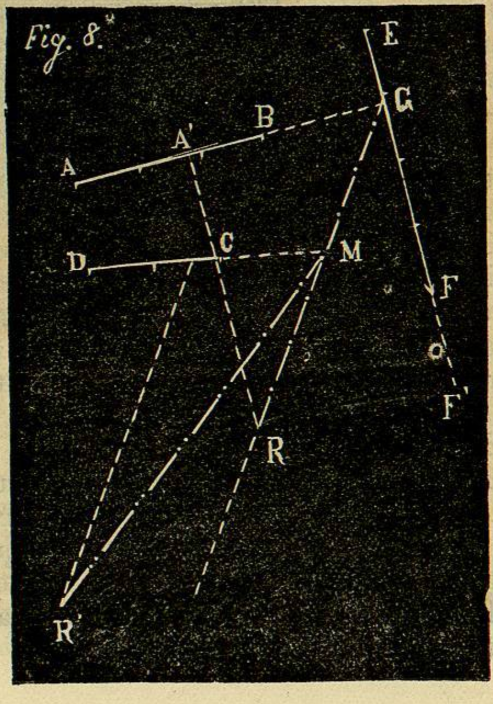
paralela á O A que es R D y por D una paralela é igual á O B que es la misma D O; la resultante es por consiguiente nula y las cuatro fuerzas no producen ningún efecto sobre el punto O; lo que se llama tenerlo en equilibrio. Según esto, se dice: que dos ó más fuerzas están en equilibrio, cuando se neutralizan mutuamente sus efectos dando cero por resultante.

Se dice tambien, que cuando varias fuerzas están en equilibrio, una cualquiera de ellas es igual y directamente opuesta á la resultante de las demás. En efecto, las fuerzas O A, O B y O C (fig. 7) están en equilibrio puesto que el polígono se cierra por sí mismo y se vé además, que O R resultante de O C y O B, es igual y directamente opuesta á O A.

Demostración experimental de los casos de equilibrio. Cuatro hombres de igual fuerza cada uno, jalando en los cuatro lados de una mesa, ésta no se mueve.

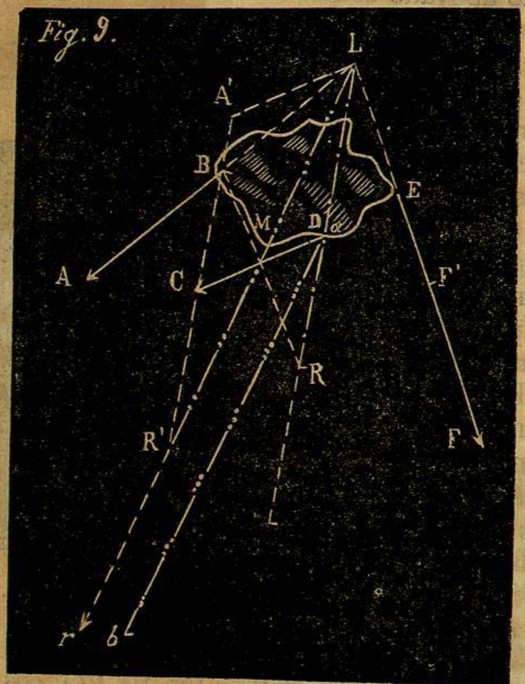


15. Sucede à veces que las fuerzas cuya resultante se busca no se cortan en un mismo punto, sino en sus prolongaciones, tales como A B, C D y E F (fig. 8) en éste caso nos servimos del axioma: Una fuerza no se altera cuando se trasporta paralelamente á sí misma ó á un punto cualquiera de su dirección. Segun esto, prolongamos A B hasta que encuentre en G á E F, trasportamos A B de G á A' y á E F de G á F'; se determina la resultante de G A' y G F' por la regla del paralelógramo y dá G R; hacemos lo mismo ahora con C D y G R trasportándolas á M y tenemos la resultante M R' que es la de las fuerzas dadas.



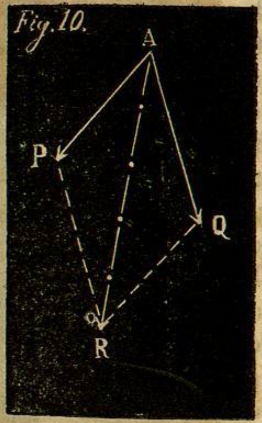
Puede tambien resolverse el problema, trasportando todas las fuerzas paralelamente á sí mismas á un punto cualquiera sobre una de las fuerzas ó fuera de ellas, siendo el resultado el mismo; pero no coinciden las resultantes determinadas por los dos métodos, sino son paralelas y de la misma longitud.

