

BIBLIOTECA

DE

CONOCIMIENTOS HUMANOS.

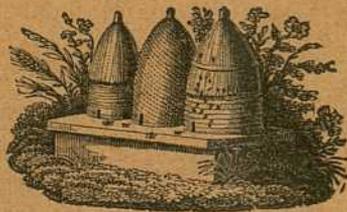
TRADUCIDA DEL INGLES.

Y ARREGLADA AL CASTELLANO POR B. D. L. C. L.

MECANICA.

(TRATADO I.)

NUM. 4.



BARCELONA,

IMPRESA DE A. BERGNES Y COMP., CALLE DE ESCUDELLERS, N. 13.

CON LICENCIA. — OCTUBRE.

1831.

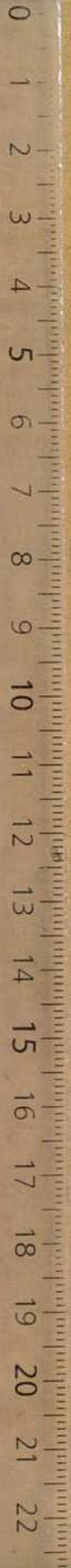
BIBLIOTECA HOSPITAL REAL
GRANADA

Sala: C

Estante: 00

numero: 095 (35)

~~C
38
28 (35)~~



R. 26633

MECANICA.

DE LOS AGENTES MECANICOS Ó DE LOS PRIMEROS MOTORES.

CAPITULO PRIMERO.

INTRODUCCION.

1. Todo lo que comunica ó tiende á comunicar movimiento á un cuerpo se llama *fuerza*. El objeto de la mecánica, en el sentido mas estenso, es la investigacion de los efectos de las fuerzas ó potencias aplicadas á los cuerpos.

Si un cuerpo en absoluta quietud se sujeta á la accion de dos ó mas fuerzas, deben seguirse dos efectos: ó el cuerpo debe continuar en su estado, ó debe empezar á moverse con alguna direccion y fuerza determinada. Si el cuerpo continua en su estado de quietud, se sigue necesariamente que las fuerzas que actuan sobre él estan tan relacionadas en cuanto á sus direcciones ó intensidades, que se neutralizan una á otra ó destruyen mutuamente sus efectos. Bajo tales circunstancias se dice del cuerpo que está en estado de equilibrio, y tambien comunmente aplicamos el mismo término á las fuerzas que obran sobre el cuerpo.

Es por lo mismo un problema importante, ó mas bien una clase de problemas, el señalar en todos los casos particulares dicha relacion entre las intensidades y las direcciones de las fuerzas que obran sobre un cuerpo bajo circunstancias conocidas, que mantengan el mismo cuerpo en un estado de equilibrio. Con la solucion de este problema podremos siempre predecir si un cuerpo impelido por fuerzas dadas recibirá ó no movimiento.

Si las fuerzas que obran sobre el cuerpo no estan relacionadas, de modo que

se neutralizen recíprocamente, debe seguirse el movimiento, y el cuerpo será impelido con determinada fuerza en alguna direccion tambien determinada. El señalar la fuerza con que se moverá el cuerpo y la direccion de su movimiento, dadas las intensidades y direcciones de las fuerzas que obran sobre el cuerpo, es otra clase importante de problemas y de una naturaleza enteramente distinta de la primera.

2. Estas consideraciones nos sugieren la division de la ciencia en dos partes. En la primera llamada *estática* (de la palabra griega *statos*, que significa *quietud*), se consideran los cuerpos como sujetos á las fuerzas que determinan el equilibrio.

3. En la segunda parte llamada *dinámica* (de la palabra griega *dinamis*, que significa *fuerza*), se consideran los cuerpos sujetos á la accion de las fuerzas que no producen el equilibrio. En la primera parte por consiguiente se consideran los cuerpos en estado de quietud, y en la segunda en estado de movimiento.

4. Aunque esta sea indisputablemente la division mas filosófica y la que debe adoptarse en un tratado destinado al uso de cierta clase de estudiantes; sin embargo, considerando los objetos que tenemos á la vista en la presente serie de obras, y las personas para cuyo provecho se destinan, tenemos por conveniente seguir un método diferente, y no titubeamos en sacrificar el sistema á la utilidad.

En todas las diferentes mutaciones que

BIBLIOTECA HOSPITAL REAL
GRANADA

Sala:	C
Estante:	001
Indicador:	095 (35)

~~C
38
28 (35)~~

R. 26633

MECANICA.

DE LOS AGENTES MECANICOS Ó DE LOS PRIMEROS MOTORES.

CAPITULO PRIMERO.

INTRODUCCION.

1. Todo lo que comunica ó tiende á comunicar movimiento á un cuerpo se llama *fuerza*. El objeto de la mecánica, en el sentido mas estenso, es la investigacion de los efectos de las fuerzas ó potencias aplicadas á los cuerpos.

Si un cuerpo en absoluta quietud se sujeta á la accion de dos ó mas fuerzas, deben seguirse dos efectos: ó el cuerpo debe continuar en su estado, ó debe empezar á moverse con alguna direccion y fuerza determinada. Si el cuerpo continua en su estado de quietud, se sigue necesariamente que las fuerzas que actúan sobre él estan tan relacionadas en cuanto á sus direcciones ó intensidades, que se neutralizan una á otra ó destruyen mutuamente sus efectos. Bajo tales circunstancias se dice del cuerpo que está en estado de equilibrio, y tambien comunmente aplicamos el mismo término á las fuerzas que obran sobre el cuerpo.

Es por lo mismo un problema importante, ó mas bien una clase de problemas, el señalar en todos los casos particulares dicha relacion entre las intensidades y las direcciones de las fuerzas que obran sobre un cuerpo bajo circunstancias conocidas, que mantengan el mismo cuerpo en un estado de equilibrio. Con la solucion de este problema podremos siempre predecir si un cuerpo impelido por fuerzas dadas recibirá ó no movimiento.

Si las fuerzas que obran sobre el cuerpo no estan relacionadas, de modo que

se neutralizen recíprocamente, debe seguirse el movimiento, y el cuerpo será impelido con determinada fuerza en alguna direccion tambien determinada. El señalar la fuerza con que se moverá el cuerpo y la direccion de su movimiento, dadas las intensidades y direcciones de las fuerzas que obran sobre el cuerpo, es otra clase importante de problemas y de una naturaleza enteramente distinta de la primera.

2. Estas consideraciones nos sugieren la division de la ciencia en dos partes. En la primera llamada *estática* (de la palabra griega *statos*, que significa *quietud*), se consideran los cuerpos como sujetos á las fuerzas que determinan el equilibrio.

3. En la segunda parte llamada *dinámica* (de la palabra griega *dinamis*, que significa *fuerza*), se consideran los cuerpos sujetos á la accion de las fuerzas que no producen el equilibrio. En la primera parte por consiguiente se consideran los cuerpos en estado de quietud, y en la segunda en estado de movimiento.

4. Aunque esta sea indisputablemente la division mas filosófica y la que debe adoptarse en un tratado destinado al uso de cierta clase de estudiantes; sin embargo, considerando los objetos que tenemos á la vista en la presente serie de obras, y las personas para cuyo provecho se destinan, tenemos por conveniente seguir un método diferente, y no titubeamos en sacrificar el sistema á la utilidad.

En todas las diferentes mutaciones que

deben sufrir las primeras materias de la naturaleza para adoptarlas á las necesidades de la vida civil, el movimiento es el agente principal. La lana que se trasquila de las ovejas, requiere un movimiento de rotacion para verificar el hilado. Estos hilos han de sujetarse igualmente á una variedad de otros movimientos para producir aquella colocacion simétrica que constituye el paño; y este una vez tejido debe pasar por otras muchas operaciones, en todas las cuales es el movimiento el agente principal, antes que esté preparado para el uso. Para obtener estos movimientos nos servimos de las fuerzas que encontramos actualmente existentes en la naturaleza, tales como la caída del agua, la fuerza del viento, la de los animales, y muchísimas otras: mas como las fuerzas de los movimientos que se requieren para las varias manufacturas son generalmente diferentes en muchos respectos de las fuerzas que la naturaleza nos ha dado, es necesario inventar medios de modificarlas para acomodarlas á nuestras necesidades. Puede acontecer que tengamos á nuestra disposicion una fuerza natural de intensidad variable, cuando acaso sea necesario aplicar á la obra que intentamos hacer una fuerza de intensidad perfectamente uniforme. Nos hallamos por lo mismo en este caso obligados á inventar algunos medios, por los cuales al transmitir la fuerza desde el agente natural mecánico, cualquiera que sea, al punto actuante, se modifique de tal modo que sea uniforme en su accion. Además, la fuerza natural puede obrar constantemente en una direccion, como por ejemplo una corriente ó una caída perpendicular de agua, ó una corriente de aire, cuando acaso se requiera que la fuerza del punto operante sea alternada ó reciproca, como por ejemplo la que se necesita para hacer obrar el émbolo de una bomba comun. En tales casos, por consiguiente, debe interponerse algun aparato entre el agente natural y dicho punto, que sea capaz de convertir una especie de movimiento en otro. Este ar-

tificio se llama máquina; la fuerza natural que se intenta modificar se llama su primer motor, y la parte de la máquina en la que se produce la modificacion requerida se llama generalmente punto operante.

En la parte de la mecánica que se limita á la consideracion de la naturaleza y de los principios de la maquinaria, hay dos objetos intimamente relacionados entre sí, cada uno de los cuales exige nuestra mayor atencion: los primeros son los agentes mecánicos ó primeros motores naturales, y los segundos las máquinas ó los medios con los cuales se modifican estas fuerzas y se hacen aplicables á nuestros designios. En este primer tratado nos proponemos limitar la atencion del lector á la esplicacion de la calidad y leyes de las potencias que nos suministra la naturaleza, y originan los primeros motores, y finalmente la de las propiedades del movimiento y de la fuerza. Siguiendo este método dedicaremos el segundo tratado á los elementos de la maquinaria.

CAPITULO II.

Sobre la composicion y resolucion del movimiento y de la fuerza.

5. Si dos fuerzas iguales obran sobre el mismo punto de un cuerpo en direcciones diametralmente opuestas, lo mantendrán en quietud. Estas fuerzas, pues, son el ejemplo mas sencillo del equilibrio, y la verdad de este principio es evidente.

Así pues si á un punto P se atan dos hilos, y si las dos poleas C D, que giran sobre centros fijos, estan colocadas de modo que cuando pasen sobre ellas los hilos, las partes P C y P D se hallen en la misma linea recta; los pesos iguales A B, suspendidos por los hilos, atraerán al punto P igualmente á las direcciones opuestas P C y P D; y es evidente que de este modo se neutralizarán uno á otro, y que el cuerpo P se hallará en equilibrio, *fig. 1.*

6. Mas ahora supongamos que el peso B sea mayor que el peso A, y en es-

te caso el punto P será atraído en la dirección PD, con fuerza mayor que la que le atrae en la dirección opuesta PC, y es evidente que tendrá una tendencia á moverse en la dirección PD. Pero ¿qué tendencia? ¿Cuanto importará, ó en otras palabras, con qué fuerza está el punto P atraído en la dirección PD? Esto es fácil de determinar: supóngase que el peso B esté dividido en dos partes, de las cuales la una es igual á A; es claro, pues, que la otra parte será igual á la diferencia de los pesos A y B, ó al exceso del peso B sobre el peso A. Llámese E este exceso, y véase la fig. 2.

Ahora parece (según 5) que el peso A, que obra en la dirección PC, equilibra exactamente el peso A, que obra en la dirección PD, de modo que nada produce el efecto cambiado de estos pesos; y tenemos por consecuencia que el punto P es atraído en la dirección PD solo por la fuerza E, ó sea el exceso del peso mayor B sobre el peso menor A.

De aquí podemos generalmente inferir, que cuando un cuerpo se halla atraído en dirección diametralmente opuesta por dos fuerzas desiguales, es afectado exactamente del mismo modo que si fuese atraído por una fuerza igual á la diferencia entre las dos fuerzas y en dirección de la mayor.

7. Esta sola fuerza, cuya acción equivale á la acción combinada de dos ó mas fuerzas, se llama su *resultante*; y la operación por medio de la cual una sola fuerza equivale en su efecto á dos ó mas fuerzas, se llama *composición de fuerzas*.

8. Por otra parte, pueden encontrarse dos ó mas fuerzas cuyos efectos combinados sean equivalentes al de una sola fuerza dada: la operación con la cual se determinan estas, se llama la *resolución de la fuerza*; y las dos ó mas fuerzas que son equivalentes á una, se llaman sus *componentes*.

9. Habiendo examinado el ejemplo mas sencillo, en el cual las direcciones de las fuerzas están en la misma línea recta, pasemos ahora á manifestar

el caso mas complicado, en el cual dos fuerzas obran sobre el mismo punto con direcciones diferentes. Véase fig. 3. Sea P un punto fijo al cual se aten tres cuerdas, y pásense las porciones de ellas Pa y Pb sobre poleas fijas como antes, y suspéndanse los pesos A y B. El punto P es ahora atraído por dos fuerzas A y B en las direcciones Pa y Pb. Si se desea saber que fuerza sola produciría el mismo efecto sobre él, tómense las distancias Pm y Pn sobre las cuerdas, de modo que estén en la misma proporción que los pesos A y B, es decir, de modo que sea $Pm : Pn :: A : B$; y sobre la tabla en la que se suponen fijas las poleas ab constrúyese el paralelogramo Pm, on. Tirese la diagonal Po. Una fuerza sola que obre en la dirección de la diagonal Po y que tenga la misma razón con el peso A ó B, como la que tiene la diagonal Po con los lados Pm ó Pn del paralelogramo, producirá el mismo efecto sobre el punto P, que producen las acciones combinadas de A y de B. Para prueba de esto, colóquese la tercera polea c de modo que la cuerda Pc, cuando estendida sobre ella, esté en una dirección diametralmente opuesta á Po, y suspéndase en ella el peso C, que deberá tener la misma proporción con A ó B que la diagonal Po con Pm ó Pn. Si el punto P, supuesto fijo hasta ahora, se suelta y se deja mover libremente, se hallará que se mantiene en su posición y que queda estacionario. De esto se sigue que el peso C neutraliza los efectos de A y B y los conserva en equilibrio, y también haría lo mismo con C en la dirección Po (5); de lo cual se sigue que una fuerza igual á C en la dirección Po, es equivalente á las acciones unidas de las fuerzas A y B en las direcciones Pm y Pn. De ahí deducimos el importante teorema siguiente;

Si dos fuerzas que obran sobre el mismo punto en las direcciones de los lados de un paralelogramo, son proporcionales en sus intensidades con estos lados, sus efectos unidos serán equivalentes al de una sola fuerza

que obre sobre el mismo punto en la direccion diagonal del paralelogramo, y cuya intensidad es proporcional á la diagonal.

Esta sola fuerza en la direccion diagonal es por consiguiente su resultante ó equivalente.

10. Finalmente se verá que dos fuerzas no tienen mas que una resultante, porque si se altera en lo mas minimo la fuerza C , ya sea en su tamaño ó en su direccion, el punto P , cuando se le deje libre, no se mantendrá por mas tiempo en su posicion, sino que se moverá hasta que se ponga en posicion tal, que la estension de la diagonal y la de los lados del paralelogramo correspondiente, sean proporcionales á la de las fuerzas A B C .

11. Ahora podemos estender nuestra investigacion á la accion combinada de tres y mas fuerzas sobre el mismo punto. Sea P , *fig. 4*, un punto fijo como antes, al cual esten atadas varias cuerdas, y pasando estas cuerdas sobre las poleas a b c d , suspéndanse en ellas los pesos A B C D .

Tómese cualquier parte, por ejemplo Pm , sobre la cuerda Pa , y desde m , que está sobre la tabla y á la cual está unido el aparato, tirese una línea paralela á la cuerda Pb , y tómese la parte mn de ella, de modo que sea $Pm : mn :: A : B$. Tirese ademas por n una paralela á la cuerda Pc , y de aquella tómese la parte no , de modo que sea $mn : no :: B : C$, véase *fig. 4*. Del mismo modo tirese op paralelo á Pd , y tal que sea $no : op :: C : D$; finalmente únense los puntos p y P por una línea recta: una fuerza sola que obre en la direccion de la línea Pp y que tenga la misma razon con cada una de las demas fuerzas, como la tiene la línea Pp con el lado del poligono paralelo á la otra fuerza, producirá una presion sobre el punto fijo P , equivalente á las acciones combinadas de las fuerzas A B C D . Esto puede establecerse por los mismos medios que se usaron en el primer caso. Fijese una cuerda al punto inmóvil P y pásese sobre la polea C , de modo que la cuerda Pe sea una continuacion de la línea pP , y suspéndase en ella el peso E

que tenga la misma proporcion con los pesos A B C D , como el lado Pp con los lados del poligono paralelo á las cuerdas respectivas. Si se desprende entonces el punto P de la tabla, verémos que conservará su posicion y quedará inmóvil, de modo que la fueza E en la direccion Pe , diametralmente opuesta á Pp , contraresta los efectos combinados de las fuerzas A B C D , y tambien contrabalanza el efecto de una fuerza igual á E en la direccion de la línea Pp , (5). Por consiguiente aquella fuerza es equivalente á los efectos combinados de A B C D , y es su resultante, de lo cual podemos inferir el teorema general siguiente:

Si varias fuerzas obran sobre el mismo punto, paralelas y proporcionales á todos los lados de un poligono, ordenados todos menos uno, una sola fuerza proporcional á aquel solo lado y en su direccion será su resultante.

Puede probarse que esta es la única resultante, del mismo modo que en el primer caso, porque si la direccion de la cuerda Pe ó la magnitud del peso E ó ambas se varian de cualquier modo, el punto P cuando se desprenda no conservará ya su posicion, sino que se moverá hasta que se fije en aquella en la cual los lados del poligono correspondientes sean proporcionales á los pesos suspendidos de las cuerdas con que son paralelos.

