

CAPITULO VI.

De la Hidrostática.

Origen de
la hidros-
tática.

Archíme-
des.

La hidrostática, y generalmente toda la ciencia del equilibrio y del movimiento de los fluidos, puede considerarse, y es realmente una parte de la mecánica, bien que á veces regulada por algunos principios algo diversos. Nosotros habiendo tratado la mecánica de los sólidos, despacharemos brevemente la de los fluidos, que casi siempre ha seguido el mismo curso. Archímedes es tambien el primer maestro ó creador de la hidrostática, como hemos dicho que lo ha sido de la estática. Gloríase en aquella, como en esta, de muchas máquinas y muchas invenciones; pero su principal gloria consiste en los principios científicos que ha encontrado. Enseña que los sólidos mas pesados puestos sobre un fluido irán al fondo, los de peso igual se sumergirán sin profundarse, y los mas ligeros quedarán sobre el agua, y aun metidos en lo hondo subirán sobre el agua con una fuerza igual al grado de

gravedad con que el sólido es superado del fluido; da las leyes del equilibrio de diversos sólidos engendrados por secciones cónicas mas ligeros que los fluidos en que están sumergidos; y explica los casos, en que estas conoydes quedarán inclinadas, en que se mantendrán rectas, y en que se revolverán y enderezarán de nuevo; y en todo manifiesta aquella sutileza y sublimidad de ingenio que hacen que sea la admiracion de los posteriores; en todo habla con una solidez y profundidad, que, en medio de tantas luces de conocimientos mecánicos y geométricos, poco ó nada han podido añadir en esta parte los modernos. Despues de Archímedes deberemos tambien dar aquí un gran salto hasta los siglos mas inmediatos á nosotros. Porque si bien Eron, Ctesibio y otros griegos, inventaron ingeniosas máquinas hidráulicas y pneumáticas, no enriquecieron la hidrostática con nuevas teorías; y Vitruvio, Frontino y otros latinos, aunque manifestaron conocer las leyes del equilibrio y del movimiento de las aguas, se contentaron con servirse de ellas en la práctica en sus grandiosos aque-

Otros
griegos y
latinos.

ductos, y en otras operaciones, y no se cuidaron de ilustrarlas con sus escritos, ni de acrecentar aquella ciencia con sus invenciones teóricas. Los árabes, mas apasionados á las especulaciones matemáticas, cultivaron con mayor cuidado los estudios hidrostáticos, y solo los títulos de dos obras de Alkindi, que se refieren en la *Biblioteca arábica de los filósofos*, esto es, de las cosas que nadan en el agua, y de las que en ella se sumergen, prueban bastante que no solo atendian á la práctica de sus útiles canales y aqüeductos, sino que tambien se dedicaban á las teorías hidrostáticas. Pero sean los que fuesen sus estudios, no ha llegado á nuestra noticia ningun descubrimiento suyo hidrostático. El primero despues de Archímedes, que haya acarreado algun adelantamiento á esta ciencia, ha sido Stevin, el qual, probablemente dirigido por la misma doctrina de Archímedes, examinó la presion de un fluido sobre el fondo, y sobre los lados del vaso en que está metido, y descubrió la paradoxa de la presion del fluido en los vasos convergentes, que puede ser mucho mayor que el propio peso;

Arabes.

Stevin.

so; y con mas profundas disquisiciones determinó igualmente la presion de los fluidos sobre los lados verticales ó inclinados, y sobre qualquier parte de ellos (a). Archímedes y Stevin, abrieron el camino para introducirse en la hidrostática; pero fueron superados por Galileo, que puede ser tenido por el primer verdadero maestro de aquella ciencia. El reduxo la estática de los fluidos á los mismos principios que la de los sólidos, y con los pesos, y con las velocidades explica el equilibrio de los fluidos entre sí, y de los mismos con los sólidos. Despues no solo abraza y demuestra por nuevos caminos las proposiciones de Archímedes, sino que descubre muchas nuevas y curiosas verdades: deduce el teorema, que la mole de agua que se levanta al sumergir un sólido, ó que baxa al sacarlo, es menor que la mole de dicho sólido sumergido ó sacado, y tiene con esta la misma proporcion que la superficie del agua circunfusa al sólido, tiene á la misma superficie circunfusa juntamente.

Galileo.