Aplicación práctica. Apliquemos á un cuerpo de cualquiera forma (fig. 9) las fuerzas AB, CD y EF y sean tres hombres con fuerzas diferentes y que jalan el cuerpo; si trasportamos todas las fuerzas al punto en que se cortan las AB y EF que es L y las combinamos por las reglas dadas, encontramos la resultante L R,' que trasportada al cuerpo será M r. Si en vez de trasportarlas á L hacemos que se corten de dos en dos, tenemos por resultante ab que es igual y paralela á la anterior; ya veremos que ésta debe aplicarse, para que produzca el mismo efecto sobre el cuerpo, á su centro de gravedad.



Un caso de equilibrio muy conocido de cuatro fuerzas angulares, es lo que llaman comunmente *tendedero*. Es tan sencillo que todo el mundo lo conoce; consiste en una cuerda ó lazo flojo cuyas extremidades se fijan de alguna manera; en su centro se une á un palo ó garrocha, mas ó menos largo y del mísmo punto otro hilo que forma con la garrocha ángulo agudo, y la otra extremidad se fija tambien; los tres hilos representan tres fuerzas angulares cuya resultante sigue la direccion de la garrocha; pero ésta, como cuerpo sólido apoyado contra el suelo, obra en sentido opuesto á la resultante y neutraliza su efecto.

16. Dos fuerzas angulares y su resultante están entre sí como los senos de los ángulos que forman con la resultante y el ángulo de las dos fuerzas.



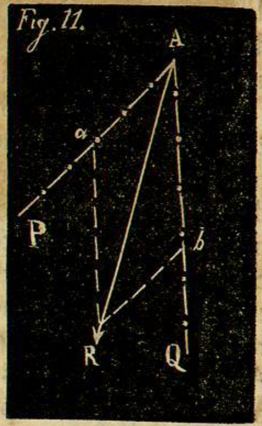
Sean AP y AQ (fig. 10) las dos fuerzas y AR su resultante, el triángulo APR dá AP: PR: AR:: sen PRA: sen PAR: sen APR; pero sen ARP= sen RAQ y sen APR=sen PAQ por suplementarios, PR=AQ: haciendo para simplificar AP=P, AQ=Q y AR=R y sustituyendo se tiene P:Q:R:: sen RAQ: sen PAR: sen PAQ. Esta fórmula puede darnos el valor de la resultante cuando se conozcan los ángulos que las fuerzas forman con ella y el que forman entre sí. En efecto tenemos: P:R:: sen QAR: sen PAQ y $R=\frac{P \text{ sen } PAQ}{\text{sen } QAR}$ Se la puede tambien determinar por la relación $R^2 = P^2 + Q^2 + 2\ PQ.\ \cos RPA$; pero cos RPA=cos PAQ por ser ángulos suplementarios; sustituyendo y extrayendo la raiz $R := \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos PAQ}$.

Si las fuerzas forman entre sí un ángulo recto, el triángulo PAQ es rectángulo y dá: $R^2 = P^2 + Q^2$ y $R = \sqrt{P^2 + Q^2}$; ó también P=R cos PAR y Q=R cos RAQ: si se conocen los ángulos cualquiera de ellas nos dá el valor de la resultante; la primera dá $R=\frac{P}{\cos PAR}$, lo que nos dice que la resultante es igual á una de las fuerzas di-

vidida por el coseno del ángulo que forma con la resultante.

DESCOMPOSICION DE LAS FUERZAS ANGULARES.

17. En la composición hemos visto, que dadas varias fuerzas se busca el valor de una que las represente, que es la resultante; la descomposición es el problema inverso: dada una fuerza descomponerla en varias que produzcan juntas el mismo efecto que ella. El caso mas sencillo es aquel en que se trata de descomponer una fuerza dada en dos, cuyas direcciones, ó ángulos que deben formar con ella, son conocidos, pues de otro modo el problema es indeterminado.



Sea AR (fig. 11) la fuerza que se trata de descomponer en dos, cuyas direcciones sean AP y AQ; basta trazar por el punto R las líneas Rb y Ra paralelas á las fuerzas, y los puntos a y b en que las encuentran, determinan sus intensidades: $Aa=\frac{R \text{ sen } QAR,}{\text{sen } PAQ}$ y $Ab=\frac{R \text{ sen } RAP.}{\text{sen } PAQ}$

Si las fuerzas en que se quiere descomponer no son dos sino varias se procede de la manera siguiente: Sea AR (fig. 12) la fuerza que se quiere descomponer en cuatro: AP, AQ, AG y AN; se elije una auxiliar AS; y se descompone AR en dos. Aa y AS; luego se elige otra auxiliar que quede entre