12. Hasta aqui hemos supuesto en un mismo plano las fuerzas aplicadas al punto: mas esto no es de ningun modo necesario, y se pueden aplicar exactamente los mismos principios cuando las fuerzas obran en diferentes planos.

13. Es evidente por el racionio de los articulos anteriores, que si cualquier número de fuerzas que obran sobre un punto son proporcionales á los lados de un poligono, respectivamente paralelos con la direccion de las fuerzas, estando estas en direcciones de los lados, tomadas sucesivamente en el mismo orden, conservará el punto su inmovilidad y las fuerzas se hallarán en equilibrio, neutralizándose los efectos reciprocamente.

Ya que cualquier lado de un triángulo

ó polígono es siempre menor que la suma de todos los lados restantes, se sigue que un efecto mecánico se producirá siempre con mas economía por una fuerza sola que obre en la direccion propia, que por un número de fuerzas que obren en direcciones diferentes.

14. Todo lo que hemos establecido relativamente á la composicion de las fuerzas ó presiones, se aplica tambien á la composicion de los movimientos. Dos impulsos que comunicados separadamente harian mover un cuerpo recorriendo los lados de un paralelógramo, si se comunican en el mismo instante lo moverán en el mismo tiempo sobre la diagonal del paralelógramo, como se puede ver por el siguiente ejemplo. Supóngase una tabla lisa como $ABCD$, *fig. 5*, en forma de paralelógramo, por donde debe rodar una bola, provista aquella de un resalto para que esta no caiga: pónganse en uno de los ángulos A dos resortes $G G'$, de modo que cuando G hiera la bola X , se mueva esta corriendo el lado AB en cierto tiempo; é igualmente cuando G' hiera la bola, se mueva esta recorriendo el lado AD en el mismo tiempo. Ahora bien, si ambos resortes hieren la bola X en el mismo instante, se verá que se mueve diagonalmente y que emplea ecsactamente el mismo tiempo que el que empleaba cuando se movia por los lados, impulsada separadamente por cada uno de los resortes. Para que la bola X corra los lados AB y AD en el mismo tiempo, es preciso que la fuerza de los resortes sea proporcional á la longitud de ellos: bien que cuando se construyen estas tablas se hacen ordinariamente cuadradas, y por consiguiente se hacen los resortes de igual fuerza.

Del mismo modo, si varios impulsos comunicados separadamente á un cuerpo, lo hacen mover paralelo á los varios lados de un polígono tomados respectivamente, esceptuándose solamente el último, y con velocidad proporcional á dichos lados, si todos obran en el mismo instante sobre el cuerpo, se moverá en-

tonces en la direccion del último lado con una velocidad proporcional al mismo.

Hay efectos numerosos, que nadie ignora que son ejemplo de la composicion y resolucion del movimiento. Si andando por un lado de una calle deseamos llegar á un punto distante del lado opuesto, el método directo seria pasar en linea recta hácia el punto, caminando diagonalmente á través de la calle; pero deseando apartarnos con la brevedad posible de la acera, atravesamos primeramente la calle en direccion perpendicular á aquella, y bajamos despues por el lado opuesto hácia el punto deseado. No es esto efectivamente otra cosa que una resolucion del movimiento diagonal de que primero se hizo mencion en sus dos componentes, que son los lados del paralelógramo.

Si se boga con una falúa directamente á través de un rio en el cual no haya corriente, se atravesará en linea recta, perpendicular á las orillas; mas si hay corriente, el bote será llevado por esta paralelo á las orillas, al paso que será impelido por los remos en una direccion perpendicular á las mismas, y tendrémos por consecuencia que pasará á través del rio diagonalmente, y llegará á la otra orilla no al punto diametralmente opuesto al de salida, sino á otro considerablemente mas bajo, moviéndose efectivamente por la diagonal de un paralelógramo, en el cual uno de sus lados es la linea recta tirada á través del rio desde el punto de donde salió el bote, perpendicular á las orillas, y el otro lado es la distancia de la misma orilla medida desde el punto de salida hasta el punto opuesto á aquel á donde llegó.

Es, pues, este un ejemplo de la composicion del movimiento; así como lo fué de resolucion el primero que se ha citado.

La facilidad con que se ejecutan en el circo los juegos de equitacion puede referirse á este principio. Cuando el hombre y el caballo se estan moviendo con grande velocidad, escita algunas veces nuestra admiracion el ver que, cuando

colocado encima, salta el hombre directamente y no le pasa el caballo debajo, y que cuando desciende el ginete, no cae perpendicularmente al punto de donde saltó: debe pues considerarse que al desprenderse de la silla el cuerpo del ginete, tiene la misma velocidad que el caballo; y el salto que da perpendicularmente hacia arriba no disminuye lo mas minimo la velocidad, de modo que mientras que está subiendo desde la silla, adelanta el mismo camino que el caballo, continuando así hasta que vuelve á la silla.

En este caso el cuerpo del ginete describe la diagonal de un paralelógramo, uno de cuyos lados está en la direccion del movimiento del caballo, y el otro perpendicularmente hácia arriba en la direccion del salto.

En el acto comun de saltar á través de un aro dejándose caer de nuevo sobre la silla, un ginete poco experimentado podría acaso abalanzar su cuerpo hácia adelante, del mismo modo que lo haria si saltase desde el suelo á través del mismo aro; y si tal hiciese, en vez de caer sobre la silla se dejaria caer ó delante del caballo ó sobre su cuello ó cabeza, porque entonces se moveria con mayor rapidez que el caballo: pues ademas de tener su cuerpo la velocidad del bruto, de la cual siempre participa, tendria tambien la adicional producida por el esfuerzo muscular con que alabanza el ginete su cuerpo hácia adelante. Todo lo que se necesita, pues, para hacer este salto, es hacerlo perpendicularmente hácia arriba desde la silla á una altura suficiente para desembarazar la parte inferior del aro con los pies.

Por medio de la celeridad que tiene el ginete juntamente con el caballo pasará su cuerpo, sin ninguno esfuerzo de su parte, á través del aro, y caerá sobre la silla por el lado opuesto. Estos son ejemplos admirables de la composicion del movimiento.

CAPITULO III.

De la fuerza de gravedad.

15. Aunque la fuerza de la gravedad no puede considerarse, propiamente hablando, por sí sola como primer motor ó agente mecánico, es sin embargo el medio de producir y dar efecto á una clase tan estensa de primeros motores, que es necesario aplicar las leyes que regulan su accion para hacer mas inteligible la accion de algunos de los principales y primeros motores.

La tierra que habitamos es una masa de materia prócsimamente de forma globular, cuyo diámetro tiene unas 8000 millas de longitud. Esta masa enorme tiene la propiedad de atraer hácia su centro todos los cuerpos menores colocados cerca de su superficie; de modo que si estos se hallan en perfecta libertad para moverse sin ningun obstáculo, se moverán en línea recta hácia el centro del globo y continuarán moviéndose hasta que lleguen á la superficie. Si la parte de la superficie que encuentran es sólida ó un líquido relativamente mas pesado que los cuerpos descendientes, quedará obstruido su paso hácia el centro; pero en este mismo caso será manifiesta la atraccion hácia él con la fuerza con que los cuerpos comprimen la superficie que les resiste. Si sucede que los cuerpos que hemos supuesto que encontraron la superficie en su aprocsimacion hácia el centro, encuentran un líquido como el mar, siendo ellos mas pesados que este, continuarán aprocsimándose al centro, moviéndose á través del líquido hasta que se hallen por fin detenidos por un líquido mas pesado que ellos ó por una superficie resistente. Todas las líneas tiradas de los puntos exteriores de un globo hácia su centro son evidentemente perpendiculares á su superficie, y de ahí es que los cuerpos que se mueven hácia el centro de la tierra, atraidos por su influjo, se mueven perpendicularmente á su superficie, y cuando se halla obstruido su paso por la misma, la comprimen per-

pendicularmente con fuerza igual á la que los atrae hácia el centro.

Esta atraccion ejercida por la tierra sobre todos los cuerpos colocados cerca de su superficie, se llama *gravedad terrestre*; y la fuerza que oprime á todo cuerpo hácia su centro sobre un plano horizontal, se llama el *peso* ó *pesantez* de aquel cuerpo.

Es evidente que se puede dar razon, por las observaciones anteriores, de todos los efectos comunes de los cuerpos descendientes y de las presiones producidas por el peso.

Esta atraccion no es de ningun modo peculiar á la tierra, sino que es comun á todas las sustancias materiales, cualquiera que sea su forma, cantidad ó posicion. Bajo este respecto la gravedad se diferencia del magnetismo y otras atracciones que solo residen en sustancias de especies particulares. Si la tierra fuese una grande piedra iman, solo tendrian peso aquellas sustancias peculiares que son afectadas por el iman, ó caerian en la superficie cuando no se hallasen sostenidas. Todos los demas cuerpos quedarían indistintamente en qualquier posicion que se colocasen, y se hallarian en disposicion de moverse igualmente hácia arriba y hácia abajo. Mas toda sustancia material es susceptible de la atraccion de la gravedad, y lo que es mas, es susceptible de ella en ecsacta proporcion con su masa. Si pues la masa de la tierra fuese doble, seria doble tambien su atraccion sobre todos los cuerpos colocados cerca de ella, y por consiguiente el peso de todos los cuerpos seria doble en este caso; si se triplicase la masa, seria triple el peso de los cuerpos, y así sucesivamente. En general la atraccion que ejerce un cuerpo sobre otro inmediato es en proporcion de su masa.

Hemos sentado por principio que la gravedad es una atraccion comun á todas las sustancias materiales, y siendo así, acaso puede preguntarse porque los varios cuerpos colocados cerca de la superficie de la tierra no atraen á esta

hácia ellos. Si se levanta un cuerpo á cualquier altura de la superficie, será atraído por la tierra y caerá por consiguiente en linea recta perpendicular: pero ya que el cuerpo atrae á la tierra, ¿porqué no asciende la superficie hácia el cuerpo?

A esto respondemos que efectivamente sucede así. La superficie de la tierra se aproxima al cuerpo descendiente, y dicho cuerpo no solo atrae la masa de la tierra hácia sí, sino que la atrae ecsactamente con fuerza igual á la que la tierra atrae al cuerpo descendiente. ¿Por qué, pues, se replicará, no es perceptible la rápida aproximacion de la tierra al encuentro del cuerpo descendiente? Mas esta esplicacion requiere que entremos en algunos pormenores.

16. Si dos cuerpos A B se mueven con la misma velocidad, serán iguales las cantidades de movimiento con tal que sus masas ó cantidades de materia sean iguales, y no de otro modo. Si la masa de A es mayor que la masa de B, será tambien mayor su fuerza en la misma direccion. Esto será evidente si consideramos las fuerzas con que chocarian contra cualquier obstáculo que se les opusiese. Si B es una bala de fusil y A una bala de cañon de peso 100 veces mayor, arrojándose ambas con la misma velocidad, A herirá cualquier obstáculo con una fuerza 100 veces mayor que B. Tenemos, pues, por punto general que *cuando son iguales las velocidades con que se mueven los cuerpos, sus fuerzas son proporcionales á sus masas ó cantidades de materia.*

Supongamos ahora que sean iguales las masas de los cuerpos A B, mas que se muevan con velocidades desiguales, que es lo mismo que decir, que recorran espacios diferentes en el mismo tiempo. Sea *a* el espacio descrito en un segundo por el cuerpo A, y *b* el descrito á un mismo tiempo por el cuerpo B: estos espacios los llamamos *velocidades* de los cuerpos. Los cuerpos iguales que se muevan con velocidades diferentes, se moverán con fuerzas diferentes; y es

evidente que el cuerpo que se mueva con mayor velocidad, tendrá mayor fuerza ó cantidad de movimiento; y esta será proporcional á aquella. Si dos balas iguales se disparan sucesivamente del mismo fusil, mas con diferente carga de pólvora, la que se dispare con la carga mas fuerte herirá al blanco con una fuerza proporcionalmente mayor; pero en este caso la única diferencia de los movimientos de las balas es que la una tiene mayor velocidad que la otra, y de esto deducimos que *cuando masas iguales estan en movimiento, sus fuerzas estan en proporcion con sus velocidades.*

17. Ya hemos considerado con separacion los casos en los cuales se mueven masas desiguales con iguales velocidades, y masas iguales con velocidades desiguales: hemos visto tambien que las fuerzas en uno de los casos son proporcionales á mas masas, y en el otro á las velocidades. Ahora, si masas desiguales se mueven con velocidades desiguales, es natural esperar que, comparando las fuerzas, consideremos las velocidades y las masas. Parece que la fuerza motriz de un cuerpo puede aumentarse ó disminuirse aumentando ó disminuyendo, ya sea su masa, ya su velocidad, ó ambas á un tiempo: asi pues, si las masas de los dos cuerpos A B están en la razon de los números 8 y 5, y las velocidades de estos cuerpos en la de los números 7 y 3, sus fuerzas motrices serán como el producto de 8 y 7 al de 5 y 3, á saber 56 á 15. Parece, por consiguiente, que en este ejemplo la fuerza de A tiene una razon mucho mayor á la fuerza B de la que tiene la masa A á la masa B, ó la velocidad de A á la velocidad de B; y el motivo es que la masa y velocidad conspiran á comunicar á A una fuerza motriz superior. Generalmente hablando, concluimos que *las fuerzas motrices ó cantidad de movimiento de los cuerpos son proporcionales á los productos de las masas por sus velocidades.*

18. Puesto que la fuerza motriz de un cuerpo depende juntamente de su

masa y de su velocidad, se sigue necesariamente que si, al paso que aumentamos su velocidad en cualquier proporcion, disminuimos su masa en la misma, su fuerza motriz será igual; porque perderá tanta fuerza con la disminucion de su masa, como la ganará con el aumento de la velocidad. Del mismo modo, si al paso que aumentamos su masa, disminuimos en la misma proporcion su velocidad, no se alterará tampoco la fuerza motriz; porque se perderá tanto con la velocidad disminuida como se ganará con la masa aumentada.

19. Los varios teoremas que acabamos de espresar, relativos á las fuerzas de los cuerpos en movimiento, no se apoyan enteramente sobre el raciocinio, mas pueden fácilmente sujetarse á la prueba experimental: véase *fig. 6.* Atense dos cuerdas al centro C del arco graduado X Y, y suspéndanse las dos bolas A B de arcilla ó de cualquiera otra sustancia no elástica, de modo que cuelguen en contacto en el centro del arco. Supongamos primero que las bolas sean iguales: si se separan movidas desde el centro del arco en direcciones opuestas hácia sus estremidades, y si se dejan despues caer desde cualquier distancia al punto mas bajo O, cuando se reunen tendrán velocidades proporcionales á los arcos que hayan recurrido (1).

Si se dejan caer las bolas iguales por arcos iguales, chocarán una con otra con velocidades iguales, y se observará que despues del impetu quedarán quietas, habiéndose destruido mutuamente

(1) Rigurosamente hablando, las velocidades son como las cuerdas de los arcos; mas como los que se usan en este caso son pequeños, comparados con el radio, pueden considerarse como casi proporcionales á sus cuerdas. Otra propiedad de este aparato es, que de cualquier distancia del centro del arco que caigan las bolas, llegarán al centro en el mismo tiempo. Esto, sin embargo, así como la propiedad que acabamos de mencionar, es solamente cesacto cuando los arcos de que nos valemos sean pequeños comparados con el radio.

las fuerzas. Esto prueba que cuando masas iguales tienen velocidades iguales, tienen fuerzas iguales; porque si sus fuerzas no fuesen iguales en este caso, las masas unidas después del choque se moverían en la dirección de aquella que la tuviese mayor.

20. Supongamos ahora que la bola A, véase *fig. 6.*, tenga doble peso que la bola B: levántese A hacia X hasta la división 3, y levántese B hacia Y hasta la división 6; dejándolas caer de estas posiciones, sus velocidades serán como 3 á 6; mas siendo sus masas como 2 á 1, sus fuerzas deben ser como 2×3 á 1×6 , esto es, 6 á 6, ó iguales. Vemos por consiguiente que después del choque se quedarán quietas, habiéndose destruido una á otra las fuerzas iguales y opuestas. Del mismo modo, si las balas cuyos pesos son como 2 á 3 caen de distancias que sean como 6 á 4, siendo sus fuerzas como 2×6 á 3×4 , ó como 12 á 12, serán iguales, y después del choque las masas unidas quedarán en quietud.

Siguiendo el mismo proceder, por mas que se varíe el experimento, se hallará que el producto de los números que representan la masa y la velocidad, representan siempre exactamente la fuerza motriz ó la cantidad de movimiento.

21. Para volver, pues, al caso de la tierra y de un cuerpo cerca de su superficie, diremos que se atraen uno á otro con fuerzas iguales: porque en su consiguiente aproximación mutua, la tierra debe tener una velocidad tantas veces menor, cuanto mayor sea su masa con respecto á la del cuerpo descendiente.

Ya que todos los cuerpos que pueden sujetarse á estas circunstancias deben ser infinitamente mas pequeños que la tierra, el espacio por el cual se les aproxima la tierra en su caída, ha de ser también infinitamente mas pequeño que el que ellos recorren cuando caen.

Tomemos por ejemplo un caso extremo muy improbable: supóngase una bola de tierra de diámetro igual á la décima parte de una milla, que hubiese de colocarse en una altura de una eleva-

ción igual también á la décima parte de una milla; consideremos el espacio que correría la tierra para reunirse con la bola. Siendo el diámetro de la tierra de cerca de 8000 millas, y siendo las esferas como los cubos de sus diámetros, la masa de la tierra tendría con la de la bola la razón de 512,000,000,000.000 á 1: por consiguiente, si la décima parte de una milla se dividiese en 512 millones de millones de partes iguales, una de estas partes sería con bastante exactitud el espacio que correría la tierra hacia el cuerpo descendiente. La décima parte de una milla tiene algo menos de 6.400 pulgadas; y si estas se dividen por 512 millones de millones de partes, cada una de estas sería la octogésima millonésima parte de una pulgada. Tenemos pues que la tierra recorrería un espacio menor que este, bajo las circunstancias que hemos supuesto.

