ELEMENTOS

DE

FÍSICA ESPERIMENTAL

Y

DE METEOROLOGIA.

BLICA.

ELEMENTOS

DE

Física Esperimental

Y

DE METEOROLOGIA,

por Monsieur Pouillet,

de la Academia real de ciencias del instituto de Francia, catedrático de física de la facultad de ciencias de Paris, profesor de física aplicada á las artes en el conservatorio real de artes y oficios del mismo punto, administrador de este establecimiento, miembro de la sociedad filomática, del consejo de la sociedad de fomento, &c. &c.

OBRA ADOPTADA

por el consejo real de instruccion publica, para la enseñanza de la física en los establecimientos de la universidad.

TRADUCIDA

DE LA CUARTA EDICION FRANCESA,

y anotada

por el Doctor D. José M. Diez de Sollano.

QUIEN LA DEDICA A LOS COLEGIOS DE LA REPUBLICA.

> Verus experientiæ ordo primo lumen accendit,
> Deinde per lumen iter demonstrat.
>
> *Bacon, Nov. organ.*

TOMO I.

MÉXICO:
Imprenta de LARA, calle de la Palma número 4.
1846.

PRÓLOGO DEL TRADUCTOR.

TIEMPO ha se desean unos elementos de la importante ciencia de la FÍSICA, acomodados á la enseñanza de la juventud en nuestros colegios. Los de Mr. Pouillet lo son por cierto: así lo han reconocido los sábios de Francia al adoptarlos para las clases de su célebre Universidad; así lo manifiesta la traduccion que D. Pedro Vieta hizo de la tercera edicion publicada en Barcelona; así tambien lo han declarado nuestros establecimientos literarios al hacer tanta estima de los mismos.

En efecto, basta haberlos leido atentamente para descubrir desde luego en ellos un análisis rigoroso, perfectamente seguido de principio á fin; una rara profundidad unida con no menor claridad; la esperiencia reducida al cálculo, y el cálculo sirviendo de guia á la esperiencia: en una palabra, un enlace perpetuo de doctrinas físico-matemáticas, en que campean por todas partes la solidez de raciocinio, la delicadeza esmerada de la esperiencia, y la segura guia del análisis algebraico, aplicado diestramente á la FÍSICA. Parece que siguiendo el autor las huellas del insigne Newton, hizo servir la teoría á la esperiencia y la esperiencia á la teoría. Sin divagarse en cuestiones solo curiosas, consagra su atencion á las aplicaciones útiles.

Penetrado de esta verdad, al enseñar el año pasado los elementos de FÍSICA en el Seminario Conciliar de esta capital, elegí los mencionados del Pouillet: me procuré máquinas para reducir á esperiencia sus doctrinas: me entregué al estudio de sus multiplicadas y profundas fórmulas algebraicas: Haüy, Lamé, Desprezt, Souberan, y antes que éstos, Newton y Descartes, me sirvieron de guia. Pero esto mismo me condujo á persuadirme, que para nuestros jóvenes estudiantes era preciso otra ampliacion de los cálculos, y que prestaria un servicio muy importante quien los pusiera á su alcance.

Y he aquí cabalmente lo que procuraré desempeñar en esta edicion castellana, de la cuarta francesa de dicha obra; para la que he consultado á la mencionada traduccion del señor Vieta; la cual no he seguido sino en pocas cosas, porque ademas de faltarle mucho, respecto de la cuarta edicion que voy á dar á luz, se halla plagada de galicismos, y en muchas ocasiones cambia el sentido del autor.

En notas oportunas se desarrollará el cálculo y se ampliarán las doctrinas, especialmente en la parte teorética. Las figuras que se han necesitado para dichas notas, las he tomado de varios autores y van distinguidas con la letra *n*.

Ademas, he creido preciso concluir el primer tomo con un apéndice sobre los cuerpos simples, y la nomenclatura química, para la completa inteligencia, especialmente de la electro-química.

No presumo haber dado el lleno á tan difícil empresa, con la que he creido cooperar de algun modo á la propagacion de los conocimientos útiles. Plegue á la Providencia suprema, que maravillosamente resplandece en el órden físico, aceptar mis trabajos, y hacer servir á su gloria mis tareas.

ADVERTENCIA

SOBRE LA CUARTA EDICION

DE LOS ELEMENTOS DE FÍSICA Y DE METEOROLOGÍA.

En el corto tiempo que ha pasado desde que se dió al público la tercera edicion de esta obra, han sido señalados los progresos de la ciencia por numerosos trabajos é importantes descubrimientos; se ha visto por todas partes, en Francia, como en las naciones estrangeras, una multitud de jóvenes dedicarse á indagaciones interesantes, y asociar así sus nombres á los de eminentes físicos, que en estos últimos años han dado un impulso tan vivo á todas las partes de la física. Tantos resultados nuevos obtenidos en tan poco tiempo en Francia, en Inglaterra, en Italia, en Alemania, en Rusia y en América, son la prueba mas palpable de que la ciencia se halla, por decirlo así, en su nacimiento, y que apenas empezamos á poseer los verdaderos medios de observacion, que deben conducirnos un dia á encadenar el conjunto de fenómenos naturales por leyes generales y ciertas.

Si las grandes divisiones de la física hace ya tiempo que están trazadas, si la gravedad, el calor, la electricidad, el magnetismo, las acciones moleculares, la acústica y la óptica constituyen la física moderna como la antigua, no hay por esto motivo para pensar que nuestro siglo sea estacionario, ó que la física haya llegado á su término; solo sí, se puede decir, que las fuerzas á que la materia está sujeta son en pequeño número, que fueron reveladas á los antiguos observadores por fenómenos mas ó menos manifiestos, y que desde el orígen ha sido fácil hacer su clasificacion y enumeracion general; puédese tambien decir aún que el verdadero fin de la ciencia no es descubrir fuerzas nuevas, sino determinar las leyes y los modos de accion de las ya conocidas. Tal es en efecto la direccion que se ha seguido hace mas de tres siglos sobre las huellas de Keplero, Galileo, Descartes, Pascal, Newton, que son los primeros que han abierto al espíritu humano esta vasta carrera. ¡Cuántos grandes descubrimientos han enriquecido la ciencia durante estos tres siglos, los mas brillantes de la historia del mundo! Y con todo, ¡cuán estrechos y limitados parecen nuestros conocimientos, cuando se echa una mirada profunda sobre el sin número de misterios que por todas partes nos rodean! A medida que la ciencia adelanta, nuestro espíritu parece elevarse sobre un mas vasto horizonte desde donde percibe nuevas regiones mas y mas estensas, que quedan aun por esplorar. Empezamos á salir de las tinieblas, nuestra vista se fortifica con la luz, y podemos juzgar mejor que en ninguna otra época, sobre los recursos sólidos y poderosos que la ciencia puede prestar á la civilizacion. Las teorías se desarrollan, las aplicaciones se multiplican, las empresas industriales sacan de ellas recursos antes desconocidos: despues de haber ocupado su lugar en la enseñanza general para habituar la inteligencia á la lógica de los hechos, que es á la vez tan fecunda y luminosa, la física penetra en los talleres para llevar allí el gusto de la exactitud y dar pábulo al genio de la invencion. Por el feliz concurso de tantas circunstancias, los descubrimientos se suceden unos á otros con una rapidez sin ejemplo, y vemos á cada instante que un nuevo órden de fenómenos abre nuevos caminos á las indagaciones.

En medio de este movimiento universal de la ciencia, en medio de las modificaciones mas ó menos profundas y siempre progresivas que esperimenta, los tratados elementales son necesariamente incompletos; si presentan con exactitud el cuadro de nuestros conocimientos, no puede ser mas que por el instante en que aparecen; bastan algunos meses para que este cuadro pase á ser infiel. Con todo, no es esto porque una proposicion que parece verdadera hoy, pueda ser falsa mañana; pues tenemos felizmente métodos esperimentales bastante seguros para no confundir el error con la verdad: los resultados no cambian, quedan constantes y entran en el dominio de la ciencia, pero se estienden, se generalizan, y particularmente por el solo hecho de una observacion nueva, pueden á menudo ser demostrados de un modo mas claro y mas simple. Así en la enseñanza, como en los tratados especiales, es, pues, menester, aplicarse con un cuidado estraordinario, no solo á no omitir nada esencial, sino tambien á comparar los esperimentos y los hechos, y á colocarles cuanto sea posible en un órden lógico que les encadene estrechamente.

Esto es lo que he procurado hacer con nuevo cuidado en esta cuarta edicion.

El magnetismo, la electricidad y el calor, son las partes de la ciencia, que han hecho progresos mas considerables en estos últimos años; sobre todo, he debido aplicarme á introducir en mi obra los principales descubrimientos de que han sido objeto.

Ha sido necesario presentar bajo otro punto de vista, y en un nuevo órden, todo lo perteneciente al galvanismo, la teoría de la pila, y la electro–química: lo he procurado hacer, y es preciso decirlo, esta materia es ahora una de las mas difíciles de compendiar, de una manera clara y precisa, sea por la multitud de esperiencias, ó mas bien, por la falta de exactitud que se nota en muchas de ellas. En general, hay dos medios de estender el dominio de la ciencia: el de los descubrimientos que proporcionan hechos realmente nuevos, y el de las investigaciones severas y profundas que conducen á nuevas leyes. En las presentes circunstancias, y particularmente en lo que toca á la electro–química, es de temerse que se confundan importunamente estos dos métodos diferentes, ó mas bien, que haya una tendencia á mirar como nuevos, hechos que no lo son mas que en apariencia, y fundar leyes sobre hechos que no han sido severamente estudiados. En este estado de cosas, un autor elemental camina entre dos escollos y tal vez no evita ninguno; á saber: que esté en ciertos puntos muy dispuesto á adoptar aun aquello que solo tiene la apariencia de novedad; y en otros, á rehusar acaso como ley de la ciencia, lo que se halla establecido sobre pruebas bastante

decisivas. Espero que por lo mismo se estimarán los esfuerzos que he hecho para no merecer ni uno ni otro reproche.

La teoría del calor ha recibido en todos sus ramos felices desarrollos: me he aplicado á hacerlos entrar en el cuadro de mi obra, y sobre todo, á no despreciar nada de lo que toca al calor radiante y la calorimetria.

Las máquinas de vapor, indicadas muy por encima en mis primeras ediciones, se habian suprimido en la tercera: es esta una materia tan importante, que me habia parecido mas conveniente pasarla en silencio, que presentarla de un modo incompleto. He tomado mis disposiciones para tratarla ahora con suficiente estension: me ha parecido necesario hacerla entrar en los elementos de física, no de un modo accidental, y como una digresion, sino especialmente, como un ramo de la ciencia cuyo conocimiento se ha hecho indispensable. Felizmente los principios de física y de mecánica relativos á la construccion de las calderas y máquinas de vapor, se encuentran bastante bien establecidos para que sea posible esponerlos metódicamente y en pocas palabras; he procurado hacerlo sin olvidar jamas, que se trataba de un capítulo en unos elementos de física destinados á la enseñanza general, y no de una descripcion técnica dedicada á ingenieros ó mecànicos.

Las adiciones que acabo de señalar, y en particular las que miran á las máquinas de vapor, las locomotivas, y la electro–química, han exigido cuatro láminas nuevas y un testo tambien nuevo, bastante estenso; esto esplica lo mas compacto de mis dos volúmenes.

Séame permitido para acabar, hacer una advertencia que me parece de alguna importancia: un gran número de figuras de esta nueva edicion se parecen mucho á las de otros tratados de física: podria creerse á primera vista, que yo simplemente las he copiado de estas obras; pero si se tiene la bondad de recurrir á los datos, será fácil convencerse de que la prioridad pertenece á mis primeras ediciones, de donde se han tomado: no me quejo de ello siempre que la ciencia saque algun provecho.