(a) *Stevini Hypomnem. Math. tom. III.*

mente con la base del sólido; y así concluye, que un sólido podrá sumergirse todo en el agua sin levantar ni aun la vigésima parte de su mole, y que al contrario una pequeña cantidad de agua podrá sostener un sólido muy grande; refiere muchas importantes curiosidades sobre los fenomenos que acontecerán á los solidos de figuras diversas puestos sobre el agua; y demuestra que no la figura de los sólidos, sino solo su específica gravedad los hará nadar ó sumergirse. De la teoría de los sólidos sumergidos en los fluidos, y de la parte del peso que pierden en ellos, antes que, como pensó Vitruvio (a), de la mole de agua sacada por el sólido sumergido, debió deducir Archîmedes la verdadera cantidad de oro, y de plata, de la corona del rey Jeron; y de la misma teoría tomó Galileo argumento para formar su balanza hidrostática, en la qual poniendo en un brazo un peso dexado al ayre, y en el otro brazo puesto otro sólido de igual peso sumergido en un fluido, por la parte de peso que

(a) Lib. IX, c. III.

este perderá, podrá deducirse su específica gravedad: y esta balanza de Galileo ha sido la madre de las de Castelli, y de Viviani, y de tantas otras balanzas hidrostáticas, que despues con tanto fruto han servido para exâminar los pesos, no solo de los sólidos, sino mucho mas de los líquidos. Así que Galileo, con tantas y tan claras luces sobre el equilibrio de los fluidos, puede justamente ser llamado el primer verdadero maestro de la hidrostática. ¿Pero que no hubiera podido esperar de él la hidráulica, y quantas luces no hubiera acarreado al movimiento de los fluidos, si hubiese dexado escrito quanto sobre esta materia habia meditado, y tenia intencion de exponer al público? Solo la carta sobre el rio Bisencio nos enseña algunas verdades sobre dos canales de igual pendiente, pero de diversa longitud, el uno tortuoso, el otro recto, y sobre la velocidad del agua en tales canales, y en las variaciones de direccion; y habla con tal dominio y maestría de la materia, que manifiesta saber mucho mas de lo que escribia, y haberse internado no menos en la hidráulica, que en la hidrostática. No

solo ayudó Galileo á estas ciencias con su propio estudio, sinó que tal vez les acarreo aun mayores ventajas con lo mucho que excitó á sus discípulos á cultivarlas con provecho: Castelli, Torricelli, Viviani, Cavalieri y otros eruditos concedores del movimiento y del equilibrio del agua sa-

Castelli. lieron de la escuela de Galileo. A Castelli debemos un nuevo ramo de hidráulica con la teoría que introduxo de la medida del agua corriente, en la qual nos enseñó á calcular la disminucion del volumen producido por la velocidad, no observada por los demas. Torricelli abrió tambien un nuevo campo á esta ciencia, buscó el movimiento y la velocidad, por decirlo así, *virtual* de un fluido aun no conocida, y la determinó fixando, que no solo un fluido corriente tendrá, como el sólido, una velocidad correspondiente á la altura de donde desciende, sino que el fluido encerrado en un vaso, saliendo por un agujero hecho en dicho vaso, tendrá una velocidad igual á la de un sólido que descendiese de la altura del nivel del fluido; y que el agua saliendo por una fuente saldrá siempre, quitados los im-

pedimentos, á una altura igual al nivel de la del depósito. Aun ayudó mas Torricelli á la hidrostática, y á toda la física con la celebradísima invencion del barómetro. Galileo habia observado que el agua en el tubo, y generalmente en el vacuo, asciende treinta y dos pies y no mas: quiso probar Torricelli si esta observacion se verificaba á proporcion en los demas fluidos, y halló en efecto que el mercurio, cerca de 14 veces mas pesado que el agua, no ascendia mas que á 27 ó 28 pulgadas, y reflexionando sobre la causa de este fenómeno, encontró que la columna de ayre atmosférico, que está sobre el mercurio del reservatorio del barómetro, es la que hace elevar en el cañon al mercurio hasta ponerse en equilibrio. Este descubrimiento de Torricelli fué despues incontrastablemente confirmado por Pascal, el qual con las conocidas experiencias del Monte Puy-de-Dôme y de la torre de Santiago de París, probó que quanto mas alto se sube, y por consiguiente es mas pequeña la columna del ayre atmosférico, que oprime al mercurio en el vaso del barómetro, tanto menos

asciende el mercurio en el tubo. De aquí han pasado los físicos á medir con el barómetro la altura de la atmósfera, aunque no hayan llegado á determinarla con precisión, y pueden con el mismo fixar con bastante exáctitud la altura de las montañas, conocer las variaciones de la atmósfera, y hacer varios usos muy útiles á las ciencias y á la sociedad; y todo esto hace mas y mas gloriosa y útil la invencion de Torricelli. Viviani, Michellini, Boreli y toda la Academia del Cimento, con descubrimientos, con experiencias y con tratados, han ilustrado mucho la materia de las aguas; y la hidrostática conoce deber á Galileo y á su escuela, á la Toscana y á toda la Italia sus casi primeras y mejores luces.