Es evidente por lo mismo, que con respecto á los cuerpos descendientes debe considerarse la tierra en estado de quietud.

22. Hemos dicho que los cuerpos se atraen unos á otros en proporción de sus cantidades de materia ó masas, y de ahí es que la tierra atrae varios cuerpos con diferente intensidad. Un pedazo de plomo contiene mucha mas cantidad de materia en el mismo volumen, que uno de corcho; y vemos por consiguiente que la tierra atrae al primero con mucha mas fuerza, ó en otras palabras, que tiene mayor peso específico. Este es el motivo porque el peso específico ha sido justamente tomado como medida ó esponente de la cantidad de materia en todas las sustancias, cualesquiera que sean.

23. Mas las masas de los cuerpos no son las que *solamente* determinan sus mutuas atracciones: sus distancias afectan á esta fuerza, y se sabe que la fuerza de atracción disminuye á medida que aumenta la distancia, pero en proporción aun mayor. Así, por ejemplo, un cuerpo colocado sobre la superficie de la tierra, á 4000 millas de distancia de su

centro, es atraído con cierta fuerza hácia aquel: á doble distancia, ó lo que es lo mismo, á 4000 millas mas allá de la superficie, solo será atraído aquel cuerpo con la cuarta parte de dicha fuerza y perderá efectivamente tres cuartas partes de su peso.

No proseguirémos sin embargo esta investigación, porque pertenece con mas propiedad á otra ramificación de la ciencia. Los movimientos, sobre que hemos de fijar la atención del estudioso, tienen todos lugar en la superficie de la tierra y tan cerca de ella, que la mudanza en la intensidad de la fuerza de la gravedad, que nace de la diferencia de aproximación, es enteramente insignificante. Consideremos, por consiguiente, la gravedad como una fuerza uniforme, esto es, una atracción que afecta en el mismo grado al mismo cuerpo, cualquiera que sea su posición, y que afecta *igualmente* á los cuerpos iguales.

24. Siendo la tierra globular ó próximamente tal, se sigue que las líneas en que obra su atracción, converjen hácia su centro, y que en varias partes de la tierra no son paralelas las líneas que trazan los cuerpos descendientes, sino que son tales que si se continuasen se encontrarían en el centro. Considerando, sin embargo, la acción de la gravedad sobre los cuerpos en lugares no muy distantes de la superficie de la tierra, podemos suponer sin error visible que las direcciones en que obra la gravedad son paralelas, y que todas son perpendiculares al mismo plano horizontal. La distancia de una milla, á pesar de su grande desvío, producirá únicamente una desviación del paralelismo, que no llegará á un minuto ó la 60.^{ma} parte de un grado.

25. Si se pusiese en movimiento un cuerpo por medio de un impulso, se movería continuamente en dirección de aquel con la misma velocidad uniforme con que empezó su movimiento, con tal que estuviese libre de las resistencias, tales como las del rozamiento, aire, etc. La fuerza de gravedad ó de cualquier

otra atracción difieren esencialmente de la del impulso: un impulso obra instantaneamente y produce todo el efecto de una vez, y el tiempo no varia dicho efecto. Por otra parte, la atracción tal como es la gravedad, necesita *tiempo* para producir cualquier efecto, y el efecto producido aumenta exactamente en la misma razón del tiempo que lo produce. Cuando empieza á desprenderse un cuerpo suspendido en una altura sobre la superficie de la tierra, se mueve con una velocidad pequenísima, pero por la continua acción de la atracción de la tierra va aumentando aquella constantemente durante el descenso del cuerpo. Esta especie particular de movimiento se llama *movimiento acelerado*, y la fuerza que lo produce se llama fuerza *acelerante*.

26. Para explicar la uniformidad de la atracción de la tierra sobre un cuerpo descendiente, supongamos que el cuerpo haya recibido cierta velocidad al fin del primer segundo de movimiento: al fin de los dos segundos se verá que ha recibido el doble de aquella velocidad; á los tres segundos que la tiene triple, y así sucesivamente, aumentando continuamente la velocidad en la misma razón que aumenta el tiempo desde el principio del descenso.

No habrá, por consiguiente, dificultad en calcular aritméticamente la velocidad que adquirirá un cuerpo descendiente en cualquier tiempo desde el principio de su caída. Sea g la velocidad que adquiere en un segundo, y sea T el número de segundos desde el principio de su descenso, y V la velocidad adquirida. Por lo establecido debe ser evidente que V es tantas veces g , como los segundos que hay en T ; y espresándolo con signos algebraicos, tenemos $V = g T$.

27. Queda dicho que la atracción de la tierra obra sobre todos los cuerpos en proporción á sus masas ó cantidades de materia; y efectivamente puede considerarse como si imprimiese una fuerza separada sobre cada partícula de un cuerpo, y fuerzas iguales sobre todas ellas: así es que si se imprime cierta fuerza

sobre un cuerpo sólido, esta estará compuesta de todas las fuerzas que obran en todas sus varias partes; de modo que si el cuerpo sólido se rompe en pequeñas porciones, cada una de estas será atraída por la gravedad con tanta fuerza como lo era el todo. De esto se sigue una consecuencia muy notable y aparentemente falsa, á saber, que todo cuerpo cualquiera, grande ó pequeño, pesado ó ligero, debe descender con la misma celeridad. No obstante, es sabido que en circunstancias ordinarias no caerán con la misma celeridad una pluma y un pedazo de oro; y además sabemos que algunos cuerpos, como por ejemplo, los globos aerostatos, en vez de descender se elevan. Parece que estos ejemplos contradicen la conclusión á que nos ha conducido nuestro raciocinio, mas solo en apariencia lo contradicen. Es una verdad incontestable que la gravedad, en cuanto sea afectada por la atracción, acelera con igualdad el descenso de todos los cuerpos; mas cuando caen en circunstancias ordinarias, se experimenta otra fuerza opuesta á la gravedad, que es la resistencia del aire sobre la superficie del cuerpo descendiente; esta resistencia no es, como la gravedad, proporcional al peso ó cantidad de materia del cuerpo, sino que depende de la superficie que opone el mismo cuerpo al aire. Una pluma presenta al aire en proporción de su peso una superficie mucho mayor que un pedazo de oro, y sufre por consiguiente mayor resistencia en su caída. Se verá en el capítulo 6º de nuestro tratado de Neumática, artículo 51, que el peso del aire es el que impide el descenso y causa la ascension del aerostato.

28. Puede no obstante satisfacer la demostracion el siguiente experimento, á saber, que la gravedad que obra independiente de otras fuerzas, hace descender todos los cuerpos con la misma velocidad, véase *fig. 7*. En la bomba de aire colóquese una campana de cristal R, abierta tambien su parte superior: póngase sobre esta una cubierta de laton que la cierre herméticamente: pásese á

través de ella un alambre que sostenga una planchita, en la cual esten colocadas la pluma y la pieza de metal. Sitúese la planchita de modo que caiga cuando se gire el alambre (que cierre herméticamente) con la mano, colocándola en el punto H: esto hecho, aspirese el receptor con la bomba, gírese el alambre en H, dejando caer la planchita que sostiene la pluma y el metal, y se verá que la pluma y el metal caen en el fondo E de la bomba en el mismo instante. Si pudiésemos construir un pequeño aerostato, de materiales bastante fuertes para resistir á la fuerza elástica del gas, que tenderia á reventarlo cuando estuviese colocado el aerostato en el receptor echausto de aire, veriamos no solamente que no se quedaria en la cima, sino que caeria con la misma rapidez que un pedazo de plomo.

29. Habiendo demostrado que la velocidad adquirida por un cuerpo descendiente es proporcional al tiempo, es natural inquirir si puede obtenerse alguna regla por cuyo medio podamos computar los espacios por los cuales caerá un cuerpo en cualquier tiempo dado. Esta regla puede fácilmente deducirse, por medio de cálculos matemáticos, de la que ya hemos dado para la velocidad; y aunque esta no puede introducirse aqui con propiedad, es fácilmente entendida (1). Si un cuerpo descendiente recorre cierto espacio en el primer segundo de su descenso, recorrerá cuatro veces aquel espacio en los dos primeros segundos, nueve veces el mismo en los tres primeros segundos, diez y seis veces en los cuatro primeros segundos; y generalmente para encontrar el espacio que recorrerá en cualquier número dado de segundos, multiplíquese el espacio que recorre en un segundo por el cuadrado del número de los segundos en el tiempo de descenso. Así pues, si m es el es-

(1) Sea S el espacio descrito por el cuerpo descendiente. $V = \frac{ds}{dt} = gT$. Por consiguiente $dS = gT dT$, lo que integrándose da $S = \frac{1}{2} g T^2$.

pacio que recorre un cuerpo descendiente en un segundo, $m T^2$ es el espacio que recorrerá en dos segundos espresados por T ; y si S es este espacio, tenemos $S = m T^2$; decimos por consiguiente que los espacios que recorre un cuerpo descendiente son como los cuadrados de los tiempos desde el principio de su descenso.

30. Hallaremos el espacio recorrido por un cuerpo descendiente en el segundo *segundo* de su descenso, restando el espacio recorrido en el primer segundo del que recorre en los dos primeros segundos; siendo el primero espresado por m , el último es $4 m$, y la diferencia es $3 m$. Además, se hallará el espacio recorrido en el tercer segundo, sustrayendo el espacio descrito en los dos primeros segundos que es $4 m$, del que describe en los 3 primeros segundos que es $9 m$; y la diferencia $5 m$ será el espacio descrito en el tercer segundo. Por la misma operación hallaremos que $7 m$, $9 m$, $11 m$, etc., son los espacios que recorrerá respectivamente en el 4º, 5º, 6º segundo, etc. Los espacios, pues, recorridos por un cuerpo descendiente en segundos sucesivos, ó en cualesquiera porciones iguales de tiempo, son como los números impares 1, 3, 5, 7, etc.

31. Se ve por estas investigaciones que el cálculo de la velocidad adquirida por un cuerpo descendiente en tiempo dado, depende de la que adquiere en el primer segundo; y esta por consiguiente se ha de saber para poder computar cualquier otra velocidad. Del mismo modo, para poder calcular el espacio que recorre un cuerpo descendiente en cualquier tiempo dado, es necesario saber el espacio recorrido por el cuerpo en un segundo. Tenemos, pues, que la velocidad adquirida y el espacio recorrido en un segundo son los elementos fundamentales de todo el cálculo, únicos necesarios para la computación de las varias circunstancias que acompañan á los fenómenos de los cuerpos descendientes.

32. Mas aun estos dos elementos no

son independientes; y si supiésemos uno de los dos, inmediatamente descifraríamos el otro. Esta circunstancia nace de una relación muy notable que subsiste entre el espacio recorrido por un cuerpo descendiente en cualquier tiempo, y la velocidad que adquiere en el mismo tiempo. Si después que un cuerpo ha caído por la acción ó la fuerza de gravedad por algún tiempo, por ejemplo de un segundo, fuese repentinamente suspendida la acción de la fuerza solicitante, ¿cual sería la consecuencia? No se comunicaría ya al cuerpo mas velocidad, porque se hallaría suspendida la causa de que procedía el acrecentamiento de ella; pero por otra parte el cuerpo no perdería la velocidad que hubiese ya adquirido. Continuará por consiguiente su descenso, mas en vez de caer con un movimiento acelerado, descenderá con la velocidad que ha adquirido, y será uniforme en todo su descenso, describiendo espacios iguales en tiempos iguales. En este caso se verá que el espacio recorrido en cada segundo después del primero, será exactamente igual á dos veces el mismo espacio que recorrió en el primer segundo por la fuerza de la gravedad (1). Ahora, si se estima la velocidad por el espacio descrito uniformemente en un segundo, se seguirá que la velocidad adquirida en un segundo es igual á dos veces el espacio recorrido por un cuerpo que desciende libremente por la acción de la gravedad en un segundo: así es que el espacio que hemos espresado por m es igual á la mitad del que hemos esplicado por g .

33. Las dos fórmulas algebraicas que espresan la relación entre el espacio, el tiempo y la velocidad adquirida, son ahora por consiguiente $V = g \cdot T$ y $S = \frac{1}{2} g T^2$.

(1) Por el artículo 26 vimos que era $V = g T$, y en la nota del artículo 29 encontramos $S = \frac{1}{2} g T^2$. Eliminando á g por estas ecuaciones obtenemos $S = \frac{1}{2} V T$; pero $V T$ es el espacio que se trazaría con la velocidad uniforme V en el tiempo T , y es por consiguiente dos veces el espacio S el que recorre el cuerpo descendiente en el tiempo T .

$g T^2$. en la que g representa la velocidad adquirida en un segundo; ó si se quiere $V = 2 m T S = m T^2$, en la que m representa el espacio recorrido por un cuerpo que desciende libremente en un segundo.

La siguiente TABLA manifiesta la relacion de los espacios, de las velocidades y de los tiempos, con arreglo á las leyes que acabamos de establecer. El espacio recorrido en el primer segundo se considera como la raíz de la longitud.

Segundos desde principio del descenso.	Velocidad adquirida al fin de dicho tiempo.	Espacio recorrido en dicho tiempo.	Esp. recorrido en el último segun. del descenso.
1	2	1	1
2	4	4	3
3	6	9	5
4	8	16	7
5	10	25	9
6	12	36	11
7	14	49	13
8	16	64	15

Así sucesivamente podria continuarse la tabla cuanto se quisiera.

34. Para sujetar las varias leyes esplicadas, que conducen el descenso de los cuerpos pesados, á un experimento manifiesto, habrian de vencerse dificultades considerables. En un segundo recorrerá un cuerpo descendiente la altura de cerca de 16 pies perpendiculares (1). En dos segundos por consiguiente recorrerá 64 pies, y en cuatro segundos 256 pies. Así pues, si nuestros experimentos se hallan limitados á 4 segundos, es necesario que tengamos á nuestra disposicion una altura de 256 pies; y ademas de su magnitud habria una dificultad considerable en observar la velocidad. La velocidad adquirida en el segundo segundo de movimiento seria la de 32 pies, y por consiguiente la velocidad adquirida al fin del cuarto seria la de 128 pies por segundo, ó 7680 pies por cada minuto.

(1) Rigurosamente hablando, son 16 pies y una pulgada ó 193,09 de pulgada en la latitud de Londres.

Ademas de estas dificultades, seria tan considerable la resistencia que opondria la atmósfera á tan rápidos movimientos, que produciria mucha discordancia entre los efectos observados y las leyes que hemos establecido, bajo el supuesto de hallarse removidas todas las resistencias que se oponen al libre descenso de los cuerpos.

35. No obstante, por medio de los mas rigurosos experimentos puede establecerse la verdad de estas leyes; y aunque no pueden removerse directamente los obstáculos de que acabamos de hablar, pueden no obstante eludirse. Ocurrió á Jorge Atwood que si pudiese obtenerse una fuerza de la misma especie que la de la gravedad, pero de mucha menos intensidad, seria tan lento el descenso de los cuerpos afectado por dicha fuerza, que la resistencia del aire no produciria efecto sensible, y podrian observarse y medirse al mismo tiempo exactamente todas las particularidades del espacio, del tiempo y de la velocidad. Para realizar esta idea pasó una hebra de seda fina por la ranura de una polea que giraba libremente sobre un eje horizontal, y en los extremos suspendió pesos iguales. En este estado los pesos estaban necesariamente en equilibrio: á uno de ellos añadió una pequeña cantidad para darle una ligera preponderancia, y empezó por consiguiente á descender, haciendo subir el peso mas ligero. Despreciando los efectos de la friccion de la polea sobre la cual descansaba la seda, el descenso del peso en este caso era uniformemente acelerado y exactamente igual al descenso de un cuerpo pesado, con la sola diferencia que la aceleracion podia hacerse tan lenta como se creyese oportuno con el objeto de observarla exacta y convenientemente, disminuyendo en cualquier grado la preponderancia dada al peso mas pesado.

36. Así como hemos sentado por principio, que los cuerpos pesados y ligeros son igualmente acelerados por la gravedad, acaso podria suponerse que ya que los pesos iguales suspendidos al principio

en el hilo se equilibran uno á otro, debería bajar tambien con la misma velocidad por la inmediata accion de la gravedad el peso adicional, suspendido en un extremo. Asi sucederia en efecto si la fuerza que la gravedad ejerce sobre él fuese enteramente aplicada á producir su descenso: mas se debe tener presente que ha de cumplirse tambien la ascension del peso del extremo opuesto de la seda: ya que el peso original colocado en el extremo descendiente es solo suficiente para equilibrarlo, no puede tener parte en elevarlo. Su elevacion, por consiguiente, está enteramente afectada por la fuerza que imprime la gravedad sobre el peso adicional colocado en el extremo descendiente, y toda la fuerza aplicada á elevar el peso opuesto es necesariamente sustraída de la fuerza con que desciende el adicional. Este peso ha de atraer tambien hácia abajo al descendiente, y le ha de comunicar tanta fuerza motriz en su descenso como la da ascendiente al peso que se eleva: de esto se sigue, que cuanto mas pequeño sea el peso adicional comparado con los pesos iguales suspendidos, tanto mas lenta será la razon de su descenso.

Quedaban sin embargo que remover todavía los efectos del rozamiento de la polea. Attwood venció esta dificultad por medio de una combinacion ingeniosa de ruedas llamadas *de friccion*, con las cuales el eje de la rueda que soporta el hilo, en vez de girar en agujeros cilindricos, descansa sobre los bordes de otras ruedas, y por este medio se evita enteramente el rozamiento contra la superficie interior de los agujeros por donde gira el eje; y si bien no se desvanece toda la friccion, queda tan disminuída en cuanto afecta al movimiento de los pesos, que no se nota efecto sensible sobre el mismo movimiento en los experimentos hechos con este aparato.