Pero otro hecho, que me es imposible dejar pasar sin decir una palabra, es que un autor, despues de haberse servido de mi obra para hacer la suya, sin dársele nada por ésto, como si este proceder fuera el mas honrado del mundo, juzga en fin á propósito citar mi nombre (pág. 582 tom. seg.) y citarlo de la manera siguiente:

"Mr. Pouillet ha dado fórmulas análogas, *mucho mas complicadas, sin demostrarlas;* pero que en el fondo deben ser equivalentes, porque están fundadas en los mismos principios. Muchas de ellas se han comprobado por esperiencias numerosas."

El autor de que se trata, aunque me es penoso el decirlo, jamás ha demostrado, simplificado, ni esperimentado cosa alguna sobre la materia en cuestion; á no ser que por una facilidad sorprendente de imaginacion, se identifique con lo que copia hasta el punto de creer que lo inventa. Siento tener que señalar este hecho, pero me veo fuertemente obligado á hacerlo, sò pena de pasar ante algunos de sus lectores, como un hombre que no ha producido por sí mismo mas que un trabajo imperfecto, complicado, y embrollado; atendiendo á que él ha derramado las luces de su ingenio, para que yo me atribuya despues su trabajo.

Por lo demas, estoy persuadido de que si en este pasage ha habido por su parte demasiada irreflexion, no ha tenido mala intencion.

ELEMENTOS

DE

FÍSICA ESPERIMENTAL

Y DE METEOROLOGIA.

NOCIONES PRELIMINARES.

CAPITULO I.

De los fenómenos naturales.—Del espacio.—Del tiempo.—De la materia.—De las fuerzas.—Del movimiento.—De la inercia.

1. Los fenómenos naturales que se renuevan sin cesar ya en la tierra, ya en el cielo, ofrecen á nuestra vista un espectáculo tan grandioso, y á nuestra curiosidad un atractivo tan poderoso, que aun sin querer nos conducen á meditar en el conjunto de causas que producen efectos tan maravillosos. Apenas salimos de la primera infancia, cuando nuestras miradas se dirigen hácia los diferentes objetos que la naturaleza nos presenta: observamos con toda la actividad de nuestro espíritu la forma del sol y de las montañas, la gravedad de los cuerpos, los movimientos del agua, del aire y de las nubes, la brillante bóveda del cielo, y los modos infinitamente variados, con que se nos presenta el sin número de astros que parecen recorrerla con tan sorprendente regularidad. Hemos nacido observadores y bajo este respecto todos los hombres son físicos: pero en medio de la multitud de fenómenos que nos rodean, no es dado á nuestra inteligencia elevarse inmediatamente al conocimiento de las causas, y de las leyes generales de que dependen estos fenómenos. Así nada es mas curioso para la historia del espíritu humano, que seguir al través de la sucesion de los siglos las ideas singulares, que los hombres han formado sucesivamente sobre las propiedades de los cuerpos, los elementos que los componen, sobre los principios y las causas que agitan la materia y que conservan la armonía del mundo. ¡Qué confusion de hipótesis y de errores, en medio de las que, los hombres de genio, han esparcido alguna verdad fecunda! Y aun en nuestros tiempos, qué cosa hay mas curiosa que preguntar á diferentes espíritus desde los mas vulgares hasta los mas hábiles y oir sus ideas acerca de los fenómenos de la naturaleza, sobre los efectos del aire y de la atmósfera, sobre el equilibrio de las aguas al rededor de la tierra, sobre los efectos del calor y de la luz, sobre la meteorología, sobre la causa del rayo, por ejemplo, al que es cierto no nos atrevemos ya á personificar, pero que algunos miran aún como si tuviera una forma y un cuerpo! ¡Qué variedad de imágenes y de concepciones! ¡Qué diferencia entre los hombres! ¡Qué diferencia entre los pueblos! Se puede decir que en una sola generacion se encuentran las opiniones de todos los siglos: en un espíritu inculto, en un pueblo ignorante, todos los errores con todas las preocupaciones de los tiempos pasados: en un espíritu cultivado, en un pueblo amigo de las luces, todos los conocimientos que se han trasmitido de edad en edad, y todas las leyes generales á las que la razon ha podido elevarse.

La física que se llama tambien la filosofía natural, no es mas que una parte de estos conocimientos que forman el vasto dominio de las ciencias de nuestra época, ella es su parte filosófica y fundamental. Se acostumbra decir que la física tiene por objeto las propiedades de los cuerpos, y las acciones que ejercen á grandes distancias; esto es en efecto lo mas simple que de ello pueda decirse cuando absolutamente se la quiere definir de un modo general: pero pretender definir una ciencia es consentir en ser ininteligible, porque una ciencia no puede definirse por alguna propiedad característica notable como un objeto material, ó como una figura geométrica. Así se nos permitirá sin duda empezar el estudio de la física mas bien dando nociones claras y precisas de los objetos en que se ocupa, que queriendo dar definiciones vagas y obscuras del fin que ella se propone.

2. *Del espacio.*— Conocemos muy fácilmente las longitudes y las distancias. Una longitud de seis piés es una cosa que nos es familiar, y concebimos con la misma facilidad la distancia que nos separa de un punto lejano en el horizonte y aun la que nos separa del sol ó de las estrellas. Todos comprendemos de la misma manera las estensiones en superficie de un gran lago ó del mar, y las estensiones en volúmen como un metro cúbico de mármol ó de piedra, el volúmen de una casa ó el de una montaña. Concibamos, pues, un metro cúbico de mármol suspendido en medio de una masa de aguas, sabemos que puede ser desalojado y que al instante el agua viene á ocupar el lugar en que aquel se hallaba; pero imaginemos que el agua no viene, que de algun modo sea detenida; ó mas bien concibamos que el cubo de mármol pueda anonadarse, que no queden de él mas que las seis caras, las que sean capaces de detener el agua exactamente por los seis lados diferentes. Este volúmen en el que no habria mármol, ni agua, ni otra cosa alguna, es el *espacio*: este es el espacio que ocupaba el metro cúbico de mármol, y que podemos concebir privado de toda materia. Algunos metafísicos le llaman el *espacio puro*, y los físicos *espacio vacío*. Hemos limitado su estension á fin de formar una idea mas exacta, y lo que se ha dicho de un metro cúbico puede decirse de un volúmen mucho mayor. Podemos concebir que se anonada una montaña desde su cúspide hasta su base, y nuestro espíritu conservaria aun la idea de su volúmen, ó del espacio que ocupaba. Lo mismo sucederia con todo el globo de la tierra, y no es menester mayor esfuerzo para concebir el volúmen que ocupa, que para concebir el volúmen ocupado por una bola de villar, ó por una bala de cañon.

Encima de nosotros se halla la atmósfera, y sobre la atmósfera el vacío del cielo. Nuestro espíritu puede elevarse tambien á estas regiones, puede fatigarse recorriéndolas en todos sentidos; encuentra en medio de éstos espacios cuerpos como la tierra, los astros, en los que se detiene; pero qué distancia les separa! qué abismo hay mas allá! Esta bóveda del cielo no es mas que una apariencia, nada tiene de sólido, y aunque fuese sólida como el diamante, nuestro espíritu no se detiene en ello, penetra su profundidad, prosigue por el espacio mas allá de esta bóveda, y mas allá de las estrellas; concibe que todo límite es imposible, abraza la inmensidad y concibe algo aun mas grande: así el espacio es indefinido segun nuestro modo de concebir, y por consiguiente infinito en la realidad (1).

Una porcion limitada del espacio es en nuestro comun modo de hablar, lo que llamamos *estension*: pero puede suceder que se diga el espacio de un metro cúbico, en lugar de decir la estension de un metro cúbico. Ninguna confusion resulta de esto para las discusiones físicas.

3. *Del tiempo.*— Se dice comúnmente que el hombre al aspecto de los fenómenos naturales adquiere la idea de sucesion, y la del *tiempo*. Así se dice la primavera sucede al invierno y el dia á la noche: hé aquí la idea de sucesion: el agua que mana sucede al agua que ha manado, el flujo del mar sucede al reflujo, hé aquí la imágen del tiempo. Pero no hay necesidad ni de fenómenos esteriores, ni de accion alguna producida sobre nuestros sentidos para que tengamos actualmente idea del tiempo: pensamos y tenemos conciencia de nuestros pensamientos, pensamos sucesivamente y tenemos idea de sucesion y de continuidad: sin duda este fenómeno interior no nos permite contar ni las horas, ni los dias, ni los años; pero tener la idea del tiempo, y tener el medio de medirlo son dos cosas diferentes. Todos los movimientos esteriores podrian ser suspendidos, los astros podrian cesar en sus giros, las nubes podrian quedar inmóviles, el agua cesar de manar; y no obstante, en medio de este reposo universal sabriamos aún, que el tiempo se puede subdividir, aunque no tuviésemos medida alguna para estas subdivisiones.

(1) Qué sea el espacio, si la capacidad para recibir cuerpos, si consista solo en el órden de las cosas coexistentes; si no es real, sino ideal é imaginario; si es este privativo ó negativo, cuestionan entre sí los metafísicos y nada es del caso: baste advertir, que no porque concebimos algo como infinito ó fuera de cualesquiera límites lo es real, sino solo matemáticamente.

La idea del tiempo y la del espacio se encuentran en todas nuestras percepciones y en todas nuestras ideas; la nada es incomprensible para nosotros, ó mas bien cuando queremos comprenderla, no comprendemos otra cosa que el espacio y el tiempo.

4. *De la materia y de los diferentes estados de los cuerpos.*— La idea del espacio es una idea completa que basta por sí misma, es decir, que podemos concebir el espacio, y nada en este espacio, pero esta no es una idea exclusiva con la que no pueda asociarse otra cosa. En el espacio podemos concebir la *impenetrabilidad*, y la impenetrabilidad es la *materia*. No es exacto el decir que la materia tiene dos propiedades esenciales: la *estension* y la *impenetrabilidad*, estas no son propiedades, es una definicion. Se concibe la impenetrabilidad, se la llama materia y hé aquí todo.

Podemos concebir el espacio limitado ó indefinido, y de la misma manera podemos concebir que la impenetrabilidad es limitada ó indefinida, que ocupa un pequeño volúmen, como una gota de agua, ó un grande espacio, como el globo de la tierra. Aquí se presenta otra idea fundamental: podemos concebir que la impenetrabilidad sea continua é inseparable, ò bien no continua, y por consiguiente separable. La impenetrabilidad inseparable es la que llamamos un *átomo*. La idea de magnitud y de pequeñez en nada entra para la concepcion de un átomo, como tampoco la idea de forma: se puede concebir un átomo muy pequeño, ó un átomo muy grande; se puede concebir que sea redondo, cuadrado, puntiagudo ó de cualquiera otra forma tan caprichosa como quiera la imaginacion. Solo sí, suponemos bien que el mundo entero no es un grande átomo, y que la materia no es toda de una pieza; porque la tierra y la luna son dos fragmentos de materia separados el uno del otro, y en la superficie de la tierra vemos que la materia en general se rompe, y se desune, lo que prueba bastante, segun nuestra definicion, que la tierra tampoco es un átomo. Por lo demas toca à la esperiencia el instruirnos, y todos los datos de la esperiencia nos conducen á la deduccion de que la materia no es infinitamente separable en partes, sino hasta un cierto grado de pequeñez, que llega mucho mas allá de lo que nuestros sentidos pueden percibir (1); que hay partes de magnitud finita que son absolutamente inseparables y que forman por consiguiente verdaderos átomos. Los recientes descubrimientos parecen confirmar particularmente esta opinion, y es la que se adopta exclusivamente en el dia.

