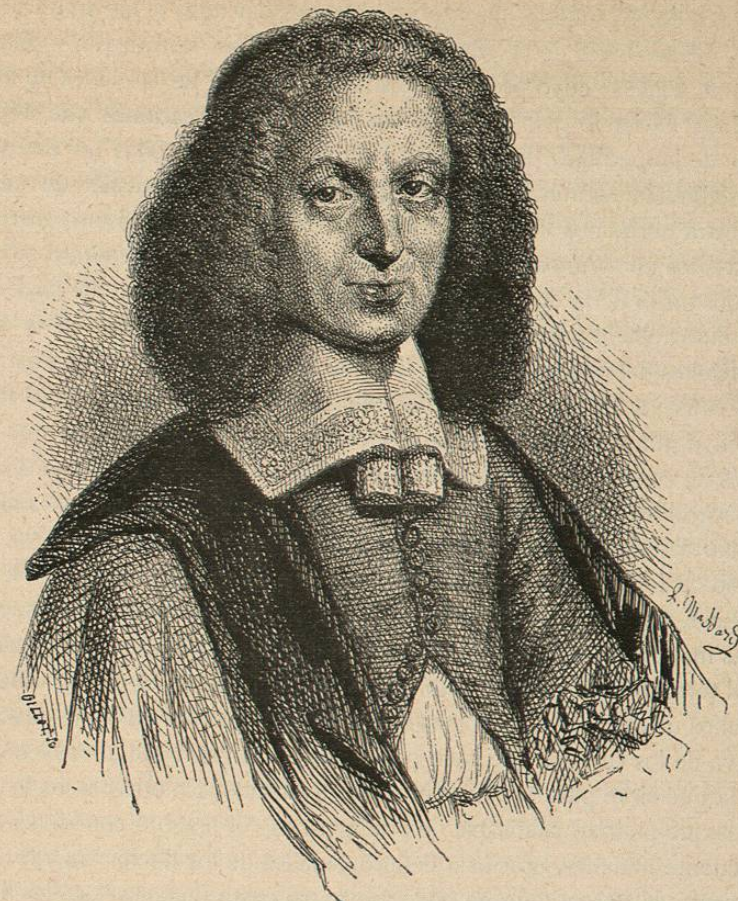


tran á los buques por el exceso de la fuerza viva de su flujo sobre la de su reflujó; de sus impulsos y de sus reacciones resulta un exceso de fuerza en el sentido de la propagación de las ondas que, comunicándose á las moléculas de los cuerpos resistentes, los empujan unos hacia otros. Las ondas se cruzan en todas direcciones en el seno del éter, y dos moléculas ó dos cuerpos que á alguna distancia reciban los choques de unas y otras, actúan mutuamente como pantallas que absorben los impulsos, resultando de aquí para dichos cuerpos una tendencia á acercarse, que sería la gravitación. Los señores Kéller opinan que de esta hipótesis podría deducirse la ley de la atracción inversa del cuadrado de las distancias y proporcional á las masas, es decir, al número de moléculas.

Más adelante ha propuesto M. Leray una hipótesis análoga, y M. Lecoq de Boisbaudrán la ha propuesto también, aunque en forma algo distinta. El primero atribuye la gravitación á la acción de las corrientes de encontradas direcciones que atraviesan el éter y que se debilitan al encontrar un cuerpo ó quedan absorbidas en él. El segundo, como los señores Kéller, parte del principio de las vibraciones longitudinales del éter.

Para unos y otros, la fuerza viva absorbida es la causa de las vibraciones interiores que producen el calor y la luz.

Nos limitaremos á este incompleto resumen de hipótesis que nos han parecido interesantes, pero que, no habiendo salido aún del terreno de las conjeturas, no han podido contar todavía con la adhesión de los hombres de ciencia. Recordaremos que Lamé, prediciendo con la autoridad de su alta competencia el papel que habría de desempeñar en las teorías científicas el fluido etéreo, "segunda especie de materia, decía, infinitamente más extendida,, hacía sus reservas sobre la legitimidad de las tentativas que no dejarían de practicarse en este concepto. "Hace mucho tiempo que he llegado á deducir dos conclusiones nuevas: primera, que la ciencia futura reconocerá en el éter el verdadero *rey* de la naturaleza física; segunda, que si se le quisiera coronar desde luego, se retardaría infinitamente su sólida instalación.,,