Los franceses.

Sin embargo, no estaba reducida á la Italia la cultura de la hidrostática: á la Francia debe igualmente mucho esta ciencia. Dexo aparte las varias especulaciones sobre los fluidos, de que trató Cartesio acá y acullá en sus obras, y en las quales, aunque tocadas solo de paso, esparció, como en todos los demas puntos, conocimientos no poco útiles. Dexo los fenó-

me-

menos hidráulicos de Merseno, aunque en ellos se leen experiencias no poco útiles. Pero Pascal y Mariotte tienen ciertamente todo derecho para ser colocados entre los primeros maestros de aquella ciencia. Pascal, autor de las sobredichas experiencias barométricas, lo fué tambien del primer tratado, donde se demuestran con exáctitud geométrica algunas propiedades del equilibrio de los fluidos (a). Mas adelante pasó Mariotte, y ha merecido mas el estudio de los posteriores hidrostáticos. Los primeros italianos solo habian tomado algunos puntos particulares por objeto de sus investigaciones, y si bien les aplicaron gran sutileza de ingenio, y exáctitud de observaciones, pero faltos de oportunos instrumentos para las correspondientes experiencias, y sin los auxilios de las luces de los anteriores geométricos, como suele suceder á los primeros ilustradores de qualquier ciencia, no hicieron mas que ensayar las materias, disipar las tinieblas, esparcir algunas luces,

Pascal.

Mariotte.

(a) *Traité de l'équil. des liq.*

y abrir á otros el camino para establecer la verdad. Mariotte, auxiliado de los principios, y de los hallazgos de los hidrostáticos anteriores, con las luces de la geometría, y con el subsidio de los instrumentos, pudo con repetidas ingeniosas experiencias, y con justos raciocinios establecer sólidas teorías sobre el equilibrio, y sobre el movimiento de las aguas, fixar las velocidades en alturas diversas, y de aquí pasar á determinar la cantidad que sale de un vaso, ó corre por un canal, y nos dexó en esta parte un cuerpo de doctrina bastante completo, y una obra clásica y magistral. Varignon, Parent, Pitot y varios otros franceses trataron acá un punto, acullá otro, é ilustraron de varios modos la hidrostática práctica y teórica. Parecía sin embargo que debía quedar para la Italia la gloria de descubrir con mas acierto los pasos de las aguas: la Italia, que tanto provecho, y tambien tanto daño recibe de las aguas, tenia obligacion y necesidad de observar atentamente los movimientos de las mismas, y fixar sus leyes con exâctitud. Las disputas entre las provincias y potencias con-

Otros italianos.

confinantes, para desfrutar el goce de las aguas, y para evitar sus daños, obligaban á los mas famosos geómetras á estudiar con atencion estas materias, y á veces producian útiles y gloriosos descubrimientos. Montanari, mas conocido por otras observaciones, se adquirió tambien buen nombre por el estudio y las observaciones de las aguas, particularmente de aquellas que pertenecen á la laguna de Venecia. El gran Cassini, en medio de sus especulaciones celestes, fué tambien destinado á examinar las aguas, y contempló sus canales, y sus movimientos con el mismo empeño, y con la misma exâctitud con que estaba acostumbrado á mirar las orbitas y los movimientos de los planetas, y la constitucion de los cielos. Pero Cassini, lleno ya de gloria por sus teorías sobre las estrellas, dexó para otros la de darlas sobre los fluidos. Guglielmini fué el verdadero director de las aguas, midió las corrientes, exâminó la naturaleza de los rios, y fué por decirlo así el Cassini de las aguas. Castelli habia dado principio á la medida de las aguas corrientes, y habia calculado su velocidad no contemplada por

Montanari.

Cassini.