37. Este útil invento está representado en la *fig. 8*: *bcd* es el borde rebajado de la rueda, sobre el cual pasa el hilo que soporta los pesos; los extremos del eje de esta rueda descansan sobre los bordes de dos pares de ruedas como se ha descrito:

el aparato está sostenido por un fuerte pilar, é inmediatamente debajo de aquel está colocado una regla *CD* dividida en pulgadas, medias pulgadas y décimas de pulgada, con objeto de medir el grado de descenso. *A* y *B* son dos pesos iguales cilindricos, suspendidos en los extremos del hilo que descansa en la ranura del borde de la rueda *bcd*. *S* es una planchita que puede afianzarse á tornillo sobre la regla graduada en cualquier division particular en la que se quiera hacer parar el descenso del peso. *G* es un reloj unido al pilar principal, marcando segundos para fijar el orden del descenso.

Los pesos *A* *B* están comunmente ajustados de modo que colocando sobre el peso cilindrico *A* el peso *O* de un cuarto de onza, baje el peso *A* tres pulgadas en un segundo. De este modo hemos obtenido una fuerza acelerada, que es 64 veces menor que la de la gravedad, la cual sin embargo conserva todas las particularidades características de aquella, y es efectivamente la fuerza de la gravedad representada perfectamente en miniatura.

38. Ahora manifestaremos como se aplica esta máquina, para establecer por esperimento las leyes que regulan el descenso de los cuerpos pesados que antes se han explicado.

EJEMPLO 1.º Para establecer estas leyes por esperimento se une el anillo *R* al zóquete *E*, el cual puede afianzarse con un tornillo en cualquier division de la regla graduada; se tiene tambien una barra de metal *F* que pese un cuarto de onza, y mas larga que el diámetro del anillo *R*: fijese este anillo con el tornillo en cualquier division de la escala, y fijese tambien la planchita *S*, de modo que cuando el peso *A* descansa sobre ella se encuentre la cima del peso ecsactamente á seis pulgadas bajo del anillo *R*. Hecho esto, elévese el peso *A*, bajando el peso *B* hasta que la cima del peso *A* esté ecsactamente á tres pulgadas por encima del anillo *R*. Conservando el peso *A* en esta posicion, colóquese la barra *F* sobre él, y observando los movimientos del reloj hágase descender el peso *A*. Se verá que

el golpe de la barra F sobre el anillo R coincide exactamente con el inmediato golpe del reloj, y que el golpe del peso A sobre la planchita S coincidirá precisamente con el golpe sucesivo. Se observará también que el movimiento acelerado del peso A en el primer segundo, antes que la barra dé con el anillo, es producido únicamente por la acción de la fuerza de gravedad sobre la barra (36). Cuando abandona la barra el peso A y queda en el anillo despues del primer segundo, cesa esta causa acelerante, resultando suspendida la acción de la gravedad, y sigue moviéndose el peso A hasta llegar á la planchita S con la velocidad que habia adquirido en R: ya hemos visto que esta celeridad era tal que recorría seis pulgadas en un segundo.

EJEMPLO 2.º Además, colóquese la planchita de modo que cuando el peso A descanse sobre ella, se halle la cima del peso á 12 pulgadas del anillo R: y bájese el peso B hasta que la cima del peso A se encuentre á 12 pulgadas sobre el anillo R. Hecho esto, colóquese la barra F sobre el peso A, y soltando aquel peso, á cualquier golpe del péndulo se observará que el golpe de la barra F sobre el anillo R coincidirá exactamente con el tercer golpe, recorriendo en su descenso el espacio de 12 pulgadas en dos segundos, y que el golpe del peso A sobre la planchita S coincidirá precisamente con el cuarto golpe, recorriendo el peso el espacio de 12 pulgadas debajo del anillo con la velocidad que ha adquirido en dos segundos.

EJEMPLO 3.º quítese ahora otra vez la planchita S, y colóquese de modo que cuando esté sobre ella el peso A se halle la cima de él á 18 pulgadas debajo del anillo R. Bájese el peso B hasta que la cima del peso A se halle á 27 pulgadas sobre la planchita S: colóquese despues la barra F sobre el peso A como antes, y haciendo empezar el descenso del peso al primer golpe del péndulo, dará la barra con el anillo R al cuarto golpe, y el peso A con la planchita S al quinto golpe. El peso pues recorre en su des-

censo 27 pulgadas con un movimiento acelerado en 3 segundos, y al cabo de aquel tiempo ha adquirido una velocidad tal que recorre 18 pulgadas en un segundo.

39. Ecsaminemos ahora los resultados de estos tres esperimentos. Del primero se desprende que la velocidad adquirida en un segundo es tal, que hace mover el peso A en razon de 6 pulgadas por segundo. Del segundo esperimento resulta que la velocidad adquirida en dos segundos es 12 pulgadas por segundo; y del tercero, que la velocidad adquirida en tres segundos es de 18 pulgadas por segundo. Así pues, las velocidades adquiridas en uno, dos y tres segundos son como 6, 12 y 18, cuyos números estan en la misma razon que 1, 2 y 3, con lo cual vemos verificada la ley anterior esplicada, que *las velocidades adquiridas son como los tiempos*.

En el primer esperimento recorrió el peso 3 pulgadas en su descenso, en el segundo 12 en dos segundos, y en el tercero 27 en tres segundos. Tenemos además que los números 3, 12 y 27 estan en la misma razon que 1, 4 y 9, que son los cuadrados de 1, 2 y 3, con lo que vemos confirmada la ley ya antes esplicada, que *los espacios recorridos son proporcionales á los cuadrados de los tiempos*.

Se demostró en el primer esperimento que era tal la velocidad adquirida al recorrer 3 pulgadas, que en el mismo tiempo recorrería el peso 6 pulgadas si continuase uniformemente y sin mas aumento. En el segundo esperimento se manifestó que con la velocidad adquirida en el descenso de 12 pulgadas en dos segundos, recorrería el peso A 12 pulgadas en un segundo, y que por consiguiente recorrería 24 pulgadas en dos segundos.

Asi tambien se vió en el tercer esperimento, que con la velocidad adquirida al recorrer 27 pulgadas en el descenso de tres segundos, recorrió el peso A 18 pulgadas en un segundo, y que por consiguiente recorrería 54 pulgadas en tres. Cada uno de estos esperimentos confirma pues la ley que *con la velocidad que ad-*

quiere un cuerpo en cualquier tiempo , si continuase la misma uniformemente , recorrería el doble de aquel espacio en el mismo tiempo.

Se vió tambien por el primer experimento que el espacio recorrido en el primer segundo del descenso fué de 3 pulgadas. Por el segundo experimento , que el espacio recorrido en los dos primeros segundos fué de 12 pulgadas : de lo que se sigue que el espacio recorrido en el segundo *segundo* debe haber sido de 9 pulgadas. En el tercer experimento fué de 27 pulgadas el espacio recorrido en tres segundos.

Restando de este espacio el que fué recorrido en los dos primeros segundos, que fué de 12 pulgadas , las 15 pulgadas restantes forman el espacio recorrido en el tercer segundo.

Así, pues, los espacios descritos en el primero, segundo y tercer segundo de tiempo son 3, 9 y 15 pulgadas respectivamente, los que estan en la misma razon que los números 1, 3 y 5. Con esto se realiza la ley esplicada antes que *los espacios descritos por un cuerpo descendiente en los intervalos sucesivos iguales , son como los números impares.*

Ya que las alturas que recorren los cuerpos son proporcionales á los cuadrados de los tiempos del descenso (29) , y los mismos tiempos son proporcionales á las velocidades (26) , se sigue que las alturas son proporcionales á los cuadrados de las velocidades.

Para que un cuerpo pueda adquirir doble velocidad, es preciso que descienda de una altura cuádrupla, y así sucesivamente.

CAPITULO IV.

Del centro de gravedad.

40. Hemos establecido que en un lugar dado sobre la superficie de la tierra, la fuerza de gravedad afecta todos los cuerpos en líneas paralelas entre sí y perpendiculares á un plano horizontal. Cuando dicha gravedad afecta un cuerpo solo , no obra , por decirlo así , con

un solo esfuerzo , sino que imprime una fuerza separada á cada partícula del cuerpo, y su efecto total se compone de la suma de todos ellos así producidos sobre las partículas.

Ahora bien , hay en el cuerpo cierto punto al cual , si la atraccion de gravedad imprimiese una fuerza sola igual en intensidad á la suma de todas sus acciones separadas sobre las partes componentes del cuerpo , seria igual el último efecto al que tuvimos bajo el sistema de accion separada. Este punto , cuya existencia probaremos con experimentos , se llama el *centro de gravedad*.

41. Si la atraccion de la gravedad fuese limitada en su accion sobre un punto particular , se seguirian necesariamente ciertos efectos , á saber :

1.º Si aquel punto fuese sostenido ó fijo, descansaria en cualquier posicion en que se hallase colocado ; porque la única causa que suponemos que lo afecta de modo que produzca el movimiento , obra sobre un punto que ya suponemos fijo.

2.º Si el cuerpo se halla perfectamente libre para moverse , el punto afectado por la atraccion empezará á moverse en direccion de esta ; y en este caso empezará por consiguiente su movimiento por linea perpendicular á un plano horizontal.

3.º Si se suspende el cuerpo en cualquier punto no afectado por la gravedad, solo quedará quieto en dos posiciones , á saber , cuando el punto atraído se halle inmediatamente debajo ó inmediatamente encima del punto de suspension.

Si el punto atraído se hallare en cualquier otra posicion , el cuerpo se moverá al rededor del punto de suspension , y todas sus partes describirán círculos al rededor de aquel punto, hasta que se fije directamente el punto atraído debajo del punto de suspension.

Estos efectos serán obvios por medio de esta pequeña observacion. Sea A B, *fig. 9* , el cuerpo , y P el punto de suspension al rededor del cual pueda moverse. Sea C el punto en el que se su-

pone que obra toda la atraccion de la gravedad. Supóngase primero que este punto esté colocado en la línea $P D$ verticalmente debajo el punto fijo P . La atraccion que entonces obra en la direccion de la línea $C D$ producirá únicamente una tension en el punto P , el cual le resistirá y no se seguirá movimiento.

Ademas, colóquese el punto C , *fig. 10*, en línea vertical sobre el punto fijo P : toda la atraccion obrará ahora en la direccion $C D$, y producirá por consiguiente una presion sobre el punto P , que resistirá y no se seguirá movimiento.

Por fin, colóquese C , *fig. 11*, en una posición que no sea ni directamente encima ni debajo del punto fijo P : tírese $C D$ perpendicular á un plano horizontal y paralelo á $C D$; y cortando una parte cualquiera como $C o$ desde C , constrúyase el paralelógramo $C n o m$, siendo los lados $n o$ y $m C$ perpendiculares á $P C B$.

Se vió por 9 que si se toma $C o$, *fig. 12*, para representar toda la atraccion sobre el punto C , equivaldrá entonces á dos atracciones separadas, representadas en intensidad y direccion por las líneas $C n$ y $C m$, y el efecto es el mismo y tal cual serian los efectos unidos de estos dos. Es claro que una fuerza actuante desde C en la direccion $C n$ no tendria efecto alguno productivo de movimiento, sino que seria resistido por el punto fijo P contra el cual obraría; al paso que la otra fuerza $C m$ perpendicular á $C P$, tenderia á hacer girar al cuerpo al rededor de $C P$, hasta atraer el punto C en direccion de la línea $P D$ directamente debajo el punto de suspension P , y en cuya posición se mantendria despues de algunas oscilaciones.

42. Se sigue de esta investigacion, que si las acciones paralelas de la fuerza de la gravedad sobre los puntos materiales de un cuerpo pueden ser representadas por una fuerza equivalente que obre en un solo punto, puede determi-

narse aquel punto por las propiedades que acabamos de explicar: suspéndase un cuerpo terminado por dos planos paralelos en cualquiera de sus partes, y se verá que solo hay una posición en la que quedará suspendido en quietud y sin balancearse: tírese una línea vertical en el punto de suspension, y márquese la línea que trace sobre la superficie plana del cuerpo suspendido. Suspéndase ahora el cuerpo en algun otro punto de la superficie plana, y tírese sobre esta otra línea en la direccion de la línea vertical. Aplicándose esta operacion á cualquier número de puntos diferentes en la superficie del cuerpo, y tirándose otras tantas líneas sobre ella en la direccion de la línea vertical, se verá que todas estas líneas se intersectarán unas á otras en el mismo punto. De esto se sigue, pues, que este punto tiene la propiedad mencionada en 41, de ponerse verticalmente debajo del punto de suspension cuando el cuerpo está en equilibrio. Ahora hágase del punto determinado el punto de suspension, y se hallará que el cuerpo se mantendrá en quietud en qualquier posición en que se coloque, y que bajo ninguna circunstancia vibrará ni balanceará.

Ademas, suspéndase el cuerpo en cualquier punto diferente del que hemos determinado aqui, y colóquese de modo que se ponga verticalmente sobre el punto de suspension. En este caso se verá que el cuerpo se mantiene en equilibrio mientras no se mude su posición; pero al menor impulso, que aparte el punto referido de su posición, girará al rededor del de suspension, y se fijará despues de algunas vibraciones en situacion directamente debajo del punto de suspension.

Tenemos, pues, que el punto, la existencia y las propiedades de lo que hemos establecido, es el *centro de gravedad*.

En el experimento anterior hemos escogido un cuerpo limitado por planos paralelos, con el objeto de simplificar la operacion. Rigurosamente hablando;

el centro de gravedad no está determinado en la interseccion de las líneas por la línea tirada á plomo sobre la superficie plana; mas si se tira una línea perpendicular á dicha superficie á través del cuerpo, estará en el punto medio de esta línea. Si fuese dable atravesar con líneas rectas las dimensiones de un cuerpo, podríamos hallar por medio de la misma operacion el centro de gravedad de cualquier cuerpo, cualquiera que fuese su figura. Si se suspendiese sucesivamente en varios puntos y se atravesase en líneas rectas, pasando siempre en direccion vertical por el punto de suspension, se veria, por numerosas que fuesen estas líneas, que se interceptarian en un punto, que seria el centro de gravedad del cuerpo.

43. Valiéndonos de estas propiedades del centro de gravedad, podemos simplificar considerablemente los problemas mecánicos que tratan de los efectos de la pesantez de los cuerpos; porque en vez de tomar en consideracion los efectos separados de la atraccion de gravitacion sobre las varias partículas de que se compone un cuerpo, bastará considerar una fuerza sola igual á la suma de todas estas atracciones separadas, hallando el centro de gravedad en la línea perpendicular á un plano horizontal, la que se llama *línea de direccion*. En esta línea el centro de gravedad ó siempre se moverá, ó procurará moverse; y siempre tomará la posicion mas baja que permitan las circunstancias bajo las cuales se halle el cuerpo situado.

44. Si con la aplicacion de la fuerza esterna se situa un cuerpo de modo que el centro de gravedad se halle colocado en la posicion mas alta que permitan las circunstancias bajo las cuales se halle el cuerpo, se mantendrá quieto mientras no se toque; asi como, en el caso de suspension ya mencionada, el mas ligero desórden hará descender el centro de gravedad á la posicion mas baja.

De estas dos posiciones en que puede mantenerse un cuerpo quieto, la pri-

mera se llama equilibrio *instable*, y la segunda equilibrio *estable*.

45. Si se coloca un cuerpo sobre un plano, su estabilidad se hallará determinada por la posicion de la *línea de direccion* con respecto á la base: véase *fig. 13*.

Sea $A B C D$ un cuerpo que descansa sobre la superficie plana $L M$, y sea O su centro de gravedad, y $O N$ la línea de direccion descendiente dentro de la base $A D$. Ya que puede concebirse que toda la fuerza ejercida por la gravedad sobre el cuerpo está aplicada al punto O en la direccion $O N$, esta misma fuerza será sostenida ó resistida por el plano $L M$, y el cuerpo se mantendrá firme.

Mas si la línea de direccion $O N$, *fig. 14*, cae fuera de la base $A D$, tendríamos otro caso distinto. La fuerza de gravedad afectará ahora al cuerpo haciéndolo volver sobre el cuerpo D y caer sobre el lado $D C$.

Tírese $O D$, y desde el punto N tírese $N m$ perpendicular á $D O$, y complétese el paralelógramo $N m O n$. Tomando la diagonal $N O$ para representar toda la fuerza de gravedad, se puede resolver (9) en dos fuerzas representadas por $O m$ y $O n$. La fuerza $O m$ se halla resistida por el plano $L M$ en el punto D , y es evidente que la fuerza $O n$ tiende á hacer volver al cuerpo al rededor del punto D y á hacerlo caer sobre el plano hácia el punto M .

Si la línea de direccion cae sobre el filo D de la base, se hallará el cuerpo en estado de equilibrio instable. Porque, véase *fig. 15*, sea $O D$ perpendicular al plano $L M$ haciendo centro en D ; describase un cuadrante de círculo con el radio $D O$: es evidente que si se mueve el punto O hácia M recorrerá una parte del arco circular $O E$; y estando todas las partes de este arco mas cerca de $D M$ que O , debe descender el punto O . El mas ligero desórden en este caso hará caer al cuerpo hácia M .

46. Generalmente hablando, cuanto mas alto esté el centro de gravedad de un cuerpo comparado con la estension

de su base, con mas facilidad se vuelca, como es fácil de demostrar.

Sea A B C D, *fig. 16*, un cuerpo que descansa sobre el plano horizontal L M y sobre la base A D. Sea O el centro de gravedad, y O N la linea de direccion: tirese O D, y haciendo centro en D con el radio D O, trácese el arco O F.

Para que el cuerpo A B C D vuelque sobre el borde D, será preciso que el borde A se levante del plano E M á altura tal que el punto O recorra, levantándose el arco O F, mas allá del punto E.

Supóngase ahora que colocando el peso G K, *fig. 17*, sobre A B C D, se eleve el centro de gravedad de O á O', y entonces bastará elevar el centro de gravedad O por el arco O' E, para que vuelque el cuerpo sobre el borde D.

Es evidente que bastará mucha menos elevacion del borde A para efectuarlo, que lo que sería menester en el primer caso para elevar el centro O por el arco O' E.

Con esto se puede dar razon de lo peligroso que es el cargar los carros con efectos muy pesados en la parte superior, mientras que la parte inferior se halla comparativamente sin carga; y con esto se explica tambien el peligro de estar en pie en un bote, porque en estos casos se eleva el centro de gravedad y se aumenta proporcionalmente la facilidad para volcar.