HUYGENS

SEGUNDA PARTE

APLICACIONES DE LA GRAVEDAD Á LAS CIENCIAS,
Á LA INDUSTRIA Y Á LAS ARTES

No hay trabajo humano de cuantos tienen la materia por objeto en el que no entre el peso de los cuerpos como elemento, ya se presenten éstos en estado sólido, en el líquido ó en el de vapor ó gas, siendo por tanto preciso tener en cuenta los efectos de la gravedad y calcularlos, cosa tan indispensable respecto del movimiento como respecto del equilibrio. Así pues, podríamos considerar justamente las construcciones fijas, como monumentos, edificios públicos ó privados, casas, puentes, acueductos; las construcciones móviles de las vías de transporte terrestres, fluviales y marítimas; las máquinas, aparatos, artefactos y herramientas de todas clases; podríamos considerar todo esto, repetimos, desde el punto de vista del equilibrio ó de la estabilidad y del movimiento, como

otras tantas aplicaciones de la física y sobre todo como aplicaciones de los fenómenos y de las leyes de la gravedad.

Pero fácilmente se comprenderá que tan vasto plan no es en modo alguno el que nos hemos trazado. El sentido que nos proponemos dar aquí á las aplicaciones de los fenómenos y de las leyes de la gravedad es mucho más restringido: y solamente nos ocuparemos de aquellas cuyo principio mismo está sacado de las leyes de los fenómenos en cuestión, haciendo caso omiso de las numerosas aplicaciones que dependen exclusivamente de la mecánica. Esta observación es aplicable á todas las categorías de la física; pero refiriéndonos únicamente á la gravedad, objeto particular de esta segunda parte de nuestra obra, nos concretaremos á describir las aplicaciones, instrumentos ó máquinas basados en algunos de los fenómenos ó leyes de la gravedad, como, por ejemplo, en la constancia de la dirección de esta fuerza en la superficie de la Tierra, en la fuerza viva desarrollada por un cuerpo que cae desde cierta altura, en el isocronismo de las oscilaciones del péndulo, en la presión de la atmósfera, etc. Y aun así y todo, habremos de ceñirnos á tratar de aquellas aplicaciones que tienen mayor importancia práctica, y cuya utilidad social es más positiva, ó también de aquellas que despiertan cierto interés de curiosidad y ponen mejor en evidencia las verdades científicas. Varias de estas aplicaciones se conocen desde la más remota antigüedad: otras son de invención moderna. Enumeraremos rápidamente las más importantes.

Si el peso de los cuerpos es á menudo, en cuanto al trabajo, un obstáculo que se requiere vencer, también nos sirve de útil auxiliar, del cual hacen un uso continuo y necesario las máquinas de toda clase; mas, con respecto á este punto, volvemos á colocarnos en el terreno de la mecánica aplicada más bien que en el de la física, por lo cual sólo trataremos de las aplicaciones más sorprendentes de esta clase, de aquellas en que la fuerza viva de los cuerpos que caen por efecto de la gravedad, más bien que el peso muerto, es la que sirve para producir el efecto apetecido. En otros casos lo que da origen á efectos que podrían calificarse de prodigiosos es el juego ó combinación de acciones relativamente mínimas, gracias á las propiedades de los fluidos: la *prensa hidráulica*, ese invento de Pascal, que no pudo realizarse hasta un siglo después de su muerte, nos presenta la fuerza muscular de un hombre centuplicada por la poderosa máquina que aplasta y tritura las materias más resistentes y levanta á grandes alturas pesos enormes: movida por el vapor, coloca á treinta ó cuarenta metros de elevación el gigantesco tubo de hierro laminado por el cual cruzan un brazo de mar las locomotoras y cuyo peso no baja de dos millones de kilogramos.

¿Qué nueva invención ha permitido emprender y llevar á cabo la grandiosa obra de la perforación subterránea de los Alpes, bajo el desfiladero de Frejus, obra que se ha repetido con éxito en el San Gotardo y de la cual se estudia hoy una nueva aplicación en el monte Blanco ó en el Simplón? El uso del aire comprimido por un salto de agua que cae en unos recipientes, de los cuales es impelido á las profundidades del túnel en construcción. La fuerza de la gravedad, transformada de tal suerte, pone en movimiento los taladros que atacan y deshacen la roca, y luego, cuando la pólvora ha terminado la obra, el aire nuevo reemplaza á la atmósfera viciada y ahumada de la comenzada galería. Allí donde se hubieran frustrado los esfuerzos del vapor, triunfa la compresión mecánica del aire, obtenida por un golpe de agua, es decir, la gravedad.