Así admitimos la existencia de los átomos como una verdad fundamental, que debe servirnos de guia en nuestras indagaciones. Una reunion de átomos es lo que se llama un *cuerpo*. Los cuerpos tendrán en general un mayor ò menor volúmen, segun sean compuestos de un número de átomos mayor ò menor; tendrán formas diferentes, si los átomos que les componen están arreglados de un modo diferente; tendrán una diferencia un poco mas notable si los átomos difieren por su forma ó por su magnitud, y en fin podrán ser esencialmente diferentes, si existen átomos que difieran por su naturaleza substancial.

En un volúmen dado de un cuerpo, en una bola de oro por ejemplo, no se supone que todos los átomos estén arreglados de la misma manera, y todos igualmente distantes entre sí; pero si se debe suponer, que muchos átomos están unidos de modo que forman lo que se llama una *molécula*, una *partícula*, y que las moléculas se unen á su vez para dar á los cuerpos su estructura y su fijeza. Así dos moléculas tienen en general mayor distancia entre sí, que los átomos que las componen. Este es el sentido propio que se da á las voces *moléculas* y *partículas*; las que son con poca diferencia sinónimos: pero algunas veces se toman en otro sentido, como cuando se dice, las moléculas de los cuerpos son conmovidas por el choque, se hallan en vibracion en los cuerpos sonoros, son dilatadas por el calor, atravesadas por la luz, etc., entonces no se intenta hablar rigurosamente de cada grupo de átomos en particular,

1 Adviértase que la cuestion puede establecerse sobre la divisibilidad matemática, ó sobre la física; aquí solo se trata de la segunda.

sino de un modo vago de las pequeñas porciones que se conciben en el interior de los cuerpos, que uno separa con el pensamiento. En fin, cuando se rompe un cuerpo, nos servimos tambien de las palabras *moléculas y partículas* para designar sus mas pequeños fragmentos.

No distinguimos mas que tres estados diferentes en la inmensa variedad de cuerpos, que están sujetos á nuestras observaciones. Estos cuerpos son *sólidos* como las piedras, los metales y los tejidos orgánicos; son *líquidos* como el mercurio, el agua, el espíritu de vino, ó los fluidos de los cuerpos vivientes, ó en fin, son *gaseosos* como el aire. Los líquidos y los gases se distinguen alguna vez por un nombre comun, se les llama fluidos. Debe notarse, que un mismo cuerpo puede ser, ya sólido, como el hielo, líquido, como el agua, gaseoso, como el vapor. Se verá en qué circunstancias, y bajo qué condiciones, se producen estas *mutaciones de estado*; por el pronto basta indicarlas, por que son conocidas de todos, y porque reflexionando, se habitúa el espíritu á penetrar en lo interior de los cuerpos, y á comprender bien, que no son mas que conjuntos ó aglomeraciones de átomos: que estos átomos están separados los unos de los otros y mantenidos á distancias mayores ó menores; y en fin, que es posible que, sin tocarse obren de concierto y se comuniquen presiones y movimientos.

5 *De las fuerzas.*—Los átomos puestos simplemente los unos al lado de los otros, no podrian constituir ni los cuerpos sólidos, ni los demas de la naturaleza; lo mas que harian seria un todo inherente, semejante á un monton de arena ò de polvo. Una piedra ò un pedazo de hierro son cuerpos sólidos y resistentes, es menester, pues, que haya *alguna cosa* que retenga los átomos, que una los unos á los otros, y que los mantenga en su posicion. Los cuerpos se romperian sin esfuerzo alguno, sino hubiese mas que átomos simplemente justa-puestos, ó mas bien no existirian cuerpos, no existiria mas que polvo. Concebimos que en un pedazo de hierro un átomo cualquiera es comprimido contra los vecinos, como un pedazo de piedra es comprimido contra el suelo; para levantar la piedra es menester un cierto esfuerzo, para arrancar el átomo, si se le pudiese coger, seria tambien necesario un esfuerzo mayor ó menor. Las *causas* de estas *presiones* ó de estas *acciones mútuas* que las diferentes partes de la materia ejercen las unas contra las otras, son lo que se llaman en general *fuerzas*.

Así hay fuerzas que obran sobre los átomos de hierro, que comprimen los unos hàcia los otros, que les mantienen en su lugar, y que dan à la masa la estabilidad que observamos. Así tambien hay fuerzas que obran sobre las moléculas de los cuerpos sólidos y que les dan en su interior una estructura determinada, y en el esterior una forma permanente. En fin, como no hay cuerpo que deje de tener un cierto modo de ser, y una cierta dependencia entre sus partes, se ha deducido que en donde hay muchos átomos vecinos, hay siempre entre ellos una accion mútua, por la que se solicitan los unos hácia los otros, y se ponen bajo un determinado arreglo.

Los líquidos que son tan móviles, tienen tambien esta dependencia entre todas sus partes inmediatas: una gota de agua tiene siempre una forma particular, sea que se observe sobre alguna superficie, ó mas bien sobre las plantas en que se depone en forma de rocio, sea que se observe en las estremidades de los cuerpos en que se mantiene suspendida. Esta forma que toma es el resultado de la accion de las moléculas que la componen, porque sin acciones mútuas, estas molèculas quedarian separadas y caerian aisladamente.

El aire que es invisible, y que es tan sutil, no es una excepcion de esta ley: es impenetrable porque resiste cuando está encerrado en una vejiga, en un globo ò en un espacio cualquiera; por lo que tambien está compuesto de átomos y de moléculas, y así sus diversas partes ejercen tambien una mútua accion las unas sobre los otras. Entre mil fenómenos que prueban esto, citaremos solo el de la respiracion que todos pueden observar. El aire esterior penetra en los pulmones á medida que el pecho se dilata para recibirle; asi las moléculas de afuera obran sobre las de dentro, las comprimen y las obligan à entrar, y cuando el aire está encerrado en el pecho, las moléculas interiores obran una reaccion las unas contra las otras para llenar toda su capacidad, como tambien obran una reaccion las unas contra las otras, para estenderse por toda la capacidad de un vaso, por grande que sea.

Estas fuerzas que obran sin cesar en lo interior de un cuerpo entre todas las moléculas vecinas, ó entre todos los átomos que componen una molécula, se llaman *fuerzas moleculares, ó atracciones moleculares*; seria mejor llamarlas *acciones moleculares* ó *fuerzas atomísticas*, ó *fuerzas constitutivas de los cuerpos*, puesto que en efecto, estas fuerzas son las que dan á los cuerpos su constitucion particular y su modo de existir. Examinaremos despues si no hay mas que una sola fuerza de esta naturaleza, ó si hay muchas que se combatan, se contrarresten y que alternativamente sean mayores ó menores.

Ademas de las fuerzas moleculares hay fuerzas de otra naturaleza; los cuerpos caen por sì mismos cuando se les abandona; los rios corren sin cesar, el sol parece girar alrededor de la tierra; ved ahí *movimientos* que observamos, al paso que juzgamos, que la materia puede *existir* sin que sus movimientos sean *producidos*. Ellos no son pues, mas que *efectos* accidentales debidos á causas determinadas. Estas causas de la remocion de los cuerpos ó de los *movimientos de traslacion*, se llaman tambien *fuerzas*, ó *potencias*. Estas tienen sin duda, relaciones con las fuerzas moleculares, las que pueden tambien en ciertos casos imprimir movimientos de traslacion; pero en general se distinguen como se verá despues.

6 *Del reposo y del movimiento.*—Las ideas de *reposo y de movimiento* son como la idea de impenetrabilidad, son concepciones simples y primitivas, que no pueden ni descomponerse ni definirse. Se concibe el reposo, se concibe el movimiento, se le pueden hacer comprender á uno estas cosas de un modo mas general ó mas fecundo, pero en ningun idioma se pueden esplicar, sino por voces equivalentes. Desde que tenemos la idea de espacio, y la de nosotros mismos, nos consideramos como un centro alrededor del que se desarrolla el espacio indefinido, y tenemos la idea de direccion, de distancias y de situaciones respectivas. Tenemos necesidad de la vista del cielo para *orientarnos* con relacion al sol y á los astros, pero no tenemos necesidad mas que del sentimiento de nosotros mismos para orientarnos con relacion á nosotros: á no confundirlo todo, no podemos confundir el espacio que está delante de nosotros, con el que está sobre nuestras cabezas, ó bajo nuestros pies, ni el que está á la derecha con el que está á la izquierda. El hombre que ha vivido en las tinieblas, sea en la superficie de la tierra, sea en el fondo de las minas, no sabe lo que es el Oriente, el Occidente ó los polos del mundo, puntos que todos se refieren el aspecto del cielo que él no conoce; no obstante, concibe el espacio, y con el pensamiento le separa en diversas regiones que tienen relacion con el mismo, en regiones laterales, anteriores y posteriores, y en regiones altas y bajas. Todos podemos hacer abstraccion de la materia, sin poder hacer jamas abstraccion de nosotros mismos, y habiendo de esta manera tomado posesion del espacio, podemos comprender que nada muda, ni en nosotros, ni en nuestro alderredor: entonces tenemos la idea de *reposo*, y de *reposo absoluto*; porque se llama reposo absoluto la permanencia real de este cuerpo, en el mismo lugar del espacio. Del mismo modo podemos comprender que sucede una mutacion del lugar; podemos imaginar que avanzamos ó retrocedemos en una de estas regiones ideales, que marchamos por un lado ó por otro, que subimos ó que bajamos, y tenemos la idea de *movimiento*, y la idea de *movimiento absoluto*; porque se llama *movimiento absoluto* de un cuerpo, la mutacion real de este cuerpo en el espacio.

Hay dos cosas que considerar en el movimiento, su direccion, y su lentitud ó rapidez, la que es menester no confundir con su velocidad, de la que hablarémos despues. Si el *móvil* ó el cuerpo que se mueve, corre por una línea recta, el movimiento se llama *rectilíneo*, y la recta corrida por el móvil es la direccion del movimiento. Al contrario, si el móvil recorre una curva cualquiera, el movimiento se llama *curvilíneo*, y se dice tambien que la curva que corre es en general, la direccion del movimiento. Pero en este último caso, para espresar su direccion en un instante cualquiera, es menester advertir que entre dos puntos de una curva, se pueden tirar una infinidad de tangentes, ó de líneas rectas que no hacen mas que tocar la curva; entonces el móvil hallándose en el mismo tiempo sobre la curva, y sobre la tangente, se dice que la direccion de su movimiento es la de la tangente sobre la que se encuentra. Así en el movimiento curvilíneo el móvil muda cada instante de direccion, y si recorre un círculo entero, ha pasado verdaderamente por todas las direcciones posibles, á lo menos en un mismo plano. Con relacion á la lentitud ó rapidez del movimiento se dice en mecánica, y tambien en idioma comun, que un movimiento es mas lento, cuando un móvil recorre menor espacio en el mismo tiempo, y que es mas rápido, cuando recorre mayor espacio. Con todo, es menester advertir, que de dos movimientos dados, el que seria mas lento no considerando mas que los espacios corridos durante un segundo, por ejemplo, puede ser el mas rápido, si se considerasen los espacios corridos durante una hora, ó un dia; porque se concibe que un mismo movimiento puede retardarse ó hacerse mas rápido.

El reposo absoluto y el movimiento absoluto, no son mas que concepciones de nuestro espíritu; en el arreglo del mundo no hay nada absoluto para nosotros; todo es relativo y condicional. Así todo lo que nos parece mas inmóvil en la superficie de la tierra, no está mas que en un reposo relativo. Los árboles están en reposo con relacion á los montes, y los montes lo están tambien con relacion al suelo y á la masa del globo; pero los árboles y los montes son llevados con nosotros por la vasta órbita de nuestro planeta, y todos juntos corremos en un segundo, diez veces mas espacio, que el que corre en el mismo tiempo una bala al salir del cañon. Con todo, corriendo con tanta velocidad los espacios celestes, no podemos juzgar de nuestro movimiento absoluto, porque seria menester saber si el sol está inmóvil en el centro del mundo. Ahora bien, todo parece anunciar que el sol se lleva consigo todos los planetas, como la tierra arrastra consigo su atmósfera, sus nubes, sus árboles y sus montes. El mismo sol no es mas que un planeta imperceptible con relacion á otro sol, alrededor del que gira, y este otro sol es sin duda trasportado por el espacio, sin que se pueda señalar, ni aun imaginar un centro fijo alrededor del que se verifiquen todas estas revoluciones.