Si se quiere sostener un cuerpo sobre una punta afilada, se experimentará suma dificultad por causa de la imposibilidad práctica de censervar el centro de gravedad del cuerpo verticalmente sobre la punta que lo sostiene; mas si se comunica al cuerpo un movimiento de rotacion y se hace rodar sobre la punta, se verá que se equilibra con mas facilidad.

En este caso el centro de gravedad en cada revolucion del cuerpo toma toda la posicion posible al rededor del punto, y tiende igualmente á hacer inclinar el cuerpo en todas direcciones al rededor de él: su tendencia á hacer inclinar el

cuerpo en cualquier direccion se halla contractuada despues de media revolucion, por otra tendencia igual que lo inclina en la direccion opuesta; y con tal que el movimiento de rotacion sea bastante rápido, se siguen con tan veloz sucesion estas tendencias opuestas, que se contrarian unas á otras como si obrasen simultáneamente.

CAPITULO V.

Del agua considerada como agente mecánico.

47. Cuando el agua cae de un plano superior á otro inferior, podemos servirnos de su peso en el descenso como de un agente mecánico.

Para que esto pueda verificarse, solo es preciso que haya bastante provision de agua en el plano superior, y que se pueda extraer despues de su descenso, para impedir que con su acumulacion se igualen los dos niveles. El medio mas comun con que se da movimiento á la maquinaria por medio de esta potencia, es una rueda sobre cuya circunferencia se hace obrar el peso del agua en su caída, en la direccion la mas aprosimada posible de la perpendicular á los radios de ella: esta presion no obstante obra únicamente sobre un lado de la rueda. Las ruedas movidas por esta potencia son de tres especies, á saber, de *chorro superior*, de *chorro horizontal* y de *chorro inferior*.

El diámetro de una rueda de chorro superior es casi igual á la diferencia de los niveles del agua que la hacen mover.

La *fig. 18* representa una seccion de esta rueda. El borde está provisto de receptores que reciben el agua cuando baja del nivel superior *h*. Los receptores desde la cima H de la rueda hasta el estremo F del diámetro horizontal F G, estan constantemente llenos de agua, al paso que los receptores desde F hasta el punto *a*, en que el lado de cada receptor se pone al nivel ú horizontal, estan solo en parte llenos, y los que hay desde *a* hasta el punto mas bajo L estan vacios. Es evidente que los del otro lado G del diámetro vertical H L estarán todos vacios.

En este estado el peso del agua hará girar la rueda, porque el peso afecta no mas que un lado $H F L$ de ella, y no está equilibrada por peso igual en la otra parte; con lo que la rueda seguirá girando mientras reciba el agua suficiente del nivel superior h .

No obstante, el peso del agua en los vacios receptores no afecta igualmente la revolucion de la rueda, lo que es fácil de entender, porque si se llenase de agua el receptor mas alto H , su peso afectaría al eje O en las direcciones de $H O$, este peso se hallaría sostenido enteramente por los apoyos de la rueda, y no contribuiría de ningun modo á su movimiento. Desde los varios receptores a , b , c , etc. etc., trácense las lineas $a A$, $b B$, $c C$, etc., etc., perpendiculares al diámetro horizontal $F G$. El peso del agua en el receptor a produce el mismo efecto para hacer girar la rueda que si el mismo peso afectase á A con el brazo ó palanca $A O$: y del mismo modo los pesos del agua en los vacios receptores $b c d e$ producen los mismos efectos que si afectasen á los puntos $B C D E$. Luego es evidente que á cuanta mas distancia del centro O obre un peso dado, tanto mas afectará aquel peso á la rueda; por consiguiente el agua de los receptores que se hallan cerca de F produce en proporcion mas efecto que la que se halla en los que están cerca de H . Lo mismo puede decirse con respecto á los $e' d' c'$. Mas como el agua empieza á caer de cada receptor cuando pasa el extremo F del diámetro horizontal, los receptores $e' d' c'$ producen un efecto menor que los $e d c$ que estan inmediatamente sobre ellos, en proporcion al menor peso de agua que contienen.

Para aumentar la potencia de las ruedas de chorro superior, los ingenieros han fijado su atencion en la construccion de los receptores, cuya forma debe ser tal, que retengan toda el agua posible hasta llegar al punto mas bajo L , vaciándose enteramente al llegar allí; y efectivamente cada receptor debe vaciarse al llegar al punto mas bajo

L , y debe estar lleno hasta que llegue lo mas cerca posible de aquel punto. Para lograr estos extremos se han inventado varias formas de receptores, mas los que representa la *fig. 19* se consideran generalmente los mejores.

Estos receptores estan formados por tres planos: $A B$ representa la direccion del primero, que está en la del radio de la rueda, y se llama el *arranque ó el hombro*: $B C$ manifiesta la del segundo, que se llama el *brazo*; y $C D$ la del tercero, nombrado *muñeca*. Estos receptores están contruidos de modo que cuando $A B$ forma un ángulo de 35° con el diámetro vertical de la rueda, la linea $A D$ se halla horizontal, pero el area de la figura $A D C B$ es igual á la de $F C B A$; luego con esta posicion se conserva tanta agua en el receptor como la que llenaría $F C B A$. No se desprende toda el agua hasta que $C D$ se pone horizontal, lo que se efectua cuando la direccion $A B$ está muy cerca del punto mas bajo.

Mas al paso que procuramos conservar llenos todos los receptores descendientes, no debemos olvidar que la presion aumentada sobre los apoyos del eje, produce mayor resistencia causada por el rozamiento, y que hay por consiguiente cierta distancia del punto mas alto al mas bajo, dentro de la cual el peso que contiene el receptor descendiente es un obstáculo positivo contra el movimiento de la rueda. Esto es fácil de entender, reflexionando sobre los casos extremos de los receptores mas altos y mas bajos. Si se llenan estos, el peso del agua que contengan, como ya hemos dicho antes, no producirá efecto alguno para hacer girar la rueda, como que afectará con toda su fuerza los apoyos del eje; y siendo el rozamiento proporcional á la presion perpendicular, se hallará aquel aumentado, y producirá una resistencia adicional al efecto producido por el de los receptores descendientes. Resulta, pues, que el agua de los mas altos y mas bajos es una resistencia positiva contra el movimiento de la rueda. Supónganse llenos los cubos $a a'$ (*fig. 18*), inmedia-

tos á los puntos mas altos y mas bajos, y veremos que se producirán dos efectos, á saber: una presion adicional sobre el eje, y por consiguiente de una parte una resistencia aumentada, y de la otra se pondrá en accion una fuerza motriz con la fuerza de la palanca $A O$; y de otra parte, cuando los cubos $a a'$ se hallen muy inmediatos á los puntos mas altos y mas bajos, la fuerza de la palanca $A O$ será muy poca, al paso que será muy grande la presion aumentada sobre el eje. Asi pues, es posible que la resistencia aumentada sea mayor que la fuerza motriz que se gana, y por consiguiente resulta una pérdida de potencia.

De lo dicho se infiere que hay cierta distancia de los puntos mas altos á los mas bajos, en la que la potencia motriz del agua de los receptores es solo igual á la resistencia que nace del rozamiento producido por su mismo peso; y es claro que dentro de esta distancia de los puntos mas altos á los mas bajos, un receptor lleno causa una pérdida positiva de potencia, y aun mas allá de este limite, aunque muy cerca de él, muy poca es la ventaja que puede sacarse.

Hay cierta velocidad con la cual debe moverse una rueda de chorro superior para producir el mayor efecto posible, lo que se entenderá fácilmente considerando estos dos casos extremos.

Si la rueda se hallare tan cargada que el peso del agua no fuese suficiente para hacerla mover, la velocidad será ninguna, y es claro que será tambien ninguno el efecto. Si por otra parte se supone que gire la rueda con la misma rapidez con que cae el agua, es claro que tampoco será ninguno el efecto del peso del agua en los receptores, pues descenden tan velozmente como descenderia el agua. Entre estos dos casos limitados hay una velocidad intermedia, que producirá el mejor efecto posible.

Smeaton concluye por esperiencia que la mejor regla general para la velocidad de la circunferencia de una rueda de chorro superior, son tres pies por segundo; y considera esta regla igualmen-

te aplicable á las ruedas grandes y á las pequeñas. Desviándose sin embargo de esta regla, observa que las ruedas altas pierden menos de su efecto en proporcion á su potencia que las mas pequeñas.

48. En los casos en que sea considerable la altura de la caída y limitado el auxilio del agua, se usa con frecuencia la invencion representada en la *fig.* 20.

Sobre dos ruedas $A B$ se hace rodar una cadena continua que conduce una serie de receptores $C F E D$; el agua cae en el receptor mas alto en N , y cuando descende este, el inmediato D ocupa su lugar, se llena y asi sucesivamente, llenándose todos los receptores del lado C , mientras que los del lado E hallándose invertidos estan vacíos: y asi es que la cadena de receptores gira constantemente en la direccion $C F E D$ por el peso del agua.

49. La rueda de chorro horizontal es otro medio con el cual se aplica el peso del agua como agente mecánico. Esta rueda está provista en su borde de tablas planas, cuyos planos estan en ángulo recto con el de la rueda y en la direccion de los radios. El agua empieza á caer en cualquier punto cerca de la estremidad del diámetro horizontal. Las referidas tablas son aptas para las ruedas de los molinos, segun representa la *fig.* 21, de modo que no deja jugar mas que lo absolutamente necesario al libre movimiento de la rueda, conservándose el agua entre las tablas y el cauce de la corriente, para que obre por su peso hasta que próximamente haya llegado al punto mas bajo de la rueda.

50. La rueda de *chorro inferior* está esclusivamente puesta en movimiento por la fuerza motriz del agua, y es enteramente independiente de su peso. Está provista tambien de aletas, como la rueda de chorro horizontal, en las cuales cae el agua por un conducto oblicuo en la parte inferior de la rueda, segun se ve en la *fig.* 22.

El efecto de esta rueda depende de la cantidad del agua de la corriente y de la velocidad con que hiere á las planchas

ó aletas. La velocidad dependerá de la altura de la caída, la que por consiguiente debe aumentarse en cuanto lo permitan las circunstancias particulares.

Han sido muy diferentes las opiniones entre los autores mecánicos con respecto al mejor número de aletas en las ruedas de chorro inferior.

Bossut prueba que dada la velocidad por la rueda hay cierto número de aletas que producen el mayor efecto.

La regla de Bossut, sin embargo, no es bastante sencilla para que pueda servir de ella el maquinista práctico. Mas, generalmente hablando, podemos observar que la rueda puede estar provista de varias aletas como lo permita la fuerza del borde al que estan unidas, teniendo cuidado al mismo tiempo de no sobrecargar la rueda con su peso. El inconveniente que nace de un número diminuto de aletas es de mas consideracion que otro cualquiera producido por la causa opuesta.

51. Para estimar la potencia de una corriente sobre una rueda de chorro inferior, es muchas veces necesario medir la velocidad de la corriente y la cantidad de agua que corre por su cauce.

Varios métodos se han sugerido para medir la velocidad de una corriente, pero el mas sencillo es estender dos cuerdas al través de ella, perpendiculares á su curso, y á tanta distancia la una de la otra como se crea conveniente; échese un cuerpo ligero flotante en la corriente mas allá de la cuerda superior, y obsérvese el momento de su paso debajo de ella con un reloj que señale medios segundos ó cuartos de segundo: de este modo se sabrá el tiempo que gastó aquel cuerpo de una cuerda á otra, y midiendo la distancia entre ambas cuerdas, se hallará la razon con que fué llevado por la corriente y se encontrará la velocidad de la misma.

Otro método hay mas ecsacto para determinar la velocidad de una corriente, que es por medio de una rueda pequeña provista de aletas, segun se ve en la *fig. 23*: esta rueda tiene cerca de un

pie de diámetro y gira sobre el tornillo *a b*; cuando las aletas son impelidas por la corriente, el eje *B b* girará sobre el tornillo *a b* y se acercará á *D*, cada revolucion haciéndole recorrer una parte del tornillo. Se fija el índice *O h* de modo que cuando la rueda empieza su rotacion, el punto del índice se halle en cero sobre la escala fija *m a*. A medida que la rueda gira hácia *D*, cada revolucion hace recorrer al índice *O h* una division de la escala graduada, de suerte que de este modo se pueden ver las revoluciones que la rueda hace en un tiempo dado: otro índice rectangular *m n p* manifiesta las partes de una revolucion, y antes de empezar el movimiento el punto *p* se dirige al punto cero del borde graduado de la rueda.

Habiendo encontrado con este instrumento el número de revoluciones y partes fraccionarias de una revolucion verificadas en un tiempo dado, multiplíquese la circunferencia de la rueda por dicho número, y hallaremos la velocidad con que se mueve la circunferencia de la rueda.

52. La tercera propiedad del agua como agente mecánico, es la que posee de transmitir la presion igualmente en todas direcciones como los demas fluidos. Si se encierra agua en una vasija y se ejerce una presion cualquiera sobre una pulgada cuadrada de la misma, se transmitirá igual presion á cada pulgada cuadrada de la superficie de la vasija que contiene el agua.

Uno de los ejemplos mas notables del uso de esta propiedad como agente mecánico, es la prensa hidrostática de Bramah, cuya teoria es sumamente sencilla. Se construye un émbolo grande y sólido, *A B*, *fig. 24*, de modo que se mueva premiosamente en el cilindro *C D*: se llena de agua el espacio debajo del émbolo, y este espacio comunica por medio del tubo *E F* con una pequeña bomba actuada por el émbolo *G*, y por cuyo medio se hace entrar el agua en la cámara del cilindro *C D* debajo del grande émbolo. Supongamos ahora que esté

lleno de agua todo el espacio comprendido entre los dos émbolos, y que se cierre la presión de una libra sobre el agua por medio del émbolo G de la bomba. Supongamos también que el diámetro del émbolo G tiene un cuarto de pulgada, y el diámetro del émbolo B un pie. En este caso la base del émbolo B oprimida por el agua, siendo 2304 veces mayor que la base del émbolo G que la oprime, y mediante el poder de transmitir la presión que ya hemos indicado, se ejercerá la presión de una libra sobre todas las partes de la base del émbolo mayor, por ser cada una de ellas igual á toda la del menor: de este modo una presión de una libra sobre la base del émbolo menor G producirá una presión de 2304 libras contra la base del émbolo mayor B. Parece, pues, que esta propiedad de los fluidos nos da facultad de aumentar la intensidad de una presión ejercida por una fuerza comparativamente pequeña, sin otro límite que el de la fuerza de los materiales con que la máquina está construida.

La misma nos pone también en estado de transmitir con mucha facilidad el movimiento y la fuerza de una máquina á otra, en casos en que las circunstancias locales escluyen la posibilidad de establecer alguna conexión mecánica ordinaria entre dos máquinas. Así pues, solo por medio de tubos de comunicación puede transmitirse á cualquier distancia la fuerza de una máquina, á pesar de las dificultades del terreno ó de cualquier embarazo.

CAPITULO VI.

Del aire considerado como agente mecánico.

53. El aire puede ser agente mecánico por medio de sus cuatro propiedades, peso, inercia, fluidez ó facultad de transmitir la presión y elasticidad, como probaremos en nuestro tratado de *Neumática*, capítulo 3.º, demostrando que una columna de aire cuya base tiene una pulgada cuadrada y cuya altura es la de la atmósfera, pesa cerca de quince libras.

De ahí se sigue que una superficie horizontal sostiene un peso ó presión que asciende á quince veces tantas libras cuantas son sus pulgadas cuadradas.

Si tenemos, pues, una sustancia sólida de superficie horizontal, por ejemplo, un émbolo colocado en un cilindro vertical, pudiendo por algún medio anular toda resistencia inferior, será aquel impelido hácia abajo por la presión mecánica de quince veces tantas libras cuantas sean las pulgadas cuadradas de su superficie superior, y de este modo obtendremos un agente mecánico de una potencia limitada únicamente por la magnitud del émbolo.

Mas al dar eficacia á esta potencia se presentan dificultades particulares, causadas por otras dos propiedades del aire, que son su fluidez y elasticidad. Con la primera trasmite igualmente en todas direcciones la presión causada por el peso de la atmósfera, de modo que no solo es una superficie horizontal la que sostiene la presión de quince libras por pulgada, sino que todas las superficies en cualquier dirección y posición sufren la misma presión. Además, siendo el aire un fluido elástico, se dilata de suerte que llena todos los espacios no ocupados por otros cuerpos, ya sean sólidos ó fluidos. Por consiguiente, en el caso que hemos supuesto, el aire debe ocupar no solo el espacio del émbolo superior sino también el inferior; y siendo así, la fluidez transmitirá la presión causada por el peso de la atmósfera á la superficie inferior del émbolo con la misma fuerza, y de este modo tendremos el émbolo oprimido hácia arriba y hácia abajo con fuerzas iguales, y no obtendremos por consiguiente ninguna ventaja mecánica.

54. Resulta, pues, que antes de emplear el peso de la atmósfera como agente mecánico, ya sea afectando directamente hácia abajo, ó que se trasmita por medio de su fluidez hácia arriba, ó en dirección lateral oblicua, es indispensable se estraiga el aire de la parte opuesta del cuerpo sobre que ha de obrar este peso ó presión. Ahora volviendo al ejemplo

del émbolo y cilindro , es necesario extraer el aire de su parte inferior para que su peso ó presión pueda ejercer su efecto por la parte superior : si esta remoción se hace , como sucede muchas veces , por medios mecánicos , se echará de ver desde luego que se necesitará exactamente tanta fuerza para remover el aire de un lado del émbolo , cuanta se ganará subsiguientemente por la presión de la atmósfera contra el otro. Supongamos , por ejemplo , que se extraiga el aire de los dos pies de longitud del cilindro que se hallan debajo de un émbolo. Para verificar esto , se necesitará á lo menos una fuerza de quince libras para cada pulgada cuadrada de la sección del cilindro que afecte el espacio de dos pies ; y después de verificado , el émbolo será impulsado contra el vacío exactamente con la misma fuerza.