También es el aire comprimido el que hace posibles la construcción y fundación rápidas de los estribos de los puentes tendidos sobre los brazos de mar ó los ríos; el que en ciertas líneas subterráneas de ferrocarril lanza los trenes de un extremo á otro de un

túnel como la bala disparada con una cerbatana; el que transmite los despachos de una estación telegráfica á la estación central, innovación que se ha adaptado con feliz éxito á la distribución de la hora. El vacío hecho con una poderosa máquina neumática en una de las caras de un émbolo movable en un tubo, deja al aire situado en la otra cara la fuerza expansiva necesaria para arrastrar grandes pesos; este procedimiento, contrario al de la aplicación del aire comprimido, se ha adoptado también en el servicio de los despachos telegráficos ó postales, y en Francia se le ha visto servir de motor para el tren que subía la cuesta del Pecq á San Germán, cerca de París.

Un principio físico relacionado con la gravedad y cuyo descubrimiento se remonta á una apartada antigüedad—pues lleva el nombre del grande hombre que lo ha descubierto, de Arquímedes,—se aplicó á fines del siglo pasado á la ascensión de los globos á las alturas de la atmósfera. El arte del aeronauta, perfeccionado sobre manera, se ha popularizado hoy, y los globos surcan ya todos los años las regiones aéreas, dándonos á conocer muchas de sus curiosas particularidades, y siendo de esperar que, puestos en manos de observadores inteligentes, acaben por revelarnos todos los misterios de la atmósfera. La meteorología, tan poco adelantada aún, no puede dejar de sacar partido de ellos. Por otra parte, durante la guerra franco-prusiana se han enviado globos, á modo de mensajeros, desde el seno de París á todos los puntos de Francia, llevando en sus frágiles barquillas noticias de la población sitiada á los ausentes. Tal vez llegue un día en que se resolverá parcialmente el problema de la dirección de esos barcos aéreos, ya con su forma actual ó ya con otra nueva, en que podrán aguantar el viento ó hender el aire como los buques de vapor hienden el mar: entonces, en lugar de experimentos curiosos ó exclusivamente científicos, como los que se pueden hacer con los globos actuales, presenciaremos verdaderos viajes aéreos, expediciones regulares capaces de suministrar explicaciones útiles.

Por lo demás, no debe olvidarse que las aplicaciones científicas á la industria y á las artes y las invenciones que tienen por objeto la ciencia misma se confunden á menudo en la historia: el descubrimiento de tal ó cual ley física ha sido la consecuencia de una investigación puramente empírica, que al principio tuvo por único objeto el perfeccionamiento de un oficio, de un procedimiento industrial; en cambio, tal invento, de gran importancia industrial, ha sido deducido poco á poco de la demostración experimental ó práctica de una verdad del orden más abstracto: doble circunstancia en la cual nos parece oportuno insistir, porque tiene á nuestros ojos verdadera importancia filosófica. Parécenos, en efecto, á propósito para que nuestros lectores se pongan en guardia contra dos tendencias opuestas, igualmente enojosas: una propia de las personas que, enfatuadas con su saber técnico ó con su habilidad práctica, desdeñan la teoría y la ciencia pura; otra, más peculiar de ciertos sabios que se creen profundos filósofos, los induce á menospreciar los conocimientos adquiridos por los prácticos en su industria ó profesión, conocimientos que á menudo son reales y positivos, aunque no razonados, y á los que no se debe confundir con la rutina.

Hechas de una vez para siempre estas observaciones preliminares, entremos en materia.

CAPÍTULO PRIMERO

DIRECCIÓN DE LA GRAVEDAD.—CAÍDA DE LOS CUERPOS.—OSCILACIONES DEL PÉNDULO

I

PLOMADA

En las artes, y sobre todo en las de la construcción, se necesita á cada momento trazar líneas ó planos en dirección de la vertical ó en una dirección horizontal, es decir, perpendicular á la primera; ó si dichas líneas y planos están trazados, es preciso cerciorarse de su verticalidad ó de su horizontalidad rigurosas.