7 *De la inercia.*—Hay dos modos de concebir las fuerzas que obran sobre la materia inorgánica. Se puede suponer que tienen una existencia separada, que están fuera de la materia, y que son independientes de ella: ó bien se puede admitir que son inherentes á la misma materia, y que no son mas que propiedades permanentes, de que fué dotada primitivamente. Estas dos suposiciones vienen á ser en el fondo una sola y misma cosa; pero cualquiera que sea la idea que pueda formarse de su orígen y de su modo de existir, hay acerca de ellas y acerca de la materia, principios fundamentales que resultan de todos los fenómenos naturales que se producen á nuestra vista, y que se renuevan ó se perpetúan despues de tantos siglos. Estos dos principios constituyen lo que se llama *inercia* de la materia. El primero es, *que dejándo de obrar en un instante dado todas las fuerzas que obran sobre la materia, ella no obstante conserva su estado de reposo, ó de movimiento.* El segundo es, *que todas las fuerzas están sujetas á leyes de una infalible estabilidad.* Resulta del primer principio, que un átomo de materia, no puede ni darse movimiento, ni alterar el que haya recibido: y si dos átomos de materia pueden darse movimiento el uno al otro por sus atracciones, ó en general, por sus acciones mútuas, como la atraccion de la tierra da movimiento á una piedra que se abandona á sí misma, resulta del segundo principio, que este movimiento es producido por una ley determinada que no ha sufrido variacion alguna desde que el mundo existe. Así todas las mutaciones que sufre la materia, sea en su estado, en su reposo, ó en su movimiento, se deben atribuir á causas ó á fuerzas particulares; unas veces á fuerzas permanentes que continuan obrando, y que arreglan sus acciones segun las leyes inmutables á que están sujetas. Si un cuerpo se rompe ó se sale de su lugar, si pasa á ser mas duro ó mas blando, si se enfria ó se calienta, si se liquida ó se vaporiza, es porque ha sobrevenido una causa que le imprime estas modificaciones. Jamás una piedra se ha roto por sí misma, jamás se ha levantado sobre el suelo, jamás se la ha visto ni endurecerse ni ablandarse, ni calentarse ni enfriarse, ni liquidarse por sí misma, ni desaparecer en vapores. Si se corta el hilo que sostiene un cuerpo, se ve que cae y que se precipita con un movimiento cada vez mas rápido. Era precisa una causa para hacerle caer, y esta misma causa es la que continúa obrando y acelera su movimiento, por acciones repetidas. La tierra en su órbita alrededor del sol esperimenta, perpetuas variaciones; unas veces su curso es mas lento, otras mas rápido, pero es una causa que muda de energía, y por la ley de estas mutaciones se conserva el equilibrio del mundo.

CAPITULO II.

PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS.

Divisibilidad.— Porosidad. — Compresibilidad. —Elasticidad.—Dilatabilidad.

8. Se llaman propiedades generales de los cuerpos las que son comunes á todos, sean sólidos, líquidos ó gaseosos. De estas propiedades las que importa mas conocer desde el principio de la física son:

1.° La divisibilidad.
2.° La porosidad.
3.° La compresibilidad.
4.° La elasticidad.
5.° La dilatabilidad.

Desde luego notamos que dependen de la estructura de los cuerpos y del arreglo interior de sus partes constitutivas. Si los cuerpos no fuesen compuestos, ni serian divisibles, ni porosos, ni compresibles, ni tampoco podrian tener el resorte que constituye la elasticidad, ni la facultad de aumentar de volúmen, que constituye la dilatabilidad. Por esta razon no seria exacto decir que estas propiedades son propiedades generales de la materia, porque de ningun modo pueden pertenecer á los átomos tales como los podemos comprender, y tales como los hemos definido; estas son propiedades del conjunto, y no de los elementos (1).

9. *Divisibilidad.*— Todos los cuerpos pueden ser divididos en muchas partes, y estas mismas partes en partículas mas y mas pequeñas, hasta que al fin escapen á los sentidos, y á los instrumentos. Esta propiedad tomada en general es la cosa mas conocida de todos. Todos saben que las barras de metal se rompen por un cierto esfuerzo, que las piedras se hacen pedazos á golpes de martillo, y que el diamante, que es el mas duro y el mas inalterable de cuantos cuerpos se conocen, puede tambien reducirse á polvo fino, que sirve para pulir su superficie. Pero lo que debe ocuparnos, y lo que particularmente debe haber excitado la curiosidad de los mas antiguos observadores, es el saber si todos los cuerpos son en efecto divisibles, y si todos lo son hasta el último grado de pequeñez que podamos percibir.

En cuanto á los cuerpos que son líquidos como el agua, es evidente que pueden ser divididos y subdivididos en partículas tan pequeñas, que sean al fin lo mas tenue que el tacto pueda sentir, y lo mas sutil que el ojo pueda ver; porque mirándolas no vemos en su superficie desigualdad alguna, y sumergiendo la mano dentro de su masa, no podemos tocar sus moléculas sintiéndolas distintamente, como sentiriamos los granos mas finos de arena.

En cuanto á los sólidos, tampoco podemos juzgar fácilmente de la magnitud, ó tenuidad de las últimas partes que los componen. Nada nos indica desde luego que entre estos cuerpos no se halle alguno, que siendo dividido hasta un cierto límite, se resistirá á toda division ulterior, y cuyas partes elementales aun gruesas y palpables, ó á lo menos muy perceptibles, no puedan ser subdivididas, ni alteradas de algun modo. Así los antiguos habian tenido gran cuidado de esperimentar bajo este aspecto á todos los cuerpos que conocian; y los modernos, que han sacado del seno de la tierra tantas nuevas substancias, las han tambien esperimentado para saber hasta qué punto se dividen. Despues de tantos esperimentos solo es permitido concluir, que en ningun cuerpo conocido hay límite alguno perceptible en la divisibilidad. Con todo, no seria rigoroso el estender esta consecuencia á todos los cuerpos que existen: porque si es necesaria la esperiencia para resolver la cuestion, ella en rigor no está resuelta, sino para los cuerpos que se han sometido á los esperimentos. Así no es absolutamente imposible, que los volcanes hagan salir un dia de las entrañas de la tierra, algunas substancias cuyos átomos sean para nosotros de una magnitud perceptible, y tampoco es imposible, que tales substancias se hallen en la masa de otros planetas (1).

Sin reproducir aquí todos los esperimentos que se han hecho sobre diferentes cuerpos, citaremos algunos ejemplos para demostrar, por una parte, que nuestros sentidos no pueden llegar sino hasta cierto grado de pequeñez, y por otra par-

(1) No es fácil definir cuales son las propiedades esenciales de la materia.

(1) La cuestion de que aquí se ocupa el autor, está íntimamente unida á la antiguamente agitada acerca de la perfecta dureza de las mínimas partículas de los cuerpos.

nester advertir, que de dos movimientos dados, el que seria mas lento no considerando mas que los espacios corridos durante un segundo, por ejemplo, puede ser el mas rápido, si se considerasen los espacios corridos durante una hora, ó un dia; porque se concibe que un mismo movimiento puede retardarse ó hacerse mas rápido.

El reposo absoluto y el movimiento absoluto, no son mas que concepciones de nuestro espíritu; en el arreglo del mundo no hay nada absoluto para nosotros; todo es relativo y condicional. Así todo lo que nos parece mas inmóvil en la superficie de la tierra, no está mas que en un reposo relativo. Los árboles están en reposo con relacion á los montes, y los montes lo están tambien con relacion al suelo y á la masa del globo; pero los árboles y los montes son llevados con nosotros por la vasta órbita de nuestro planeta, y todos juntos corremos en un segundo, diez veces mas espacio, que el que corre en el mismo tiempo una bala al salir del cañon. Con todo, corriendo con tanta velocidad los espacios celestes, no podemos juzgar de nuestro movimiento absoluto, porque seria menester saber si el sol está inmóvil en el centro del mundo. Ahora bien, todo parece anunciar que el sol se lleva consigo todos los planetas, como la tierra arrastra consigo su atmósfera, sus nubes, sus árboles y sus montes. El mismo sol no es mas que un planeta imperceptible con relacion á otro sol, alrededor del que gira, y este otro sol es sin duda trasportado por el espacio, sin que se pueda señalar, ni aun imaginar un centro fijo alrededor del que se verifiquen todas estas revoluciones.

7 *De la inercia.*—Hay dos modos de concebir las fuerzas que obran sobre la materia inorgánica. Se puede suponer que tienen una existencia separada, que están fuera de la materia, y que son independientes de ella: ó bien se puede admitir que son inherentes á la misma materia, y que no son mas que propiedades permanentes, de que fué dotada primitivamente. Estas dos suposiciones vienen á ser en el fondo una sola y misma cosa; pero cualquiera que sea la idea que pueda formarse de su origen y de su modo de existir, hay acerca de ellas y acerca de la materia, principios fundamentales que resultan de todos los fenómenos naturales que se producen á nuestra vista, y que se renuevan ó se perpetúan despues de tantos siglos. Estos dos principios constituyen lo que se llama *inercia* de la materia. El primero es, *que dejándo de obrar en un instante dado todas las fuerzas que obran sobre la materia, ella no obstante conserva su estado de reposo, ó de movimiento*. El segundo es, *que todas las fuerzas están sujetas á leyes de una infalible estabilidad*. Resulta del primer principio, que un átomo de materia, no puede ni darse movimiento, ni alterar el que haya recibido: y si dos átomos de materia pueden darse movimiento el uno al otro por sus atracciones, ó en general, por sus acciones mútuas, como la atraccion de la tierra da movimiento á una piedra que se abandona á sí misma, resulta del segundo principio, que este movimiento es producido por una ley determinada que no ha sufrido variacion alguna desde que el mundo existe. Así todas las mutaciones que sufre la materia, sea en su estado, en su reposo, ó en su movimiento, se deben atribuir á causas ó á fuerzas particulares; unas veces á fuerzas permanentes que continuan obrando, y que arreglan sus acciones segun las leyes inmutables á que están sujetas. Si un cuerpo se rompe ó se sale de su lugar, si pasa á ser mas duro ó mas blando, si se enfria ó se calienta, si se liquida ó se vaporiza, es porque ha sobrevenido una causa que le imprime estas modificaciones. Jamás una piedra se ha roto por sí misma, jamás se ha levantado sobre el suelo, jamás se la ha visto ni endurecerse ni ablandarse, ni calentarse ni enfriarse, ni liquidarse por sí misma, ni desaparecer en vapores. Si se corta el hilo que sostiene un cuerpo, se ve que cae y que se precipita con un movimiento cada vez mas rápido. Era precisa una causa para hacerle caer, y esta misma causa es la que continúa obrando y acelera su movimiento, por acciones repetidas. La tierra en su órbita alrededor del sol esperimenta, perpetuas variaciones; unas veces su curso es mas lento, otras mas rápido, pero es una causa que muda de energía, y por la ley de estas mutuaciones se conserva el equilibrio del mundo.

CAPITULO II.

PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS.

Divisibilidad.— Porosidad. — Compresibilidad. —Elasticidad.—Dilatabilidad.