Tenemos por consiguiente que , para hacer de la presión atmosférica un agente mecánico ventajoso , se debe siempre producir un vacío , y además si se produce este por medios mecánicos , no se ganará fuerza alguna , porque siempre se necesitará tanta cuanta será ejercida por la presión atmosférica , una vez verificada. Sin embargo , en los usos mecánicos no es siempre nuestro objeto el adquirir potencia. Es muchas veces muy conveniente y en cierto modo una gran ventaja el poder obtener por medio de una potencia , que afecta de algún modo particular , otra igual cuya acción sea diferente y mas adaptable al objeto. Así sucede en todos los casos en que se hace obrar la presión atmosférica con la rarefacción mecánica , y en todos ellos no debe considerarse como primer motor , sino mas bien como agente intermedio cuya eficacia depende de la total potencia , cualquiera que ella sea , que nos ha servido para producir la rarefacción. De esto tenemos un ejemplo muy obvio en la bomba aspirante comun. Esta máquina se cita , no porque deba su primitiva eficacia mecánica al principio de la presión atmosférica , sino porque este entra en el pormenor de su opera-

ción. En esta máquina el primer motor es la potencia , cualquiera que ella sea , que afecta el émbolo : esta potencia al principio de la operación produce una rarefacción en el espacio , entre el émbolo y la superficie del agua. El peso de la atmósfera , afectando la superficie exterior del agua , la hace entrar en la bomba en tanta cantidad , cuanta hubiera podido levantar la misma potencia aplicada á la palanca de la bomba. Lo que hemos observado de la bomba aspirante puede generalmente aplicarse á todos los casos en que la presión atmosférica recibe su eficacia de la rarefacción mecánica. Exactamente hablando , no podemos de ningún modo considerar la presión atmosférica como primer motor , porque esta es siempre la causa , cualquiera que ella sea , ya mecánica ó de otro modo , que produce la rarefacción.

55. Por la calidad llamada inercia , el aire en movimiento ejerce su potencia sobre cualquier cuerpo sólido que obstruya su paso. Nos servimos de esta fuerza como primer motor por medios análogos á las ruedas que deben su movimiento al agua , á saber ; por superficies planas espuestas á la acción del viento que las hace girar sobre un centro. Una vez producido este movimiento de rotación , puede fácilmente transmitirse y modificarse con la maquinaria , aplicándolo á cualquier objeto que nos propongamos. Si las aspas de un molino de viento se construyen semejantes á las aletas de una rueda hidráulica de chorro inferior , el plano de la rueda debe estar en la dirección del viento ; y es evidente que una mitad de la rueda no debe hallarse afectada por la acción del viento , pues de otro modo las fuerzas , siendo iguales , tenderían á hacer girar la rueda en direcciones opuestas , y no se seguiría movimiento alguno : así es que generalmente no se usan los molinos de viento de esta construcción. Por otra parte , las aspas giran en un plano que hace cara al viento. En este caso , si las velas se hallasen en el mismo plano que las aspas , el viento caería perpendicularmente sobre ellas ,

y no haria mas que oprimir las aspas contra el edificio : si ademas las velas estuviesen perpendiculares al plano en que se mueven las aspas, presentarian únicamente su filo al viento, no ofrecerian resistencia, y por consiguiente no habria movimiento. Para hacer girar las aspas, deben pues colocarse las velas en cierta direccion intermedia entre la del viento y la del plano en que giran aquellas.

Los prácticos mas exactos y los matemáticos mas profundos han determinado la posicion que debe darse á las velas de los molinos de viento para producir el mayor efecto posible. Los mas de los cálculos teóricos sobre este asunto adolecen de condiciones ó hipótesis que son inadmisibles en la práctica. El ángulo que Parent y otros dedujeron por cálculo matemático ser el mejor para la inclinacion de los planos de las velas con el eje de movimiento ó direccion del viento, se halló con los esperimentos de Smeaton que era el menos á propósito. La posicion determinada por Parent era la mejor al principio del movimiento, mas su cálculo partia de la suposicion de que el viento heria á la vela en estado de quietud, y era por consiguiente inaplicable á la continuacion de su accion.

Quando el viento afecta á la vela que está en movimiento, es necesario calcular las velocidades tanto de la vela como del viento; porque si aquella se moviese con una velocidad igual á la del viento, no se produciria entonces efecto alguno. El efecto depende de la diferencia de las velocidades, y aquel de la misma velocidad con que el viento hiere la vela. Ahora, como la oblicuidad de la vela con el viento depende de la fuerza con que el viento la afecta, y moviéndose mas lentamente las partes de la vela mas inmediatas al centro del movimiento que las que estan mas distantes, se sigue que debe variarse la posicion de la vela segun las diferentes distancias del centro de rotacion. Despues de varios esperimentos hechos en grande, Smeaton con-

cluyó que las posiciones siguientes son las mejores (1).

Concibase el radio dividido en seis partes iguales, y llámese 1 la primera parte que empieza desde el centro, 2 la segunda y así sucesivamente, siendo 6 la parte estrema, tendrémós:

Números.	Angulo con el eje.	Id. con el plano de movimiento.
1	72°	18°
2	71	19
3	72	18
4	74	16
5	77½	12½
6	83	7

56. La última propiedad por cuya virtud hemos dicho que el aire llega á ser agente mecánico, es su elasticidad. La naturaleza de esta propiedad y las leyes con que obra se explicarán en nuestro tratado de Neumática. Cuando se considera esta propiedad como agente mecánico, está sujeta casi á las mismas observaciones que hemos aplicado al peso y presion de la atmósfera. Para producir efecto con la fuerza elástica del aire es preciso que predomine al peso de la atmósfera; presion á la que, como hemos dicho antes, están sujetos todos los cuerpos en su estado ordinario. Si por medios mecánicos se comunica al aire una elasticidad aumentada, debe ser por la compresion ó condensacion. Es claro que en este caso no se ganará potencia alguna en cuanto necesitará exactamente tanta fuerza para producir un grado dado de condensacion en una cantidad dada de aire, cuanta es igual á la elasticidad aumentada de que estará dotado dicho aire condensado. Sin embargo, en este caso así como en el del uso ordinario de la presion atmosférica, aunque no se gana po-

(1) Es muy admirable la semejanza general que tiene la mejor forma de las velas de los molinos de viento con la colocacion de las plumas de las alas de las aves; y es uno de los muchos ejemplos que manifiestan los principios verdaderamente matemáticos sobre que estriban las obras de la creacion.

tencia alguna con la condensacion mecánica, se puede no obstante sacar una ventaja considerable, como la de transmitir una potencia en otra, y la de aumentar los efectos de una pequeña potencia intermitente, de modo que la convierta en una presion fija ó continua.

De esto tenemos un ejemplo en el fusil de aire. Si quisiésemos arrojar una bala con la sola fuerza impulsiva de nuestra mano, encontraríamos que nuestro esfuerzo no produce sino muy poco efecto; mas si fuese posible unir en un impulso la fuerza combinada de un gran número de ellos separados, produciríamos entonces el efecto deseado. El fusil de aire no es, pues, otra cosa sino una invencion con la cual se acumulan y combinan y se hacen obrar simultáneamente un gran número de esfuerzos separados de nuestra fuerza. La operacion de la condensacion del aire está verificada por un número de sucesivos esfuerzos musculares, y la fuerza elástica que de este modo recibe el aire condensado es exactamente igual á la suma de estos varios esfuerzos de la fuerza humana, y por consiguiente puede considerarse como un depósito en el que se hallan reunidos de tal modo estos esfuerzos separados, que se puede aplicar en cualquier tiempo su intensidad combinada á una bala ú á otro proyectil cualquiera.

En este caso, nuestro objeto debe ser producir un efecto firme y momentáneo. La propiedad eléctrica del aire sirve tambien algunas veces para convertir una accion intermitente ó reciproca en una continua y uniforme. La máquina de fuego y otras de émbolos son ejemplos de lo que acabamos de decir. La fuerza que afecta los émbolos es intermitente ó reciproca, al paso que la presion del aire condensado en el recipiente aéreo, producida por la fuerza intermitente, es continua en su accion. Sin embargo, el total de su accion debe ser precisamente igual á la suma de las fuerzas que obran contra los émbolos.

La fuerza del aire condensado puede aplicarse para producir una presion fir-

me y continuada, sobre un principio semejante al de la prensa neumática de Bramah ya descrita: véase *fig. 25*. Sea B un grande cilindro en el que se mueve un émbolo sólido herméticamente: sea DE un pequeño tubo que tiene una llave cerrada en G y que termina con un tornillo en E, sea C una bola de metal resistente capaz de soportar una presion intensa, teniendo un pequeño tubo, que termina en el tornillo E, con el cual puede unirse con el tubo de E ó con un condensador, y provisto tambien de una llave cerrada en F por medio de un condensador atornillado en E: abriéndose la llave F hágase entrar el aire en la bola C hasta que oprima á la llave F, cuando cerrada con una fuerza de mas de 20 quintales: quitándose despues el condensador de E, el aire no puede salir por estar cerrada la llave F. Tornillese la bola y el tubo C F E sobre el tubo D E, abriéndose ambas llaves F G. El aire condensado se dilatará por el tubo D y llenará la parte del cilindro debajo del émbolo. Si despues de esta dilatacion es tal la fuerza elástica del airé comprimido, que oprima las llaves con una fuerza superior á la de la atmósfera, de 20 quintales, habrá una presion efectiva contra el émbolo A de tantas veces 20 quintales como sean las veces que la seccion del tubo D está contenida en la del émbolo. Supongamos que la seccion del tubo tenga un cuarto de pulgada de diámetro y el émbolo un pie: en este caso la presion contra el émbolo será igual á 46.080 quintales.

En este como en el primer caso nos servimos solo del aire como de un medio conveniente para acumular la fuerza mecánica, y propiamente hablando, no debe considerarse como primer motor. Asi como cuando nos valemos del peso ó de la presion de la atmósfera, consideramos la causa, cualquiera que ella sea, que produce el vacío ó la rarefaccion, como siendo propiamente el primer motor; asi tambien cuando nos servimos de la fuerza elástica del aire como agente mecánico, consideramos los medios con los cuales se le comunica el grado necesario de clas-

ticidad, como siendo el motor real, cualesquiera que sean los que se empleen. Ya veremos después por esta misma razón, que el calórico ocupa un lugar importante en la clase de los primeros motores.

CAPITULO VII.

De la fuerza animal.

57. Uno de los motores mas naturales, y por consiguiente de los mas primitivos, aunque tal vez el menos eficaz, es la *fuerza animal*.

Por motivo de nuestra ignorancia acerca de la naturaleza y del principio de la vida animal, es evidente que no podemos aplicar sobre datos científicos las leyes que regulan la fuerza animal; y además, siendo esta fuerza de naturaleza inconstante por las varias causas físicas que producen diferencias en sus diversos individuos, y hasta en uno mismo en muy poco tiempo, aparecen dificultades considerables que obstruyen la investigación y el desarrollo de estas leyes por medio de la observación y de los experimentos. Sin embargo, la analogía de la naturaleza, la hermosura, el orden y armonía singular de sus obras, nos convencen que esta fuerza está regulada, como todas las demás, por leyes fijas.

Para simplificar nuestras investigaciones consideraremos todos los esfuerzos de la fuerza animal representados por la necesaria para conducir ó llevar un peso. No es difícil imaginar que de cualquier modo que nos sirvamos de la fuerza, podemos compararla con cierta carga llevada con determinada velocidad, considerando como un esfuerzo equivalente.

Estimando de este modo la fuerza animal, tenemos una ley muy obvia, cual es la de disminuir necesariamente la velocidad del animal á medida que se aumenta la carga; mas todavía es difícil determinar en que proporción debe disminuirse la velocidad con un aumento dado de carga, para que el empleo del trabajo animal sea el mismo. Son varias las fórmulas que se han sugerido, las que convienen mas ó menos con la experien-

cia; y procuraremos explicar claramente la que manifiesta los resultados de los experimentos mas exactos.

Hay dos casos extremos de la fuerza animal. Existe cierta velocidad con la cual el animal no puede llevar carga, y simplemente puede mover su cuerpo: llámese esta fuerza X. Hay una carga tan grande que el animal solo puede sostenerla sin poderla mover: llámese esta carga L. Lo que se llama *efecto útil* depende de dos cosas, á saber, de la *carga* que se lleva y de la *velocidad* con que se lleva, y este se estima multiplicando la carga por la velocidad. Esto se entenderá fácilmente con el siguiente ejemplo; supongamos que un caballo lleve dos quintales á 6 millas en una hora, y que otro lleve tres quintales á 4 millas en el mismo tiempo. La carga del primero será 2 y la velocidad 6, y el producto ó el efecto útil será 12: la carga del último es 3 y la velocidad 4, siendo 12 el efecto útil. Desde luego se verá claramente la propiedad de comparar que el efecto útil es igual en estos dos casos, si consideramos ambos caballos empleados en trasportar pesos por espacio de seis horas, entre dos lugares separados de una milla. El primer caballo llevará en 6 horas 72 quintales, porque hará 36 viages andando 6 horas á razón de 6 millas por hora, y en cada uno llevará 2 quintales. El otro caballo no hará mas que 24, porque solo anda 4 millas por hora: mas como en cada viage llevará 3 quintales trasportará tambien en el tiempo dado 72 quintales. Así, pues, son iguales los efectos útiles de ambos caballos, y de esto se infiere la propiedad de estimar el efecto útil por el producto de los números que espresan la carga y la velocidad con la que es llevada la carga.

Volviendo ahora á la carga L y á la velocidad X, es claro que con la carga L no será ninguno el efecto útil, porque no hay movimiento; y que con la velocidad X no es ninguno tampoco el efecto útil, porque no hay carga. Pero con una carga menor que L, habrá una velocidad menor que X, y habrá por consiguiente

un efecto útil. Estos, pues, son los límites en los cuales se pierde el efecto útil, aproximándose al que lo disminuye, y entre ellos hay un punto que es el *máximo*. Para determinar en donde está este máximo, es preciso saber en que proporción disminuye la velocidad cuando se aumenta la carga.

Sea l una carga menor que L , y sea x la mayor celeridad con que puede llevarse esta carga: el efecto útil será $l l \times x$, es decir, la carga multiplicada por la velocidad. La regla que parece convenir mas con la esperiencia es que la carga l aumente con la misma proporción que el cuadrado de la diferencia entre la velocidad mayor X , con la que puede mover-

se el animal sin carga, y la velocidad mayor X con la que puede mover la carga, ó que l aumente como $(X-x)^2$. De esta regla se sigue pues que el efecto útil es representado por el producto $(X-x)^2 \times x$. Es probable que esto se entienda mas fácilmente espresándolo por medio de una tabla aritmética. Supongamos que el número 15 represente la velocidad mayor sin carga, y que el cuadrado de 15 ó 225 represente la carga mayor que puede sostenerse sin movimiento. Se hallará el valor de todas las unidades componentes del número 15, segun se ha manifestado, resultando la TABLA siguiente para cada grado de velocidad desde 1 á 15, y la carga y efecto útil correspondientes:

Velocidad..	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Carga.....	225	196	169	144	121	100	81	64	49	36	25	16	9	4	1	0
Efecto útil.	0	196	338	432	484	500	486	448	392	324	250	176	108	52	14	0

Se ve por la inspeccion de esta tabla que se obtiene un efecto útil mucho mayor con movimientos mas lentos y mayor carga, que con movimientos mas veloces y menor carga. El mayor efecto útil es producido por la velocidad 5 con la carga 100; esto es, con una velocidad igual á una tercera parte de la mayor velocidad sin carga, y á $\frac{4}{9}$ de la mayor carga que puede sostenerse sin movimiento. Veremos que este resultado, cualquiera que sea el número que tomemos, representa la mayor velocidad (1).

(1) Esta investigacion matemática no es difícil. Sea u el efecto útil, y por medio de la fórmula ya esplicada tenemos $u = (X-x)^2 - x$.

Diferenciando obtenemos $\frac{du}{dx} = (X-x)^2 - 2(X-x)x$.

Suponiendo esto = 0 sacaremos el valor de x que corresponde al máximo ó al mínimo valor de u ; resultando la ecuacion $(X-x)(X-3x) = 0$, cuyas raíces son $x = X$ ó $x = \frac{1}{3}X$, siendo $x = X$, la carga y el efecto son separadamente = 0. Esta raíz corresponde por consiguiente al mínimo; y siendo $x = \frac{1}{3}X$ $1 = (X - \frac{1}{3}X)^2 = \frac{4}{9}X^2$, esto es, la carga correspondiente á una tercera parte de la mayor velocidad es $\frac{4}{9}$ de la carga mayor, porque $L = X^2$. Se ve claramente que este es el máximo, y tomando la segunda

Asi pues, si la velocidad mayor sin carga de un caballo es de 15 millas por hora, dividiéndose en 225 partes el peso mayor que puede sostener sin moverse, se sacará mas provecho de su trabajo si se carga con 100 partes de estas 225, andando á razon de 5 millas por hora. Si se emplea de este modo, se verá que llevará mayor peso á cierta distancia dada y en un tiempo dado que bajo cualquier otra circunstancia.

El valor de la fuerza humana considerada como agente mecánico se ha estimado de varios modos. Desaguliers considera que un hombre puede levantar el peso de 550 libras á 10 pies de altura en un minuto, y continuar esta operacion por espacio de 6 horas. Smeaton considera excesiva esta valuacion, y cree que se necesitarán 6 hombres robustos para elevar 21141 pies cúbicos de agua del mar á la altura de 4 pies en 4 horas, y en este caso cada uno de los tra-

$$\text{diferencial queda } \frac{d^2u}{dx^2} = -3(X-x) - (X-3x) \\ = -4X + 6x$$

Si sustituimos $\frac{1}{3}X$ por x hallamos $-4X + 2X = -2X$, que siendo negativo, manifiesta que el valor $\frac{1}{3}X$ corresponde al valor máximo de u .

bajadores elevará muy poco mas de 6 pies cúbicos de agua dulce á 10 pies de altura en un minuto. Los trabajadores á quienes Smeaton supone capaces de ejecutar esta obra, son considerados por él iguales al duplo del mismo número de hombres comunes. Acaso se estimaría mejor el valor del trabajo de un hombre en la continuacion de elevar 30 gallones de agua á 10 pies de altura en un minuto.