Guglielmini.

por otros; pero no habia pasado á exâ-
 minar las diferencias de las velocidades,
 diversas en la superficie, en el medio y en
 el fondo: Guglielmini la ha exâminado
 en todas sus diversas situaciones, y con
 repetidas experiencias, y con físicos y
 geométricos racionios, ha establecido sus
 leyes para la medida de las aguas corrien-
 tes, y ha formado una ciencia de la hidro-
 metría. Mas originales han sido sus espe-
 culaciones sobre la naturaleza de los rios;
 y su obra sobre esta materia ha sido lla-
 mada por Manfredi (a), no solo original,
 sino única en su género, y en la qual se
 enseña no una ciencia, sino dos, una acer-
 ca de las aguas, y otra acerca de los cau-
 ces de los rios. La ciencia de las aguas no
 podia decirse absolutamente nueva, ha-
 biendo sido ya tratada por Castelli, por
 Torricelli, por Mariotte, por algunos
 otros, y por el mismo Guglielmini, bien
 que aun en esta supo él hacer en dicha
 obra muchos adelantamientos, corregir er-
 rores, y encontrar nuevas verdades. Pe-
 ro la ciencia acerca de los cauces de los
 rios,

(a) Pref. all' Annot.

rios, la que considera las direcciones, los
 declives, las longitudes, los derrames, los
 desembocaderos, y las demas particulari-
 dades de dichos cauces, era tan nueva que
 ni aun hábia ocurrido á los filósofos que
 de esto se pudiese formar una ciencia.
 Guglielmini fué el primero que reflexiona-
 se, que el nacimiento y formacion de los
 cauces, siendo obra de la naturaleza, de-
 bia sujetarse á sus leyes constantes; que
 de la fuerza de las aguas, y de la resisten-
 cia de la materia, que forma la cama de
 los cauces, debian tomarse aquellas leyes;
 que en el acto de obrar la fuerza contra la
 resistencia la una y la otra son variables,
 y crece ó se disminuye la una, al dismi-
 nuirse ó aumentarse la otra, y con estos
 principios se aplicó á buscar las verdade-
 ras leyes que sigue la naturaleza en la for-
 macion y alteracion de los cauces, y á
 encontrar una completa teoría de ellos,
 y un arte bien fundada para regularlos.
 La situacion, ó bien sea la profundidad,
 longitud y declive de los fondos, su di-
 versa naturaleza, hora de arena, hora de
 guija, hora de piedras, hora de otras co-
 sas, lo recto ó tortuoso de los cauces, el

incremento ó decremento, el desembocadero de un rio en otro, los efectos de su union, los escollos de los campos, los nuevos cauces, todo en suma lo que mira á la naturaleza de los rios, y al arte de regularlos, ha sido observado por él con agudo ingenio, y con maduro juicio; y si en todo no ha podido alcanzar la verdad, en todo ha esparcido muchas luces útiles, y ha abierto el camino, y señalado las huellas para encontrarla.

Las especulaciones de los hidrostáticos ahora nombrados estaban fundadas sobre las observaciones y experiencias; y dirigidas por una fácil y elemental geometría, se encaminaban al uso práctico, y á la popular utilidad. Entonces tomó un vuelo mas alto la hidrostática, y guiada por una mas sublime y transcendental geometría apoyada á la naturaleza misma del movimiento, y á las propiedades particulares de los fluidos, estableció principios mas abstractos, y dictó leyes mas universales. Newton dió á la hidráulica aquella marca de certidumbre y de evidencia geométrica, que solia imprimir sobre quantas materias se po-

Newton.

nia á tratar (a). La presion de los fluidos por todos lados sobre sí mismos, y sobre los sólidos, la densidad de los mismos producida por la presion superior, la resistencia al movimiento de los sólidos, la fuerza para mover estos, y otras muchas verdades, fueron en pocas páginas expuestas y demostradas por él con su acostumbrada severidad. La observacion no tanto de la catarata, quanto de la vena estrechada á la salida del agua por el agujero de un vaso, ha corregido las medidas de los anteriores hidrostáticos, y ha dado nuevas leyes á la hidrometría. Maclaurin ilustró y sostuvo con todo el rigor geométrico la catarata, y toda la doctrina hidráulica de su maestro (b). El marques Poleni (c) y Daniel Bernoulli (d) examinaron con severo y justo rigor la nueva medida de Newton, y la encontraron conforme á la verdad; y aunque creyeron, como tambien han creido mas reciente-

Ddd 2 men-

(a) *Princ. Math. &c.* lib. II, sec. V. &c.(b) *Traité des flux.* tom. II. (c) *De Castel. & Epist. ad Marin.* (d) *Hydrodyn.* sec. IV.