Hácese esto con unos instrumentos llamados *plomada* y *nivel*, basados ambos en el hecho de que un hilo estirado por un cuerpo pesado toma cuando está en reposo la dirección precisa de la vertical del lugar en que se encuentra.

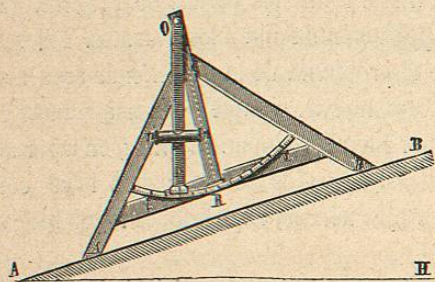


Fig. 138.—Nivel de perpendicular de Delambre para las operaciones de geodesia

Todo el mundo conoce la plomada de que hacen uso los albañiles, y que consiste en un cordel del que pende una pesa cilíndrica de metal.

Una placa cuadrada, también de metal y de las dimensiones del diámetro del cilindro, corre por el cordel merced á un agujero que aquélla tiene en su centro, y se aplica contra la pared cuya verticalidad

se desea reconocer. Cuando el cilindro queda en reposo debe rasar con la superficie de la pared, sin apoyarse en ella ni dejar entre ésta y él intervalo alguno perceptible.

Para el propio objeto sirve una regla de bordes ó cantos laterales perfectamente paralelos en medio de la cual está trazada una recta, llamada *línea de fe*. Aplicase uno de los cantos contra la línea ó plano que se ha de reconocer, y es preciso que el hilo sujeto en el extremo de dicha recta y teso por una masa pesada coincida en su posición de equilibrio con la *línea de fe* de la regla. Para que la prueba sea completa, se da vuelta á la regla y se hace la misma comprobación por el canto contrario.

Otra clase de niveles usan los albañiles, los llamados *triángulos niveladores*, tan conocidos de todo el mundo que juzgamos ocioso describirlos.

En geodesia se emplea el *nivel de perpendicular* (nombre que se da al instrumento representado en la figura 138) convenientemente perfeccionado para medir el ángulo de inclinación de una recta. En él está sustituida la plomada por una regla suspendida en el punto O y cuya extremidad inferior lleva un nonio ó vernier. Merced á un limbo graduado se conoce el valor del ángulo POR formado por la regla y por la línea de fe. Se puede, pues, averiguar la inclinación de la recta AB sobre el horizonte AH, por cuanto POR es igual al ángulo BAH, puesto que los lados de dichos ángulos son perpendiculares entre sí dos á dos.

II

MOTONES Y CABRIAS

Delambre se sirvió del nivel de perpendicular así perfeccionado en las operaciones que dirigió para medir el meridiano, con el objeto de valuar las inclinaciones al horizonte de las reglas empleadas para medir sus bases.

Más adelante hablaremos del *nivel de agua* y del de *aire*, fundados, el uno en el equilibrio de un líquido en vasos comunicantes, y el otro en el de los fluidos de desigual densidad.

Sabemos que una masa pesada que cae desde cierta altura se mueve con una velocidad creciente, cuyo cuadrado es proporcional á la altura del punto de partida. El trabajo ó efecto mecánico así desarrollado por la acción de la gravedad, y que se conoce multiplicando la masa por el cuadrado de la velocidad ó por la altura, se utiliza para hincar las estacas ó postes que sirven de cimientos á las pilas de puentes y á otras grandes obras hidráulicas. Dase el nombre de *cabrias* á las máquinas que sirven para elevar, guiar, dejar caer sobre los postes grandes masas de madera ó hierro, las cuales llevan á su vez el de *motones* ó *mazas*.

La *cabria de grüpa de palanca* y la *cabria de mordaza* están representadas en el grabado de la página 211. Difieren una de otra en que en la primera la maniobra de los motones, ya sea para elevar su masa ó bien para dejarla caer y que corra entre las dos piezas llamadas *gemelos*, la efectúan varios obreros que tiran individualmente de otras tantas cuerdas.

En la segunda bastan uno ó dos obreros para manejar una cabria de engranajes que levanta el motón ó maza á la altura deseada. Al llegar á este punto, la masa que estaba retenida durante su elevación por los dos brazos de una mordaza, queda libre y vuelve á caer sobre la cabeza del poste.