La fuerza humana varia segun el modo de emplearla; y Buchanan ha demostrado que la misma cantidad de trabajo humano empleado en actuar una bomba, girar la cigüeña de un torno, repicar las campanas, y remar en un bote, están en la misma razon que los números 100, 467, 227 y 248.

El acto en que con mas ventaja se emplea la fuerza humana es el de remar.

El mas útil de todos los cuadrúpedos, como agente mecánico, es el caballo; los valores relativos del trabajo de un caballo y de un hombre se han estimado de varios modos.

Algunos lo consideran en la razon de 5 á 1, otros de 6 á 1, y otros de 7 á 1. Tal vez la segunda razon es la que está mas cerca del verdadero valor, y podemos generalmente considerar seis hombres equivalentes á un caballo.

El modo mas ventajoso de servirnos de la fuerza del caballo es el acto de tirar. El peor modo en que puede emplearse este animal es llevando un peso cuesta arriba, al paso que por otra parte la disposicion peculiar de los miembros del hombre lo hace mas apto para esta especie de trabajo. Se ha observado que tres hombres trepando por una colina, cargados cada uno de ellos con 400 libras, suben con mayor velocidad que un caballo que lleve 300.

CAPITULO VIII.

De los agentes mecánicos que dependen del calórico.

58. Para esplicar los varios modos con que se hace servir el calórico como

agente mecánico, será preciso primero hacer algunas observaciones acerca de sus propiedades, y particularmente de las que tienen relacion con la de la materia llamada *coherencia*. No obstante, nuestro tratado sobre el *Calórico* nos dispensa de entrar en los pormenores de este asunto, y á dicho tratado puede recurrir el lector que quiera enterarse mas estensamente de la explicacion general que vamos á dar.

Se supone que existe entre las particulas de la materia, cualquiera que sea su forma ó situacion, una cierta atraccion mutua; la cual si no se halla resistida por una fuerza opuesta, tienen una tendencia á acercarse una á otra, á reunirse y á formarse en masas sólidas y concretas. Se supone que el calórico es un fluido sutil y sumamente elástico que se difunde por las dimensiones de los cuerpos en mas ó menos grado, y que por su intensa elasticidad tiene una tendencia á separar las particulas. Mas sea como fuere, la naturaleza del calórico ya sea *material* ó no, es un hecho indispensable que es una *causa* productora de un efecto diametralmente opuesto á los efectos de la coherencia, y que á medida que penetra en un cuerpo, da á las particulas de este una tendencia á repelerse una á otra y separarse, y esta tendencia en algunos casos domina la fuerza coherente y produce desde luego aquel efecto.

Cuando hallamos un cuerpo en el estado sólido, concluimos por consiguiente que la fuerza coherente con que sus particulas se atraen mutuamente, domina muchísimo la fuerza repulsiva del calórico que puede penetrar sus dimensiones, y que por consiguiente las particulas se unen con una fuerza igual á la diferencia de estas fuerzas coherentes y repulsivas. Si pues por medio de la aplicacion exterior del fuego trasmitimos por las dimensiones del cuerpo un aumento de calórico, esperamos naturalmente que aumentándose el efecto repulsivo de aquel, se separarán mas las particulas componentes del cuerpo, y se apartarán unas de otras á distancias mayores, au-

mentando de este modo las dimensiones del cuerpo. Este efecto se obtiene desde luego, segun se manifiesta en nuestro tratado del Calórico en la *fig. 4.*

Generalmente hablando, cuando se comunica el calor á los sólidos, se aumenta su tamaño por la causa que hemos ya señalado; y este efecto se percibe mas en los metales que en otros sólidos.

Sin embargo, este objeto del calor no está limitado á los sólidos, sino que se observa en los líquidos y aun mas en las sustancias aeriformes. El termómetro es un instrumento en el que nos servimos de la dilatacion de un fluido por el calórico, como indicacion ó medida del grado de calor á que está espuesto el instrumento, véase Calórico, cap. 4; y puede ser líquido ó aeriforme el fluido de los termómetros, aunque es verdad que las mas veces nos servimos de aquel.

59. Los cuerpos, ya sean sólidos, líquidos ó aeriformes, ejercen cierto grado de fuerza mecánica en la operacion de estender sus dimensiones al recibir la accion del calórico, y todo obstáculo que se oponga á esta estension sufre una presión equivalente.

Esta fuerza sirve á menudo como agente mecánico, y lo mejor que tiene es que puede producirse casi hasta cualquier grado de intensidad, sin emplear ninguna otra fuerza mecánica en su producción. Bajo este punto de vista lleva una ventaja al poder mecánico del aire que nace de su presión y condensacion (53 y 54).

Hace algunos años que ocurrió en Paris un ejemplo notable del poder con que los sólidos se dilatan por el calórico, como se espone en el tratado del mismo.

Nos servimos mecánicamente de la misma fuerza en las operaciones de herrear ruedas y cercar vasijas. Se hace calentar el aro de hierro de modo que se ajuste exactamente con la rueda ó vasija, y enfriándose despues se contrae y une las partes de la rueda ó vasija con mucha fuerza, como tambien se ha dicho.

Es evidente que estas fuerzas de dilatacion ó contraccion de los cuerpos por el calórico y el frio, afectan á espacios tan limitados, que muy raras veces pueden emplearse como agentes mecánicos y bajo circunstancias particulares.

60. El calórico produce agentes mecánicos de mucha mayor fuerza por su influencia en la forma de los cuerpos, que por su poder de estender sus dimensiones. Ya hemos dicho que en un cuerpo sólido la fuerza coherente de las partículas domina la influencia repulsiva del calórico que penetra sus dimensiones. Supongamos que continúe sin aumento la fuerza coherente; y si difundimos por sus dimensiones con la aplicacion del fuego una parte de calórico tal que su fuerza repulsiva llegue á ser igual ó próximamente igual á la fuerza coherente de las partículas, fácilmente debemos preveer que no teniendo estas tendencia ó si acaso muy poca á la cohesion, se moverian libremente unas con otras y se separarian por su propio peso, á menos que se lo impidiesen las paredes de la vasija que las contienen; y efectivamente podriamos predecir que con una aplicacion tal de calórico se convertiria el sólido en líquido; y este, segun vemos, es el caso, liquidándose los sólidos esponiéndolos por un tiempo suficiente á la accion del fuego.

Tenemos por consiguiente que las formas sólidas y líquidas de los cuerpos deben su conservacion á la proporcion que subsiste entre la fuerza coherente peculiar de las partículas y la fuerza repulsiva del calórico que las penetra, dominando mucho la primera en los sólidos, y estando ambas fuerzas casi en equilibrio en los líquidos.

Así es que por experiencia vemos que si se priva á un líquido de una parte suficiente de calórico, se presenta sólido porque la fuerza coherente de sus partículas recibe una superioridad bastante sobre la fuerza repulsiva del calórico, hallándose disminuida la cantidad de este último.

61. Esta no es, sin embargo, la mas importante trasmutacion de forma de los

64. Esta no es, sin embargo, la mas importante trasmutacion de forma de los

cuerpos entre las que dependen de la proporcion que subsiste entre dichas dos fuerzas.

En un liquido, como ya hemos explicado, la fuerza repulsiva del calórico casi equilibra la coherente de las particulas. Si aumentamos considerablemente la cantidad del calórico, su efecto repulsivo dominará la atraccion coherente de las particulas; y en vez de hallarse en un estado de atraccion mutua indiferente, puede que las veamos repelerse unas á otras con fuerza, tomando el liquido una forma en la cual será necesario que esté bien tapado para impedir toda su disipacion con la dispersion de las particulas causada por el efecto repulsivo.

Vemos, por consiguiente, que si se espone por tiempo considerable un liquido á la accion del fuego, se convertirá aquel gradualmente en vapor, fluido enteramente distinto del liquido en su carácter mecánico. Si se encierra el liquido en una vasija, no oprimirá la superficie que lo contiene con mayor fuerza que con la producida por la presion de su peso; mas cuando el mismo liquido, convertido en vapor, se encierra en un vaso cerrado, oprimirá la superficie que lo encierra con su fuerza elástica, que es enteramente independiente de su gravedad, y nace de la que ejerce en sus particulas para repelerse unas á otras; y esta fuerza, por consiguiente, ejerce una presion muy fuerte en la superficie interior de dicha vasija.

Segun nuestra teoria y segun lo confirma la esperiencia, se aumentará el grado de elasticidad ó de presion ejercido por el vapor encerrado en la superficie de la vasija que lo contiene, en proporcion del calor que se comunique al mismo vapor; y al contrario, á medida que vaya bajando la temperatura del vapor, se disminuirá tambien proporcionalmente la presion elástica.

Sin embargo, la evaporacion de los liquidos es efectuada por una fuerza cuyos efectos no se perciben en la licuacion de los sólidos.

El efecto de la presion atmosférica

tiende á unir las particulas de un liquido, y por consiguiente conspira con la fuerza coherente en oposicion de los efectos del calórico. Cuando se ha comunicado á un cuerpo calórico en cantidad tal que se equilibre con la fuerza coherente, dicho cuerpo, segun nuestra teoria, debe hallarse en un estado tal que el mas ligero aumento de calórico lo convertiria en vapor elástico. No obstante, bajo estas circunstancias la presion atmosférica se opone á esta mudanza, y es la única causa de conservarse las particulas unidas y en estado de liquidez. Para probarlo hasta suprimir la presion atmosférica, y veremos que muchos cuerpos, actualmente en estado liquido por causa de la accion mecánica de aquella, se evaporarán.

Colóquese debajo del recipiente de una máquina neumática agua á 180° de temperatura y alcohol ó éter, y al suprimirse ó mas bien disminuirse por rarefaccion la presion del aire sobre su superficie, se pondrán á hervir y evaporar. Es verdad que el éter se evaporará si se espone á la atmósfera sin ninguna disminucion de presion.

Por otra parte se seguiria de esta teoria que si se aumenta la presion se resistirá la evaporacion, y así efectivamente vemos que sucede. El agua bajo la presion atmosférica, cuando el barómetro señala 30 pulgadas, hervirá y se evaporará á 212° del termómetro de Fahrenheit; pero si se sujeta la misma agua á una presion aumentada, no hervirá ni se evaporará hasta que haya llegado á temperatura mucho mas alta.

Si se estraee una cantidad suficiente de calor del vapor elevado de un liquido, veremos que volverá aquel á su forma líquida; y es un hecho muy importante la propiedad que en este caso resulta de disminuirse su volumen considerablemente.

Una pulgada cúbica de agua, convertida en vapor á la presion ordinaria atmosférica, formará un pie cúbico de vapor; de lo que se sigue que si se absorve el calórico de un pie cúbico de se-

mejante vapor por medio de la aplicacion de cuerpos frios ó de otro modo, se convertirá en una pulgada cúbica de agua. Esta propiedad se hace servir para la produccion de un agente mecánico muy importante. Si se encierra en un vaso un pie cúbico de vapor, enfriándose el vaso hasta que el vapor esté *condensado* ó restituído en agua, tendremos 1727 pulgadas cúbicas de espacio vacío, porque el vapor que antes de la condensacion ocupaba un pie cúbico ó 1728 pulgadas cúbicas, estará reducido despues de la condensacion á una pulgada cúbica, dejando á las restantes 1727 privadas de toda sustancia material.

Así es que de la condensacion del vapor ó de su trasformacion al estado líquido, producimos un método fácil y eficaz para formar un vacío, sin tener los inconvenientes del método mecánico de producir el mismo efecto indicado en el capítulo 6.º, en cuanto pueda de este modo obtenerse un vacío sin emplear una fuerza mecánica. De este principio sacaron las primitivas máquinas de vapor su utilidad y eficacia. En la máquina construída por Savery, por los años de 1700, se servian de la presión atmosférica para elevar el agua en un tubo, en el cual reproducía un vacío, espeliendo el aire por medio del vapor caliente; y cuando estaba lleno el tubo de vapor puro, y el aire espelido completamente por una válvula que se abría por la parte exterior, se condensaba el vapor enfriando la superficie exterior de la vasija que lo contenía. Así, pues, se producía un vacío en el cual no podía entrar el aire por causa de abrirse la válvula hácia fuera, y por consiguiente la presión de la atmósfera sobre la superficie del agua del recipiente lo hacia subir y entrar en la vasija ó tubo. Poco tiempo despues, Newcomen se valió de los mismos medios para producir un vacío en su máquina de vapor atmosférica, pero se sirvió de distinto modo de la presión atmosférica. Construyó un cuerpo de bomba y émbolo que se moviese herméticamente, unió el mástil del émbolo con el extremo de

una grande palanca que giraba sobre un centro, y cuyo otro extremo estaba unido con otros mástiles que debian obrar en otras bombas. El peso de estos mástiles era suficiente para elevar el émbolo á la cima del cuerpo de la bomba principal. Lo llenaba despues de vapor, por cuyo medio se espelia el aire; y al enfriarse dicho cuerpo de bomba, se condensaba el vapor y se producía un vacío debajo del émbolo, y por consiguiente afectándose la presión atmosférica sobre él, lo hacia bajar y hacia levantar los mástiles de las bombas situadas al lado opuesto de la palanca, continuándose de este modo la operacion.

En este caso no se empleaba la fuerza directa ni elástica del vapor, porque siendo la presión atmosférica del agente efectivo, recibia su eficacia del vacío producido por la condensacion del vapor. Sin embargo, en una época mucho mas anterior habia sido sugerida como potencia la accion mecánica del vapor nacida de su elasticidad, y cuya estension no tenia casi límites. El marques Worcester afirma que en 1663 construyó una máquina que elevaba una gran cantidad de agua á una altura considerable, y que era mas poderosa que la presión atmosférica, porque esta solo podia obrar en un espacio limitado, al paso que la fuerza elástica del vapor no conoce mas límites que la fuerza de las vasijas que lo contienen.

En tiempos posteriores las máquinas de vapor perfeccionadas y comunmente llamadas de presión inferior, emplean las dos potencias del vapor que hemos mencionado. Se mueve un émbolo en un cilindro, y la fuerza elástica del vapor afecta un lado de él, mientras que se produce un vacío por la condensacion del vapor del otro lado, haciendo de este modo adelantar el émbolo.

En las máquinas de alta presión se usa la fuerza elástica del vapor para impeler el émbolo contra la presión atmosférica del lado opuesto. La ventaja que esta última máquina tiene sobre la de presión inferior consiste en que todo

MECÁNICA I.

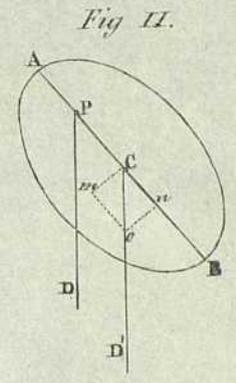
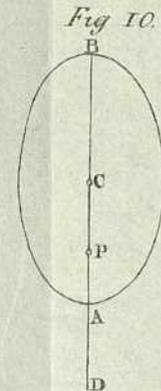
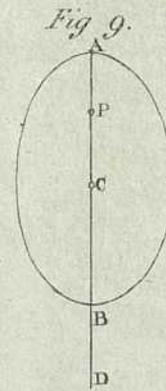
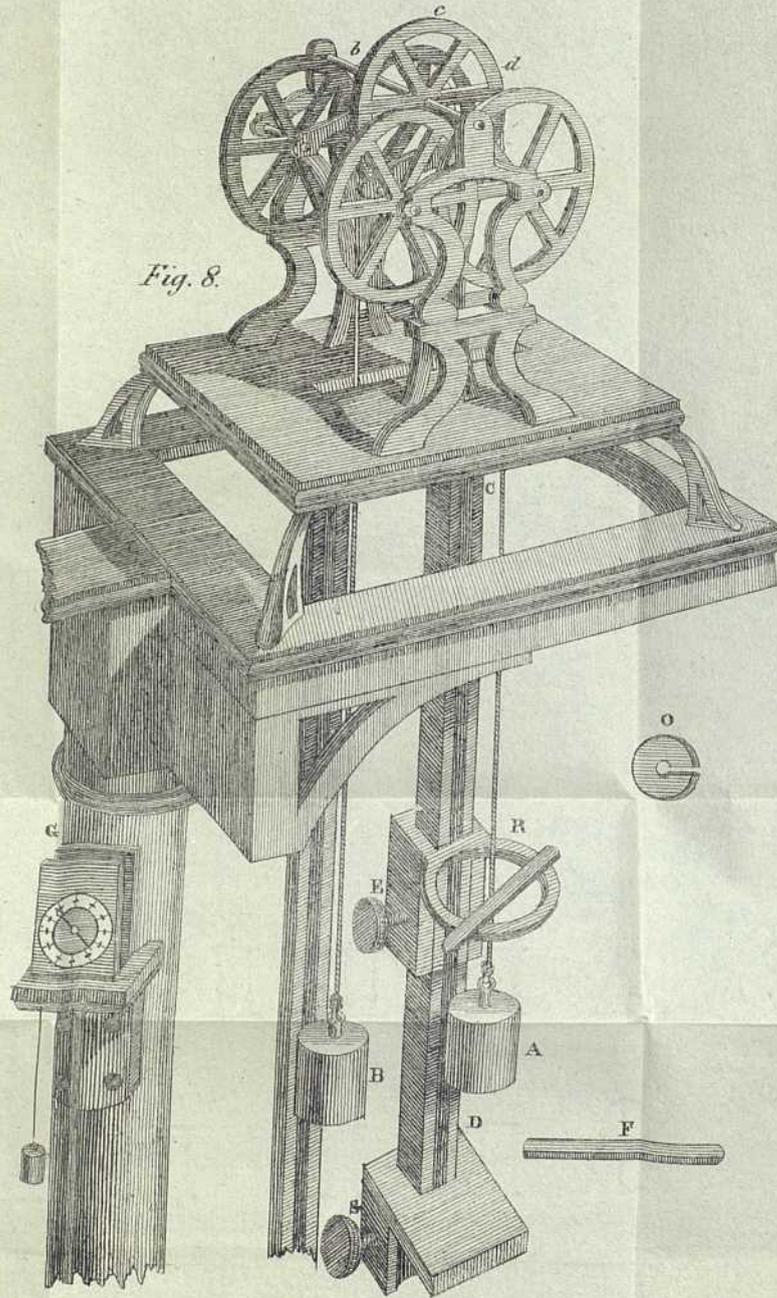
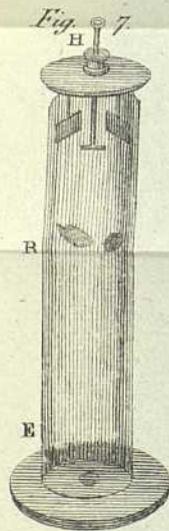
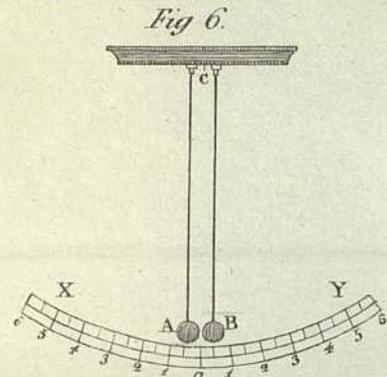
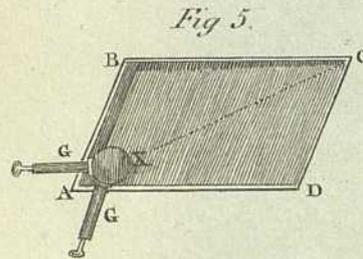
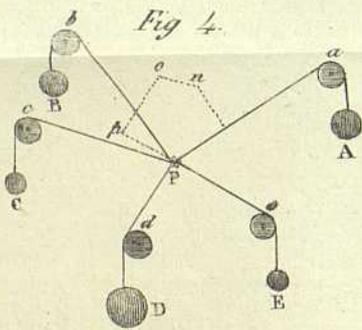
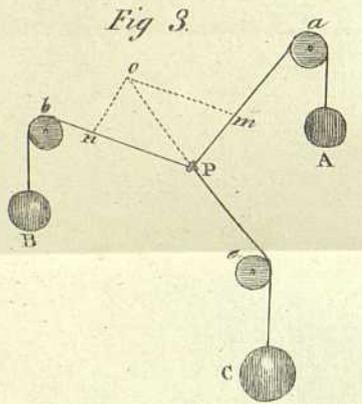
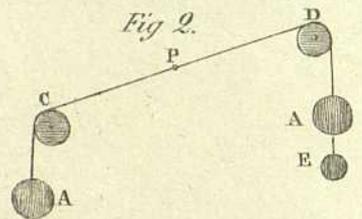
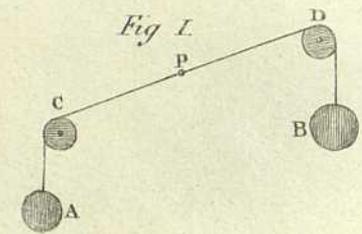