8. Se llaman propiedades generales de los cuerpos las que son comunes á todos, sean sólidos, líquidos ó gaseosos. De estas propiedades las que importa mas conocer desde el principio de la física son:

1.° La divisibilidad.
2.° La porosidad.
3.° La compresibilidad.
4.° La elasticidad.
5.° La dilatabilidad.

Desde luego notamos que dependen de la estructura de los cuerpos y del arreglo interior de sus partes constitutivas. Si los cuerpos no fuesen compuestos, ni serian divisibles, ni porosos, ni compresibles, ni tampoco podrian tener el resorte que constituye la elasticidad, ni la facultad de aumentar de volúmen, que constituye la dilatabilidad. Por esta razon no seria exacto decir que estas propiedades son propiedades generales de la materia, porque de ningun modo pueden pertenecer á los átomos tales como los podemos comprender, y tales como los hemos definido; estas son propiedades del conjunto, y no de los elementos (1).

9. *Divisibilidad.*— Todos los cuerpos pueden ser divididos en muchas partes, y estas mismas partes en partículas mas y mas pequeñas, hasta que al fin escapen á los sentidos, y á los instrumentos. Esta propiedad tomada en general es la cosa mas conocida de todos. Todos saben que las barras de metal se rompen por un cierto esfuerzo, que las piedras se hacen pedazos á golpes de martillo, y que el diamante, que es el mas duro y el mas inalterable de cuantos cuerpos se conocen, puede tambien reducirse á polvo fino, que sirve para pulir su superficie. Pero lo que debe ocuparnos, y lo que particularmente debe haber excitado la curiosidad de los mas antiguos observadores, es el saber si todos los cuerpos son en efecto divisibles, y si todos lo son hasta el último grado de pequeñez que podamos percibir.

En cuanto á los cuerpos que son líquidos como el agua, es evidente que pueden ser divididos y subdivididos en partículas tan pequeñas, que sean al fin lo mas tenue que el tacto pueda sentir, y lo mas sutil que el ojo pueda ver; porque mirándolas no vemos en su superficie desigualdad alguna, y sumergiendo la mano dentro de su masa, no podemos tocar sus moléculas sintiéndolas distintamente, como sentiriamos los granos mas finos de arena.

En cuanto á los sólidos, tampoco podemos juzgar fácilmente de la magnitud, ó tenuidad de las últimas partes que los componen. Nada nos indica desde luego que entre estos cuerpos no se halle alguno, que siendo dividido hasta un cierto límite, se resistirá á toda division ulterior, y cuyas partes elementales aun gruesas y palpables, ó á lo menos muy perceptibles, no puedan ser subdivididas, ni alteradas de algun modo. Así los antiguos habian tenido gran cuidado de esperimentar bajo este aspecto á todos los cuerpos que conocian; y los modernos, que han sacado del seno de la tierra tantas nuevas substancias, las han tambien esperimentado para saber hasta qué punto se dividen. Despues de tantos esperimentos solo es permitido concluir, que en ningun cuerpo conocido hay límite alguno perceptible en la divisibilidad. Con todo, no seria rigoroso el estender esta consecuencia á todos los cuerpos que existen: porque si es necesaria la esperiencia para resolver la cuestion, ella en rigor no está resuelta, sino para los cuerpos que se han sometido á los esperimentos. Así no es absolutamente imposible, que los volcanes hagan salir un dia de las entrañas de la tierra, algunas substancias cuyos átomos sean para nosotros de una magnitud perceptible, y tampoco es imposible, que tales substancias se hallen en la masa de otros planetas (1).

Sin reproducir aquí todos los esperimentos que se han hecho sobre diferentes cuerpos, citaremos algunos ejemplos para demostrar, por una parte, que nuestros sentidos no pueden llegar sino hasta cierto grado de pequeñez, y por otra par-

(1) No es fácil definir cuales son las propiedades esenciales de la materia.

(1) La cuestion de que aquí se ocupa el autor, está intimamente unida á la antiguamente agitada acerca de la perfecta dureza de las mínimas partículas de los cuerpos.

te, que estas últimas partecillas que empiezan á escapar á nuestros sentidos, son aun compuestas de un número inmenso de partes distintas.

Juzgamos acerca de la magnitud de los objetos por los sentidos de la vista y del tacto; el gusto y el olfato nos instruyen acerca de su presencia sin manifestarnos nada de su forma; y es una cosa digna de notar, que por el sentido del oido, que en los ciegos es un instrumento de tan maravillosa delicadeza, para juzgar de las distancias, jamás podriamos llegar á formar la idea de una figura determinada, ni la de magnitud ni la de pequeñez.

El sentido del tacto está esparcido por todo el cuerpo tanto en su interior, como en la superficie, pero funciona de diversa manera en las diferentes partes. En el interior no tenemos mas que sensaciones vagas de los cuerpos estraños que nos tocan, ó que nos hieren, y si el contacto se prolonga, desaparece toda sensacion local: no esperimentamos mas que un sentimiento general, un modo de ser mas ó menos doloroso, cuya causa y sitio no sabemos fijar. Sin duda por un motivo semejante no sentimos dentro de nosotros mismos, ni las substancias sólidas como los huesos, ni las líquidas como la sangre, aun en el caso de circular con gran rapidez. En lo esterior todos los puntos de la superficie pueden sentir distintamente el contacto de los cuerpos estraños; pero el verdadero órgano del tacto es la mano. Se sabe que por su medio formamos la verdadera idea de los contornos, y de las formas geométricas de los cuerpos, y que tambien por ella podemos percibir los objetos mas finos. En una superficie pulida, la mano ejercitada de un ciego puede sentir granos de polvo de una tal tenuidad, que serian menester centenares de ellos para constituir la longitud de un milímetro. Una mano menos delicada puede sentir distintamente un hilo de lana, ó un hilo de seda de una sola hebra, sin embargo de que estos hilos no tienen comunmente mas que las dimensiones siguientes:

Diámetros en milímetros.

Lana ordinaria.... $0^{mm},05$, ó $\frac{5}{100}$ de milímetro.
Merinos............ $0^{mm},02$ „ $\frac{2}{100}$ „
Seda.................. $0^{mm},01$ „ $\frac{1}{100}$ „

La mayor parte de las pieles buscadas con ánsia, como el castor y el armiño, tienen una finura que está comprendida entre el merino y la seda; y la mayor parte de las lanas, están comprendidas entre los merinos y la lana ordinaria. Estos filamentos que tienen tan grande finura, y que son á corta diferencia las últimas magnitudes que el tacto pueda percibir, son, no obstante, cuerpos muy compuestos: cada uno de ellos tiene una estructura particular que solo el sentido de la vista puede darnos á conocer; cada uno de ellos contiene elementos muy diferentes, que son preparados por la nutricion, segregados por los órganos; y que la química puede separar, y de nuevo componer.

El vidrio que es un producto del arte, y en cuya composicion entran muchas substancias diferentes, puede ser hilado como la seda. Para hacer la esperiencia se toma un tubo de vidrio bastante fino, se presenta por la mitad de su longitud á la llama de una bugía, y cuando está calentado en este punto hasta el rojo-blanco, se estiran las dos mitades como para separarlas; entonces se forma entre ellas un hilo de una braza de longitud, que tiene toda la finura de la seda, y casi la misma flexibilidad; con todo, este hilo de vidrio tiene aun bastante espesor para formar él mismo un tubo que tiene sus paredes, y su canal interior por el que se pueden hacer pasar líquidos.

Podriamos llevar mucho mas allá los esperimentos sobre nuestra sensibilidad orgánica, si los cuerpos no se hiciesen demasiado flexibles á medida que se les divide en filamentos mas delgados. Si por ejemplo un hilo mil veces mas fino que un hilo de seda, pudiese tener la rigidez de una flecha, seria curioso observar el efecto de sus picaduras sobre diferentes puntos de la piel: se hallaria sin duda, que una flecha de esta especie nos podria atravesar en todas direcciones sin hacerse sentir y sin perturbar en lo mas mínimo las funciones de la vida.

El pulimento que reciben los cuerpos nos suministra otra prueba de la divisibilidad de la materia, y el contacto de las superficies pulidas es otra prueba del límite de las percepciones del tacto.

El acero pulido, los metales, el diamante y las piedras preciosas, no son para la mano mas que una sola y misma cosa; tocándolas no sentimos mas que una superficie geométrica, á pesar de que todas estas superficies están pulidas con los polvos finos del esmeril ó del diamante, y cada

molécula de polvo forma en ellas un sulco proporcionado á su magnitud; con esto se ve que hay cavidades y eminencias que el sentido del tacto no puede sentir.

Las últimas partículas de la materia que escapan al tacto son aun perceptibles á la vista (1). El ojo percibe sobre la piedra de toque las partecillas de oro que sirven para el ensayo, las que no serian conocidas por la mano mas delicada. Las burbujas de jabon que dan tan brillantes colores, son delgadísimas láminas de agua cuyo espesor midió Newton. Hácia su parte superior no tienen ordinariamente mas que $\frac{1}{1000}$ de milímetro, y se reducen á $\frac{1}{10000}$ cuando dejan ver una mancha negra al estar cerca de reventar. Las alas trasparentes de los insectos no tienen mas que un espesor con poca diferencia igual, y por este motivo brillan con aquel esplendor. En fin, las películas de vidrio que se hacen con el soplete, tienen tambien la misma tenuidad y los mismos colores; porque es una ley general que todos los cuerpos trasparentes, se coloran de los mas vivos matices, cuando no tienen mas que algunos cien-milésimos de milímetro de espesor, pero cuando son mas delgadas pasan á ser del todo invisibles. Una burbuja de jabon que no tuviese mas que $\frac{1}{100000}$ de milímetro de espesor, no podria ser percibida por medio alguno, aun en el caso que tuviese un diámetro muy grande.

En los cuerpos que no se estienden en superficie y no tienen mas que una dimension como los hilos de metal, y las fibras orgánicas, seria dificil señalar los límites de magnitud en que se deja de verlos distintamente con la simple vista. Estos límites dependen de la perfeccion del órgano, y de la intensidad de la luz, pero no es necesario estar muy ejercitado, ni tener un órgano muy perfecto, para percibir por medio de lentes y microscopios de un modo muy claro hilos que no tienen de diámetro mas que algunas milésimas de milímetro.

Se sabe que en las artes se emplean hilos de cobre, de hierro ó de plata, que son tan finos como los cabellos. La tirantez que se ejecuta para pasarlos por la hilera es lo que limita su finura, porque al fin son demasiado débiles para resistir á ella; pero por diferentes procedimientos ingeniosos que no se aplican mas que á ciertos metales se llega á construir hilos que son mas finos que la seda. El Dr. Wollaston ha formado hilos de platina que no tenian mas que $\frac{1}{1200}$ de milímetro de espesor, es decir que serian menester mas de ciento cuarenta de estos hilos para formar un hacecillo del grosor de un hilo de seda de una sola hebra. Aunque la platina es el mas pesado de todos los cuerpos conocidos, mil metros de longitud de este hilo no pesan mas que un grano. Para llegar á esté resultado, que parece ser el último término à que el arte pueda llegar, el Dr. Wollaston toma un hilo de platina de $\frac{1}{100}$ de pulgada inglesa de espesor, al que fija en el eje de un molde cilíndrico de $\frac{1}{5}$ de pulgada de diámetro, llena el molde de plata fundida y obtiene asi un cilindro de plata cuyo eje es de platina. Haciéndole pasar por la hilera, los dos metales se prolongan igualmente y conservan sus relaciones de espesor. Cuando en fin el hilo compuesto se halla en su mayor grado de finura, se hace hervir en el ácido nítrico, el que disuelve la capa de plata y pone á descubierto el hilo de platina.