Fácilmente se comprenderá el mecanismo merced al cual queda en libertad el motón, echando una ojeada á la figura 139, que da el detalle de la mordaza. Dos fuertes pinzas, metidas en la anilla que remata el motón por su parte superior, están sujetas por un muelle durante la subida del peso; pero cuando éste llega al fin de su carrera ascendente, los brazos superiores de las pinzas penetran en una abertura que se va estrechando á modo de cono, se juntan progresivamente, y en virtud de un movimiento contrario los dos brazos inferiores se abren, se separan del anillo y sueltan el motón.

Por lo común se da principio al trabajo con la cabria de palanca, que tiene en su ventaja su mayor sencillez y la rapidez en su manejo, pero con la que no se puede elevar el motón sino á escasa altura, esto es, á un metro ó 1^m,20. Cuando las estacas, introducidas ya á cierta profundidad, ceden difícilmente á los golpes del motón, entonces se hace uso de la cabria de mordaza para concluir el trabajo, pudiéndose elevar la masa con ellas á una altura que varía entre 2^m,5 y 5 ó 6 metros; por consiguiente, es mucho más considerable el efecto útil, que depende de la altura de la caída.

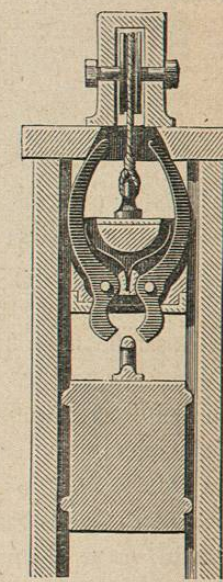


Fig. 139.—Detalle del mecanismo de los motones de mordaza.

El peso del motón varía entre 300 y 600 kilogramos, y el número de hombres necesarios para manejar las cabrias de mordaza asciende á unos 40. Hace poco tiempo se ha aplicado el vapor á estos aparatos; como se ve en el siguiente grabado, es una locomóvil la que en tal caso pone en movimiento el mecanismo de la cabria.

El *martinete*, especie de motón empleado en los trabajos de las fundiciones de hierro, es una aplicación de la gravedad análoga á las cabrias. Aquí nos limitaremos á mencionarlo, proponiéndonos describirlo en los capítulos consagrados al vapor, pues ahora sólo debemos tener en cuenta la aplicación importante de la fuerza viva desarrollada por una masa pesada en su caída, por la sola acción de la gravedad.

Observemos para terminar que no se utiliza toda esta fuerza en el choque para producir el efecto apetecido, que es el hundimiento de los postes ó estacas, sino que una parte se transforma en calor, es decir, en un movimiento molecular íntimo de las dos masas que chocan una con otra, el motón por una parte y por otra la cabeza del poste y el aro ó fleje de hierro que la refuerza para que resista el esfuerzo ó empuje lateral, capaz de hacer astillas, á no ser por él, la estaca ó poste en cuestión.

III

EL PÉNDULO REGULADOR DE LOS RELOJES Ó SIMPLEMENTE PÉNDOLA

Después que Galileo hubo descubierto la propiedad que tienen las oscilaciones del péndulo de ser marcadamente isócronas cuando su amplitud es muy pequeña, pensó en utilizar tan preciosa propiedad para medir con exactitud el número de pulsaciones arteriales, y según se asegura, inventó el instrumento á que dió el nombre de *pulsilogo*, y que es simplemente un péndulo.