Fig 12.

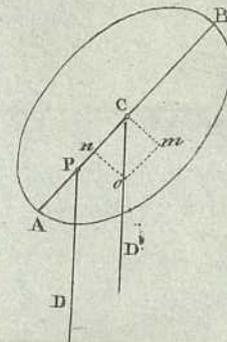


Fig 13.

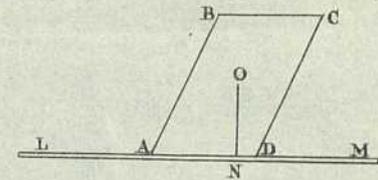


Fig 14.

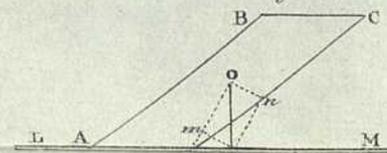


Fig 15.

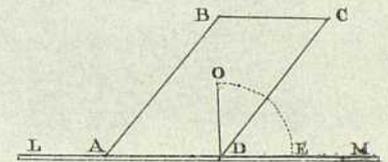


Fig 16.

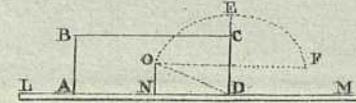


Fig 17.

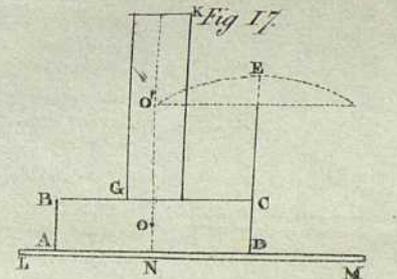


Fig 10.

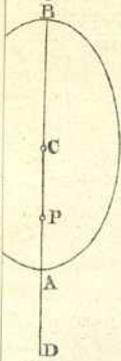


Fig 11.

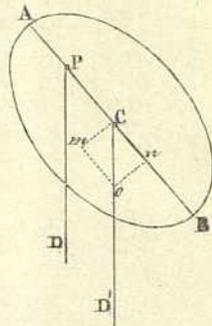


Fig 13.

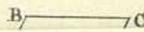
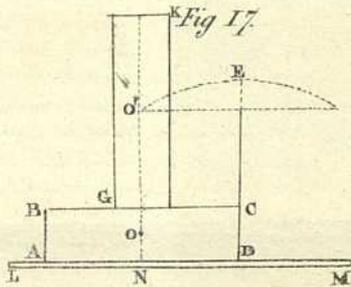
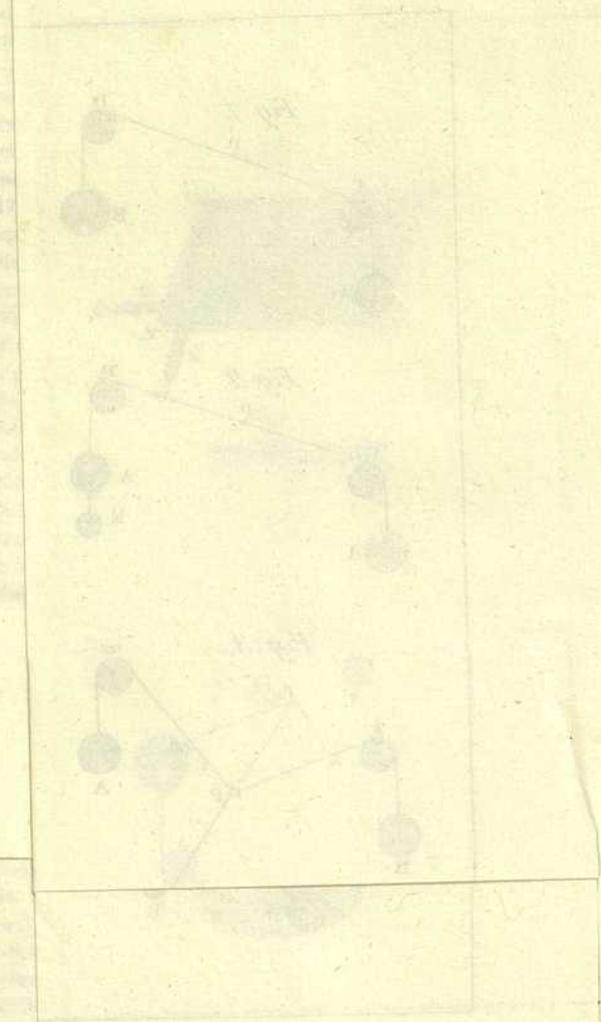


Fig 17.





que todo

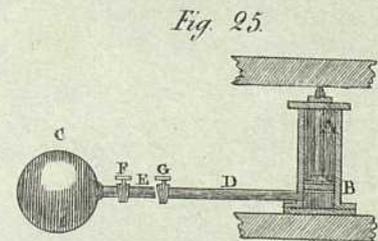
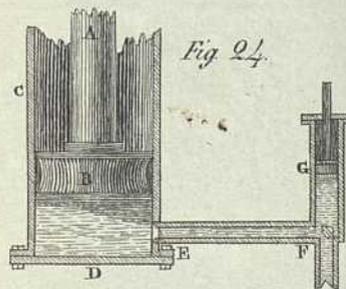
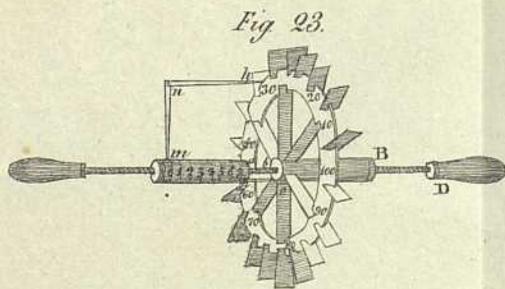
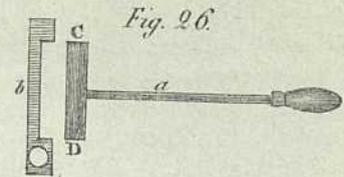
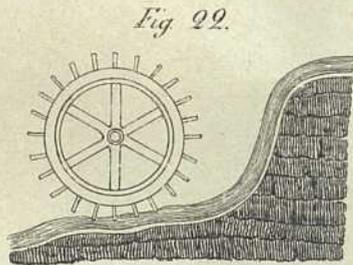
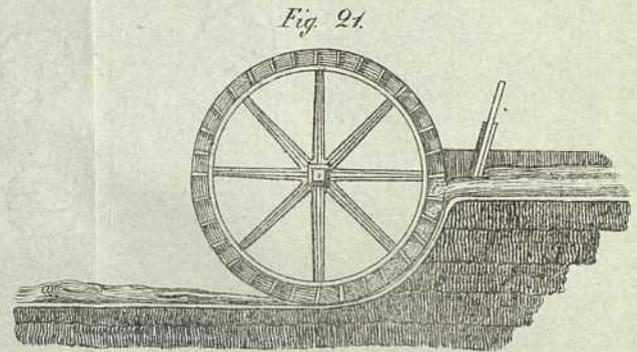
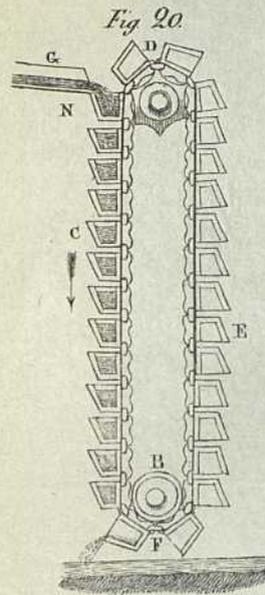
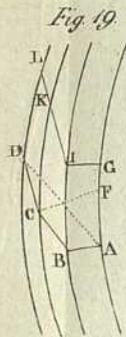
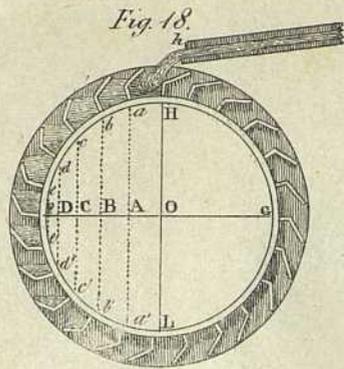


Fig. 21.

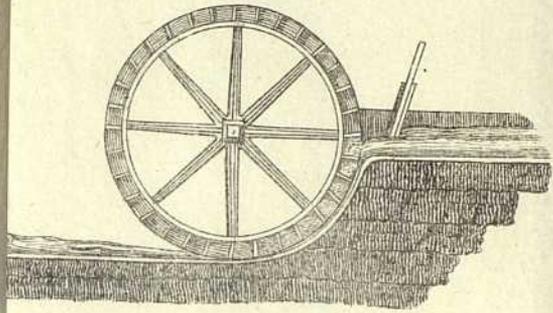


Fig. 26.

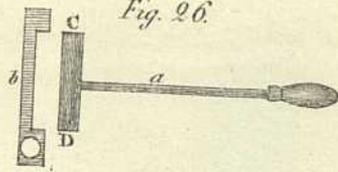
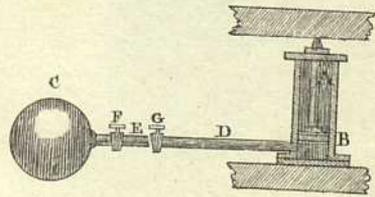


Fig. 25.



MECÁNICA. 2.

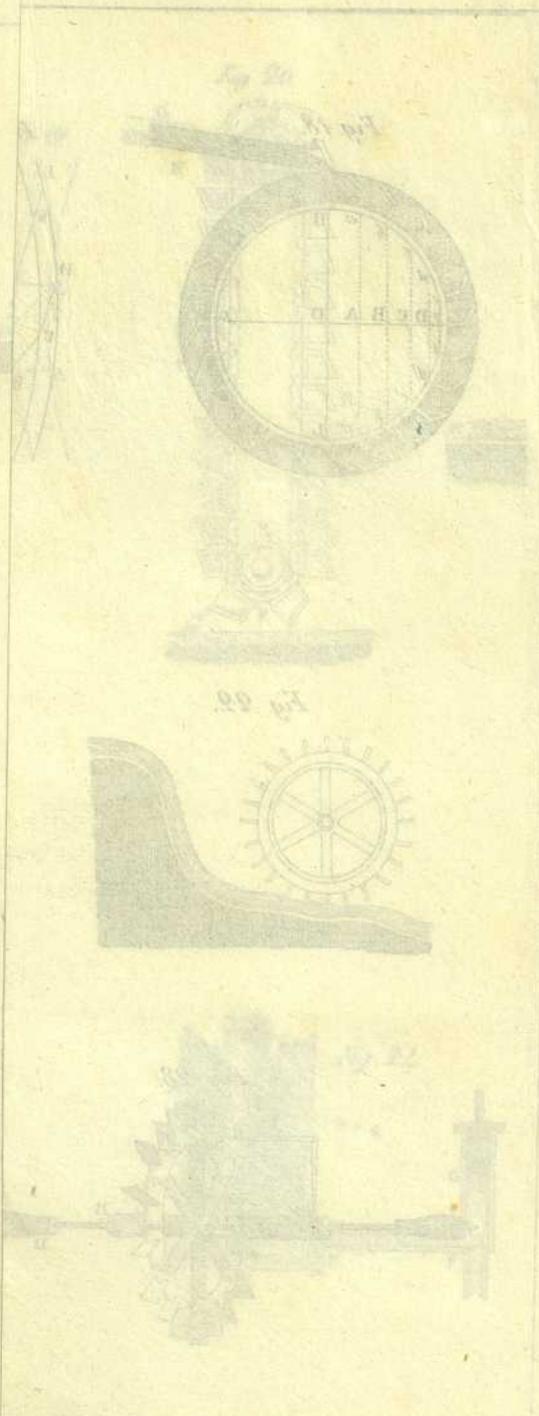


Fig. 20

Fig. 21

Fig. 22

Fig. 23

Fig. 24

PLAN DE LOS TRATADOS

QUE FORMARAN EL COMPLETO DE LA OBRA.

Los extra tratados llevan esta señal. *

- MATEMATICAS.** Aritmética y Algebra. Geometría plana y sólida. Aplicación del Algebra á la Geometría. Trigonometría plana y esférica. Secciones cónicas. Cálculo diferencial é integral. Agrimensura.
- GEOGRAFIA.** Geografía matemática. Idem física.
- ASTRONOMIA.** Astronomía matemática: Idem física. Observatorios.* Instrumentos astronómicos.* Náutica. Gnomónica. ó relojería sideral.*
- ARQUITECTURA.** Arquitectura civil. Idem hidráulica.
- FISICA.** Mecánica, tres cuadernos. Idem del cuerpo animal.* Máquinas de vapor.* Hidrostática. Hidráulica. Neumática. Luminico y Optica, dos cuadernos. Instrumentos ópticos.* Calórico, dos cuadernos. Termómetros. Electricidad. Galvanismo. Magnetismo. Meteorología.
- QUIMICA.** Objetos de esta ciencia, cuatro cuadernos. Aparatos y procedimientos. Funciones químicas en el cuerpo animal.* Idem en el vegetal.* Pintados.* Blanqueo.* Tentativas.*
- GEOLOGIA.** Geología, dos cuadernos.
- MINERALOGIA.** Mineralogía.
- BOTANICA.** Estructura de las plantas. Familias de las plantas. Enfermedades de las plantas. Geografía de las plantas. Arreglo de las plantas. Uso de las plantas.
- AGRICULTURA.** Principios generales de agricultura. Edificios y maquinaria agrícola. Dirección de una casa de labranza. Alimentos del ganado. Modo de aventajarlo. Enfermedades que padece.
- FILOSOFIA MORAL.** Principios del conocimiento humano. De las ideas y del discurso. Del language y gramática. Del juicio. y de la razon. Economía política.

PUNTOS DE SUSCRIPCION :

BARCELONA, Bergnes y Comp., Editor é Impresor, calle de Escudellers, N^o 13.

Madrid, Razola; *Valencia*, Mallen y Berard; *Zaragoza*, Yagüe; *Alicante*, Carratella; *Murcia*, Benedicto; *Santander*, Otero; *Málaga*, Martínez y Aguilar; *Leon*, Delgado; *Soria*, Perez Rioja; *Sevilla*, Caro; *Badajoz*, Carrillo; *Toledo*, Hernandez; *Coruña*, Calvete; *Tarragona*, Verdaguer; *Rous*, Angelon; *Lérida*, Corominas; *Tortosa*, Puigrubi; *Gerona*, Oliva; *Cervera*, Casanovas; *Oviedo*, Longoria; *Salamanca*, Reyes; *Burgos*, Villanueva; *Pamplona*, Erasun; *Córdoba*, Berart; *Cádiz*, Hortal y Comp. *Plasencia*, Pis; *Santiago*, Rey Romero; *Lugo*, Pujol; *Puerto de Sta. Maria*, Nuñez; *Bilbao*, García; *Valladolid*, Pastor; *Palma*, Guasp; *Granada*, Vallejo.