Pues que la materia puede adelgazarse en su superficie, como en las burbujas de jabon y en las làminas de vidrio; y atenuarse prolongàndose, como en los hilos de platina; es evidente que puede estenderse del mismo modo en todos sentidos. Así podemos juzgar que todas las partecillas, que aun percibimos, son muy compuestas. Pero el reino orgánico nos ofrece pruebas de esto aun mas admirables. Se sabe en el dia de un modo cierto, que la sangre no es un líquido uniforme, tal como parece á la vista, y que su substancia se compone de una série de pequeños globos, que nadan en un líquido particular que se llama *serum*. Este descubrimiento se hizo con poca diferencia en el mismo tiempo por Malpighi en Italia, y en Holanda por Leeuwenhoeck en 1660, como cuarenta años despues que Harvey demostró la circulacion de la sangre. Estos globulillos son esféricos en la sangre del hombre y en la de los mamíferos, y son ovalados en las aves y en los peces. Sus dimensiones varian segun las especies; los mayores que se han observado son los del Calitriche de Africa y llegan á $\frac{1}{125}$ de milímetro; los de la cabra son los mas pequeños, y no llegan mas que á $\frac{1}{330}$ de milímetro. Los globulillos de sangre del hombre son intermediarios y parecen

(1) Vease el cálculo de la ductilidad del oro (Musch. ec phis. § 28) en que se demuestra, que un grano de oro puede presentar á la vista 3600000 partes visibles.

constantemente de $\frac{1}{120}$ de milímetro. Se puede calcular segun estos datos que hay cerca de un millon en la gota de sangre de un milímetro cúbico, que podria ser suspendida en la punta de un alfiler. En casi todos los demas mamíferos las dimensiones de los globulillos parecen comprendidas entre los dos últimos límites. Estos globulillos no son átomos, porque pueden ser divididos por acciones químicas y en seguida pueden volver á formarse, y no hay duda alguna que dan orígen á una multitud de partes distintas cuando pasan á la nutricion, porque las fibras musculares y las de los demas tejidos, se componen de globulillos muy diferentes de los de la sangre, y siempre mucho mas pequeños.

En fin, hay animales completos que son tan pequeños como los globulillos de la sangre y como las mas pequeñas cosas perceptibles. Podemos verlas y estudiarlas, pero este es el último término á que la vista pueda llegar; lo que es mas pequeño ya no tiene magnitud para nuestros sentidos, y tampoco tiene medida; este es el principio de lo indefinido en pequeñez, en donde se pierde nuestro pensamiento y que por mas que siga indefinidamente, no halla un punto en donde pueda detenerse.

No por esto fuera de ese último término de sensibilidad orgánica, es todo lo demas hipótesis y conjetura; estos animalillos son séres, y séres esencialmente compuestos de partes; son organizados, pues que están con vida y en movimiento: están provistos de sentidos, porque tienen fuerza é instinto. En los fluidos en que viven, ejecutan como los peces, movimientos rápidos y variados, se dirigen hácia una parte, evitan los obstáculos, y algunas veces los vencen; en fin, tienen necesidad de una presa, y saben buscarla y cogerla. Veremos en óptica, que en las últimas clases de los séres visibles, las costumbres no son menos curiosas para la observacion, que en las clases mas visibles: pero desde luego podemos concluir, que en el pequeño todo impalpable, que compone un individuo de esta especie, hay cosas distintas, partes blandas y partes sólidas, especies de articulaciones para los movimientos, y de canales para los fluidos: en fin, que en medio de esta excesiva pequeñez, hay una nutricion en todas las partes, y una circulacion necesarias. Así el raciocinio prosigue aun la divisibilidad de la materia, cuando nuestros sentidos no pueden ya evidenciarla mas; y como el conjunto de los fenómenos de la química nos conduce á admitir la existencia de los átomos, llegamos á esta consecuencia definitiva, que los átomos son incomparablemente mas pequeños, que las últimas partecillas que podemos alcanzar con el sentido mas delicado, auxiliado del mas perfecto instrumento.

10. *Porosidad.*— Se llaman *poros* los intervalos que se encuentran entre las diferentes partes de los cuerpos. Las especies de agujeros que se observan en la esponja, no son otra cosa que poros de una grande dimension; las mallas mas cerradas que componen su tejido, son poros algo mas pequeños; en fin, se encuentran aun entre sus mallas y entre las fibras que las componen, intersticios, que se llaman tambien poros, aunque sean de una tal finura que escapen á la vista. Así cuando concebimos una esponja de un cierto volúmen, de un decímetro cúbico por ejemplo, podemos con el pensamiento penetrar en su estructura interior, y distinguir en esta estension total, el espacio que está ocupado por las diferentes fibras de la esponja, y el espacio muy irregular y sinuoso que queda desocupado: debemos tambien concebir, que cada fibra aunque sea fina como un hilo de telaraña, es tabmien compuesta de partes distintas, y que estas partes están separadas las unas de las otras, como las fibras lo están entre sí.

El volúmen que no está ocupado mas que por la substancia propia de un cuerpo, es lo que se llama *volúmen real.* El espacio aparente que está limitado por su forma esterior, es lo que se llama *volúmen aparente.* Así el volúmen aparente disminuido en el volúmen real, es precisamente el volúmen total de todos los poros sumados. Cuando se comprime una esponja, su volúmen aparente se aproxima mas y mas á su volúmen real; pero jamás se la puede comprimir hasta el punto de no dejar intervalo alguno entre sus partes. Por lo que, el volúmen real es una cosa que concebimos muy fácilmente, pero que no la podemos hallar jamás; este es el motivo porque cuando hablamos de un volúmen, es siempre del volúmen aparente. Lo que decimos de la esponja, se aplica á todos los cuerpos cualquiera que sea su naturaleza, porque se ha visto por la divisibilidad, que todos están compuestos de partes separables, y por consiguiente, de partes distintas las unas de las otras; así en la realidad todos los

cuerpos están construidos como las esponjas. El acero y el diamante que son los cuerpos mas duros, el oro y la platina que son los mas compactos, tienen tambien un volúmen aparente; es menester tambien penetrar con el pensamiento en lo interior de su masa, y ver entre los átomos que los componen, intervalos que son incomparablemente mayores, que los mismos átomos.

Considerando la porosidad en este sentido el mas amplio, es riguroso el decir como se dice de ordinario, que todos los cuerpos son porosos; pero si no se habla mas que de la porosidad al través de la que se pueden hacer pasar líquidos ó gases, no es cierto que todos los cuerpos sean porosos; porque hay muchos al través de los que no se puede hacer pasar fluido alguno, por sutil que sea. Esta porosidad que da paso á cuerpos estraños, es la que nos importa conocer en la actualidad, y vamos á hacer ver por ejemplos y por esperimentos, que hay muchos cuerpos, aun de los mas compactos, que se empapan de fluidos.

No siendo los tejidos, producidos por el arte, otra cosa que un conjunto de fibras entrelazadas, no debe sorprender el que estas fibras dejen entre sí intervalos bastante grandes, para que los líquidos puedan penetrar en ellos. Así el papel, los fieltros y las estofas, son cuerpos cuya porosidad es por todos conocida. Sucede lo mismo con los cuerpos reducidos á polvo, los que son siempre permeables á los fluidos; por este motivo un monton de arena se humedece hasta su vértice; y tambien porque el fuego se conserva bajo la ceniza; porque si el aire no llegase al carbon, se estinguiria al instante.

Los filtros de que nos servimos en las operaciones de las artes y en los esperimentos químicos, no son otra cosa que cuerpos porosos, cuyos poros son bastante grandes para dejar pasar los líquidos, y bastante pequeños para detener todos los cuerpos estraños que tienen en suspension.

Todos los tejidos naturales, ya en el reino vegetal, ya en el animal, son tambien porosos. No es necesario hacer esperimentos para probarlo: basta notar que una planta, un árbol ó un animal, no era en su orígen mas que un embrion de muy pequeño volúmen, pues que todos los gérmenes son pequeños; que estos cuerpos se desarrollan poco á poco, que nada hay inerte ó muerto en su masa, que viven en todas sus partes, tanto en su interior, como en su superficie, y que es muy necesario que los fluidos puedan circular entre todas las fibras, para llevar á ellas la nutricion y mantener la vida.

Se puede añadir que hay canales particulares para esta circulacion de fluidos en los cuerpos vivientes, y que su porosidad está sujeta á leyes regulares como su organizacion. Sin duda que un animal ó un árbol no son obra del acaso, sus partes materiales no están amontonadas de un modo confuso, como las partecillas de un monton de arena. Pero tampoco es la casualidad la que ha construido los minerales y las montañas, sus materiales tienen tambien un cierto órden, y la porosidad en uno y otro caso, resulta del arreglo necesario, que las fuerzas dan á la materia.

Los cuerpos orgánicos que han perdido la vida, conservan aún esta disposicion vascular; pero no estando ya sujetos los diversos fluidos á las fuerzas particulares que les dirigian, se infiltran indistintamente al través de todos los poros que se presentan; unas veces se exhalan y el cuerpo viviente se seca como la madera; otras, quedan confundidos y dan orígen á una fermentacion que los destruye.

La madera que está sumergida en agua aumenta de peso y de volúmen; la que queda al aire, sea en las construcciones, sea en las obras de carpintería, se contrae en los tiempos secos y se hincha en los tiempos húmedos; todos estos efectos resultan de su porosidad, que es muy considerable, y no se puede remediar sino por pinturas ó barnices.

Los animales y las maderas petrificadas dan una prueba palpable de la porosidad, porque la substancia que las petrifica debe infiltrarse al través de la masa y penetrar todas las fibras.

Las substancias minerales son mas ó menos porosas, segun su naturaleza, y el arreglo de la materia que las compone. Las piedras que son opacas, y aquellas cuyas partes están muy irregularmente colocadas, son en general las mas porosas.

La creta y todas las piedras que se llaman calcáreas son de la misma naturaleza que el mármol: entre ellas no hay mas diferencia, que en el arreglo de las partes, y esto basta para que su porosidad sea muy diferente. Cuando se echa agua sobre un pedazo de creta, es absorvida al instante y penetra en sus poros; la que se echa sobre un pedazo de mármol queda en su superficie y no es absorvida. Asimismo si se echa un pedazo de creta en un vaso de agua, se ve una multitud de pequeñas ampollas que se elevan, al paso que si se le echa un pedazo de mármol, no se percibe nada de esto. Estas burbujas provienen del aire que llenaba los poros de la creta, el que ha sido arrojado por el agua á medida que ha penetrado. Si se quiere la prueba, basta romper el pedazo de creta que ha estado en el agua, el que se halla mojado hasta su centro; al paso que el pedazo de mármol apenas está mojado en su superficie. Esto no es porque el mármol con el tiempo no puede embeberse de agua; sino que para hacer pasar los líquidos por el interior de los cuerpos, que no son muy porosos, son necesarias en general dos condiciones, mucho tiempo, y mucha presion. Esto es el motivo porqué las piedras que se sacan del fondo de los rios, ó del fondo del mar están en general muy húmedas, particularmente si se las saca de una grande profundidad; pues que se verá que á tres ó cuatro mil metros bajo la superficie del agua, los cuerpos están comprimidos por el peso del líquido superior, como lo estarian por una prensa muy fuerte.

Entre las piedras silíceas como las ágatas y las piedras de fusil, se halla una que se llama *hidrofano*, cuya porosidad se manifiesta por un fenómeno singular. El esperimento es curioso. El hidrofano en su estado ordinario es semitrasparente, se sumerge un instante en el agua, y cuando se saca, es casi tan trasparente como el vidrio: el agua ha penetrado su masa, como el aceite penetra el papel; las burbujas de aire que se separan como en el esperimento de la creta, manifiestan el progreso de la absorcion: su volúmen total es igual al de los poros accesibles al agua; pero si se quiere tener este volúmen con mayor exactitud, basta pesar el hidrofano antes y despues de la operacion: la diferencia de peso será el peso del agua absorvida y será fácil deducir su volúmen.