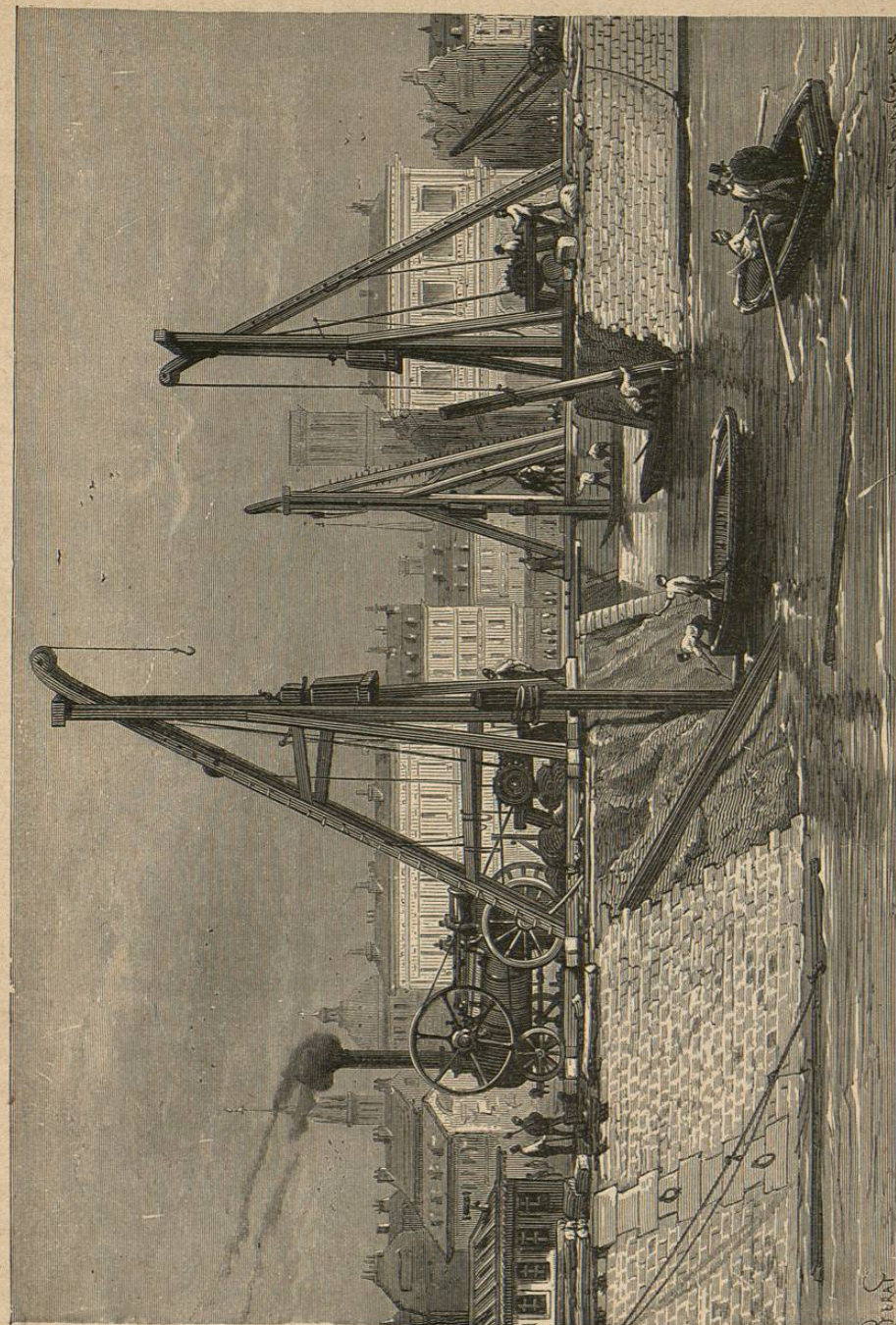
Pero lo que parece indudable es que Huygens fué el primer inventor de la aplicación del isocronismo del péndulo á la relojería (1656). Tres siglos y medio hacía próximamente que se había extendido el uso de los relojes de ruedas dentadas; pero eran todavía unas máquinas muy imperfectas, por falta de un regulador constante del movimiento de sus órganos. He aquí cómo Huygens resolvió el problema.

Sábese que el motor de los aparatos de relojería es unas veces una pesa que, al bajar por efecto de la gravedad, desenrolla la cuerda de la cual está suspendida, haciendo de este modo dar continuas vueltas al eje de una rueda dentada; otras veces es un muelle de acero que se distiende poco á poco y cuya acción regulariza un mecanismo especial casi de un modo uniforme; al distenderse dicho muelle pone también en continuo movimiento la rueda dentada que lo transmite á las demás ruedas del instrumento.

Tanto en un caso como en otro la principal dificultad estribaba en establecer un movimiento perfectamente regular y uniforme, á pesar de todas las causas de alteración y de las resistencias variables opuestas por el juego de un número bastante considerable de piezas.

Se ha allanado esta dificultad de diversos modos, transformando el movimiento continuo, comunicado á las ruedas por el motor, en un movimiento oscilatorio ó periódico por medio del regulador. El regulador de relojes más sencillo á la vez que el más exacto es el péndulo. Veamos cómo ideó y realizó Huygens su aplicación.

R es una rueda dentada, de dientes oblicuos (fig. 140), á la cual la pesa motora M del reloj comunica el movimiento, que dicha rueda transmite en seguida al sistema de



CABRIAS Y MOTONES