Hay muchos fenómenos naturales, por los que podemos juzgar que las grandes masas minerales no tienen menor porosidad que las pequeñas, en las que podemos hacer los esperimentos. Se sabe, por ejemplo, que en las grutas mas profundas, el agua se filtra al través de las paredes, y que así es como viene á deponer las estaláctícas, las estalágmitas y todas las demas cristalizaciones cuyo conjunto ofrece un espectáculo tan sorprendente. Se sabe igualmente, que los montes cortados perpendicularmente, esperimentan cada año una especie de esfoliacion, una de cuyas causas esenciales, es la porosidad. Sus flancos se empapan de humedad cuando son batidos por la lluvia ò por los vientos húmedos; el frio del invierno congela esta agua, y aumenta su volúmen, resulta de esto una ruptura de adherencia en todas las capas superficiales, y cuando viene la primavera todas estas pequeñas hojas se separan poco á poco y caen hasta el otoño. Por este motivo al pié de las grandes escarpas, se amontonan capas á poca diferencia del mismo espesor, de las que podemos servirnos en geología para subir á los tiempos primitivos, en que las montañas han tomado la disposicion que conservan en el dia. En fin, los mismos metales dan pruebas sensibles de porosidad. Se llena de agua una esfera de oro y sujetándose á una fuerte presion, deja percibir sobre todos los puntos de su superficie pequeñas gotitas, semejantes á las del rocío. Este esperimento se hizo por primera vez en 1661 por los académicos de Florencia: despues ha sido repetido muy á menudo con metales diferentes y siempre con el mismo suceso.

Resulta de estos diferentes ejemplos de porosidad, que un gran número de cuerpos son bastante porosos para dejarse penetrar por los fluidos, desde que están en contacto con ellos; que hay otros que no se dejan penetrar sino despues de un tiempo mas ó menos largo y bajo una presion mas ó menos fuerte; en fin, que se encuentran otros como el vidrio que primero se reducirian á pedazos que dejarse penetrar. Apenas es necesario hacer notar que no todos los fluidos son igualmente sutiles para penetrar los cuerpos: el agua, el alcohol, el éter, las diferentes soluciones ácidas ó alcalinas, el mercurio, el aceite, el azufre fundido, el aire y los diferentes gases, no pueden insinuarse con la misma facilidad entre los intersticios de los cuerpos. Es muy útil para las esperiencias, que el vidrio sea absolutamente impenetrable á todos los fluidos.

11. *Compresibilidad.*—La compresibilidad es la propiedad que tienen los cuerpos de reducirse á un menor volúmen aparente, cuando se les comprime por todas partes. Se sabe que los tejidos muy porosos, son al mismo tiempo muy compresibles; la esponja puede reducirse al ter-

cio, al cuarto y aun á la décima parte de su volúmen aparente: el papel, las ropas, la madera y todos los tejidos que se dejan penetrar por los fluidos, pueden del mismo modo disminuir de volúmen y perder por la compresion los fluidos que contienen. Hay una multitud de procedimientos en las artes, que no son otra cosa que aplicaciones de este principio.

Las mismas piedras, cuando están cargadas de un gran peso, se comprimen hasta cierto punto. Las bases de los edificios y las columnas que sostienen su peso, dan pruebas evidentes de esto.

Los metales se *templan* por la percusion, se hacen mas compactos; sus partes se cierran entre sí y forman una masa mas densa.

Las monedas y las medallas reciben sus sellos por la accion de un balancin que les da un golpe súbito; esta presion es tan fuerte, que amolda el metal como la accion de la mano amoldaria en la cera; y no solo mudan de forma para amoldarse en los rasgos mas delicados de la efigie que lleva el cuño; sino que se comprime de tal modo, que la pieza acuñada tiene sensiblemente menos volúmen, que la que no lo es.

Los líquidos son en general mucho, menos compresibles que los sólidos. El agua disminuye muy poco en su volúmen, cuando se echa en un cañon, y se comprime con las fuerzas mas poderosas. El metal revienta antes de reducirse el agua á los $\frac{19}{20}$ de su volúmen; porque se verá en uno de los libros que siguen, que no se comprime mas que $\frac{45}{1000000}$ por cada atmósfera y que menos de mil atmósferas, bastan para hacer reventar un cilindro de bronce de tres pulgadas de espesor.

El aire y los gases son los cuerpos que se comprimen mas fácilmente y se reducen á menor volúmen. Puédese demostrar por un gran número de esperimentos; pero uno de los mas simples es el del eslabon de aire. Este aparato se compone de un tubo de vidrio de dos ó tres decímetros de longitud, cuyas paredes son muy fuertes (fig. 1). En su interior, que es perfectamente cilíndrico, se mueve un émbolo, que cierra exactamete en todas las posiciones que tome. Si el tubo estuviese lleno de agua, el émbolo no podria bajar, por ser el agua muy poco compresible; pero cuando está lleno de aire, la fuerza de la mano es suficiente para hacer bajar el émbolo y para reducir el volúmen al cuarto ó al quinto de lo que era antes. Se percibe que la resistencia aumenta á medida que el espacio disminuye, y que aumenta sucesivamente; pero cualquiera que sea el esfuerzo que se pueda hacer, jamás se llegaria á impeler el émbolo hasta el fondo; porque para esto seria menester que el aire perdiese su impenetrabilidad, es decir, que se aniquilase. Cuando el émbolo vuelve á tomar su posicion primitiva, el aire toma tambien su volúmen primitivo: así el aire no es compresible como los metales, que quedan con la impresion, y que no se restituyen á su volúmen primitivo, cuando el volante deja de comprimirles.

Los demas gases tienen la misma propiedad que el aire, y todos estos cuerpos no solo son propios para ser comprimidos, sino que en virtud de su fuerza espansiva pueden tomar volúmen mucho mayor.

Si encima del eslabon de aire se añadiese un tubo del mismo diámetro, y en lugar de impeler el émbolo hácia abajo se levantase por este nuevo tubo, el aire interior se esparciria por toda la capacidad, y tomaria un volúmen diez, ciento, mil, etc. veces mayor; y aun parece que no hay límite en esta espansion de los gases. Segun esto se podria de nuevo comprimir el émbolo y el volúmen se reduciria sucesivamente: se podria aun levantar de nuevo, y otra vez reducirle, y así sucesivamente sin que el aire conserváse el menor vestigio de las diferentes compresiones ó espansiones por las que habria pasado. Es muy notable la constitucion de estos cuerpos que pueden tomar así un volúmen cien mil veces mayor, y cien mil veces menor sin que deje de ejercerse una accion mútua entre sus moléculas.

Segun esto, tal vez se pensará que todo el aire de la atmósfera podria ser encerrado en un espacio muy pequeño, como por ejemplo, en la capacidad de una vejiga; pero veremos que si no hay límite para la expansion, lo hay necesariamente para la compresion ó reduccion de volúmen.

12. *Elasticidad.*—La elasticidad es la propiedad que tienen los cuerpos de volver á tomar su estado primitivo cuando cesa de obrar la causa que mudó su forma ó su volúmen.

El aire es perfectamente elástico, porque si se comprime una vejiga medio llena de aire, vuelve siempre á tomar su estado desde el instante que se deja de comprimirla. Del mismo modo cuando se ha introducido el émbolo del eslabon de aire vuelve á subir por sí mismo, el aire comprimido le eleva no obstante el rozamiento, y le vuelve al punto de donde salió. Sucede siempre lo mismo, cuando una causa cualquiera obra sobre un gas: desde el instante que deja de obrar, el gas vuelve exactamente al estado en que se hallaba antes. Este es el motivo porque los gases se llaman *fluidos elásticos*.

Los líquidos que han sido comprimidos, parece que nada conservan de las presiones que han sufrido, vuelven á tomar su volúmen, en el mismo instante en que cesa la accion de las causas comprimentes.

No hay cuerpo alguno sólido, que sea tan perfectamente elástico como los gases y los líquidos. El cautchouc, ó la goma elástica es, acaso, entre todos aquellos, el que tiene mayor elasticidad, y sin embargo, ya por el calor, ya por grandes compresiones prolongadas por mucho tiempo, ó repetidas á menudo, acaba por mudar su forma ó su volúmen.

La elasticidad de los sólidos, aunque imperfecta, no por esto deja de ser una propiedad muy importante, la que examinaremos muy circunstanciadamente en uno de los libros que siguen. Aquí nos contentaremos con hacer ver por medio de algunos esperimentos, que se manifiesta á diversos grados en diferentes cuerpos.

La elasticidad del marfil está bastante indicada por los movimientos singulares de las bolas de villar; pero se demuestra de un modo mas directo por medio del esperimento que sigue: se deja caer una bola ordinaria, ó una bola de una magnitud como la de una bala, contra un plano muy terso que se ha untado de aceite, al instante se eleva y vuelve á la altura de que habia salido, ó muy cerca de ella. Esta es sin duda una prueba suficiente de su elasticidad y por consiguiente de su mutacion de forma; pero si se mira el plano en el punto en que ha chocado, se ve en él una impresion tanto mas ancha, cuanto el choque ha sido mas vivo, lo que prueba de un modo cierto, que la bola no ha vuelto á subir, sino despues de haberse complanado como lo haria una vejiga llena de aire ó una burbuja de jabon; porque estas burbujas tan ligeras pueden tambien ser reflejadas por los cuerpos, y saltar sin romperse. Los globos de madera, de piedra de vidrio ó de metal, presentan con poca diferencia el fenómeno, como las de marfil, todas se aplastan mas ó menos antes de remontarse; lo que da una prueba de su compresibilidad, y todas cuando no han sido comprimidas muy vivamente, rebotan y vuelven á tomar su forma primitiva, lo que da una prueba de su elasticidad. Así en el de los cuerpos elásticos hay un doble fenómeno, el de la compresion, ó de la mutacion de forma, y el del completo restablecimiento de todas las partes. Una hoja de papel, y aun una hoja de plomo, no son cuerpos sin elasticidad; porque se pueden doblar ligeramente sin romperlas y sin que dejen de tomar su primera posicion; pero si se las dobla demasiado, su elasticidad es forzada, toman el nuevo pliegue y no hacen esfuerzo para volver á su primer estado.

Resultando siempre la elasticidad de un desarreglo de moléculas, sea que se haya tenido lugar por presion ó por flexion, ó bien por torsion ó por traccion, se ve fácilmente que para cada cuerpo hay límites á estos desarreglos y por consiguiente límites á la elasticidad. Los cuerpos son tanto mas elásticos, cuanto estos límites son mas estendidos: así las bolas de marfil, son mas elásticas que las balas de plomo, porque se rehacen con una compresion mucho mayor; las láminas de acero mas que las de vidrio, porque pueden doblarse mucho mas; los hilos de seda, mas que los de cobre y plata, porque pueden ser mucho mas torcidos; y las cuerdas de violon mas que los hilos de hierro, porque pueden ser mucho mas restirados, sin que por esto dejen de volver á su primera longitud. Pero si no se hace esperimentar á las moléculas de un cuerpo mas desarreglo, que el que permite su estado de agregacion, vuelven siempre exactamente á su posicion; y en este sentido se podria decir que todos los cuerpos, sin excepcion, están dotados de una elasticidad perfecta.

13. *Dilatabilidad.*—La dilatabilidad es la propiedad que tienen los cuerpos de mudar de volúmen, por el influjo del calor, hacerse mayores cuando se les calienta, contraerse cuando se les enfria, y volver á tomar exactamente las mismas dimensiones, cuando se les vuelve exactamente al mismo grado de calor ó de frio.

El aire se dilata tan fácilmente, que el simple calor de la mano aumenta mucho su volúmen. Para esperimentarlo, se toma un tubo de vidrio muy largo, de un diámetro interior de dos ó tres milímetros, en cuyo estremo haya una bola hecha al soplete. Se puede, por medio de ciertas precauciones, hacer entrar en él una columna de líquido colorado, que se mantenga en medio de la longitud del tubo en m (fig. 2), la que separa el aire interior del aire esterior. Hecho esto, cuando el líquido se halla en reposo, se aproxima la

mano á la esfera y al instante se ve subir la columna líquida, por lo que se ve que el aire interior aumenta de volúmen. Retirando despues la mano se ve que la columna baja poco á poco, y que vuelve en fin á su primera posicion; lo que prueba que volviendo á tomar el mismo grado de calor vuelve el aire á tomar el mismo volúmen.

Para hacer el mismo esperimento sobre los líquidos se toma un tubo semejante al anterior que se llena de agua ó de mercurio hasta la mitad de su longitud en m (fig. 3), en seguida se sumerge la bola en agua caliente, y la columna sube paulatinamente hasta á m': al contrario si se sumerge en hielo machacado la columna baja á m'', y vuelve aun á su posicion primitiva cuando se la vuelve á colocar en el aire como estuvo al principio. En los sólidos puede hacerse el esperimento de varios modos: uno de los mas simples consiste en tomar una barra de metal que ajuste exactamente entre dos piezas metálicas puestas en ángulo recto (fig. 4) sobre una plancha de madera de bastante espesor. Si se calienta la barra hasta enrojecerse, se alarga tanto que no puede ponerse en su lugar, pero disminuye en sus dimensiones si se la enfria, y en fin, cuando no tiene mas que el calor que tenia al principio conserva su longitud primitiva, y puede ponerse entre los puntos fijos.

Así, pues, todos los cuerpos son dilatables y de todo lo que en ellos puede variar, el volúmen es lo mas variable. En cada instante del dia y de la noche el calor varia por la accion del sol, y por otras muchas causas y todos los cuerpos que se hallan en la superficie de la tierra, participan de estas variaciones; todos están unas veces mas dilatados, otras mas contraidos, y jamas tienen las dimensiones fijas que les suponemos. Por un movimiento de todas las partes tanto interiores, como esteriores, se producen estas alternativas, y si la porosidad nos hace ver que estas partes no se tocan, la dilatacion nos demuestra al mismo tiempo que jamas están en reposo, y que nunca guardan las mismas distancias ni las mismas posiciones relativas. De lo que podemos, en fin deducir, que la materia que nos parece tan inerte tiene una actividad perpetua, en toda la estension de su masa, porque todas sus moléculas interiores y esteriores, están sujetas á causas que obran sin cesar, y que pueden continuamente esperimentar mutaciones en su intensidad.

CAPITULO III.

DEL EQUILIBRIO Y DEL MOVIMIENTO.

Nociones de Estática.

14. Un cuerpo se halla en *equilibrio* cuando las fuerzas que le solicitan se destruyen mútuamente, ó cuando son destruidas por alguna resistencia. Así un cuerpo se halla en equilibrio en el estremo de un hilo que lo tiene suspendido; porque la gravedad que le solicita es destruida por la resistencia del hilo, y por la del punto de suspension: si el hilo no es bastante resistente se rompe y el cuerpo cae; si el punto de suspension está mal asegurado, se lo llevará consigo el cuerpo. Algunas veces el equilibrio se verifica sin punto fijo y sin resistencia aparente. Los pezes mas pesados se ponen en equilibrio en el agua; un globo aereostático con sus arreos, su navecilla, y los observadores que lleva puede tambien ponerse en equilibrio en el aire; pero entonces la gravedad que solicitan estos cuerpos está exactamente destruida por presiones particulares, como se verá en uno de los capítulos que siguen.

Se puede decir que todos los cuerpos que parecen estar en reposo, no son mas que cuerpos en equilibrio, porque están siempre sujetos á la accion de muchas fuerzas que se destruyen mútuamente.

La *Estática* tiene por objeto las condiciones del equilibrio, y la *Dinámica* el determinar las leyes de los movimientos que se producen cuando las condiciones del equilibrio no se han verificado. La *Mecánica* comprende la estática y la dinámica, es decir las leyes del equilibrio y las del movimiento.

15. No se pueden medir las fuerzas sino tomando por unidad una fuerza convenida, como se miden las longitudes, ó los pesos tomando por unidad una longitud ó un peso determinado. Ademas, como la idea de magnitud no se aplica directamente á las fuerzac, es necesario definir con precision lo que se llama *fuerzas iguales*, *fuerzas dobles etc.*

Para que dos fuerzas sean iguales, es menester que se pongan en equilibrio, cuando se opone la una á la otra sobre un punto, ó en las estremidades de una línea recta inflexible. Dos fuerzas iguales dan una fuerza doble cuando se suman, es punto de donde salió. Sucede siempre lo mismo, cuando una causa cualquiera obra sobre un gas: desde el instante que deja de obrar, el gas vuelve exactamente al estado en que se hallaba antes. Este es el motivo porque los gases se llaman *fluidos elásticos*.

Los líquidos que han sido comprimidos, parece que nada conservan de las presiones que han sufrido, vuelven á tomar su volúmen, en el mismo instante en que cesa la accion de las causas comprimentes.

No hay cuerpo alguno sólido, que sea tan perfectamente elástico como los gases y los líquidos. El cautchouc, ó la goma elástica es, acaso, entre todos aquellos, el que tiene mayor elasticidad, y sin embargo, ya por el calor, ya por grandes compresiones prolongadas por mucho tiempo, ó repetidas á menudo, acaba por mudar su forma ó su volúmen.

La elasticidad de los sólidos, aunque imperfecta, no por esto deja de ser una propiedad muy importante, la que examinaremos muy circunstanciadamente en uno de los libros que siguen. Aquí nos contentaremos con hacer ver por medio de algunos esperimentos, que se manifiesta á diversos grados en diferentes cuerpos.

La elasticidad del marfil está bastante indicada por los movimientos singulares de las bolas de villar; pero se demuestra de un modo mas directo por medio del esperimento que sigue: se deja caer una bola ordinaria, ó una bola de una magnitud como la de una bala, contra un plano muy terso que se ha untado de aceite, al instante se eleva y vuelve á la altura de que habia salido, ó muy cerca de ella. Esta es sin duda una prueba suficiente de su elasticidad y por consiguiente de su mutacion de forma; pero si se mira el plano en el punto en que ha chocado, se ve en él una impresion tanto mas ancha, cuanto el choque ha sido mas vivo, lo que prueba de un modo cierto, que la bola no ha vuelto á subir, sino despues de haberse complanado como lo haria una vejiga llena de aire ó una burbuja de jabon; porque estas burbujas tan ligeras pueden tambien ser reflejadas por los cuerpos, y saltar sin romperse. Los globos de madera, de piedra de vidrio ó de metal, presentan con poca diferencia el fenómeno, como las de marfil, todas se aplastan mas ó menos antes de remontarse; lo que da una prueba de su compresibilidad, y todas cuando no han sido comprimidas muy vivamente, rebotan y vuelven á tomar su forma primitiva, lo que da una prueba de su elasticidad. Así en el de los cuerpos elásticos hay un doble fenómeno, el de la compresion, ó de la mutacion de forma, y el del completo restablecimiento de todas las partes. Una hoja de papel, y aun una hoja de plomo, no son cuerpos sin elasticidad; porque se pueden doblar ligeramente sin romperlas y sin que dejen de tomar su primera posicion; pero si se las dobla demasiado, su elasticidad es forzada, toman el nuevo pliegue y no hacen esfuerzo para volver á su primer estado.

Resultando siempre la elasticidad de un desarreglo de moléculas, sea que se haya tenido lugar por presion ó por flexion, ó bien por torsion ó por traccion, se ve fácilmente que para cada cuerpo hay límites á estos desarreglos y por consiguiente límites á la elasticidad. Los cuerpos son tanto mas elásticos, cuanto estos límites son mas estendidos: así las bolas de marfil, son mas elásticas que las balas de plomo, porque se rehacen con una compresion mucho mayor; las láminas de acero mas que las de vidrio, porque pueden doblarse mucho mas; los hilos de seda, mas que los de cobre y plata, porque pueden ser mucho mas torcidos; y las cuerdas de violon mas que los hilos de hierro, porque pueden ser mucho mas restirados, sin que por esto dejen de volver á su primera longitud. Pero si no se hace esperimentar á las moléculas de un cuerpo mas desarreglo, que el que permite su estado de agregacion, vuelven siempre exactamente á su posicion; y en este sentido se podria decir que todos los cuerpos, sin excepcion, están dotados de una elasticidad perfecta.

13. *Dilatabilidad.*—La dilatabilidad es la propiedad que tienen los cuerpos de mudar de volúmen, por el influjo del calor, hacerse mayores cuando se les calienta, contraerse cuando se les enfria, y volver á tomar exactamente las mismas dimensiones, cuando se les vuelve exactamente al mismo grado de calor ó de frio.

El aire se dilata tan fácilmente, que el simple calor de la mano aumenta mucho su volúmen. Para esperimentarlo, se toma un tubo de vidrio muy largo, de un diámetro interior de dos ó tres milímetros, en cuyo estremo haya una bola hecha al soplete. Se puede, por medio de ciertas precauciones, hacer entrar en él una columna de líquido colorado, que se mantenga en medio de la longitud del tubo en m (fig. 2), la que separa el aire interior del aire esterior. Hecho esto, cuando el líquido se halla en reposo, se aproxima la

mano á la esfera y al instante se ve subir la columna líquida, por lo que se ve que el aire interior aumenta de volúmen. Retirando despues la mano se ve que la columna baja poco á poco, y que vuelve en fin á su primera posicion; lo que prueba que volviendo á tomar el mismo grado de calor vuelve el aire á tomar el mismo volúmen.

Para hacer el mismo esperimento sobre los líquidos se toma un tubo semejante al anterior que se llena de agua ó de mercurio hasta la mitad de su longitud en m (fig. 3), en seguida se sumerge la bola en agua caliente, y la columna sube paulatinamente hasta á m': al contrario si se sumerge en hielo machacado la columna baja á m'', y vuelve aun á su posicion primitiva cuando se la vuelve á colocar en el aire como estuvo al principio. En los sólidos puede hacerse el esperimento de varios modos: uno de los mas simples consiste en tomar una barra de metal que ajuste exactamente entre dos piezas metálicas puestas en ángulo recto (fig. 4) sobre una plancha de madera de bastante espesor. Si se calienta la barra hasta enrojecerse, se alarga tanto que no puede ponerse en su lugar, pero disminuye en sus dimensiones si se la enfria, y en fin, cuando no tiene mas que el calor que tenia al principio conserva su longitud primitiva, y puede ponerse entre los puntos fijos.

Así, pues, todos los cuerpos son dilatables y de todo lo que en ellos puede variar, el volúmen es lo mas variable. En cada instante del dia y de la noche el calor varia por la accion del sol, y por otras muchas causas y todos los cuerpos que se hallan en la superficie de la tierra, participan de estas variaciones; todos están unas veces mas dilatados, otras mas contraidos, y jamas tienen las dimensiones fijas que les suponemos. Por un movimiento de todas las partes tanto interiores, como esteriores, se producen estas alternativas, y si la porosidad nos hace ver que estas partes no se tocan, la dilatacion nos demuestra al mismo tiempo que jamas están en reposo, y que nunca guardan las mismas distancias ni las mismas posiciones relativas. De lo que podemos, en fin deducir, que la materia que nos parece tan inerte tiene una actividad perpetua, en toda la estension de su masa, porque todas sus moléculas interiores y esteriores, están sujetas á causas que obran sin cesar, y que pueden continuamente esperimentar mutaciones en su intensidad.

CAPITULO III.

DEL EQUILIBRIO Y DEL MOVIMIENTO.

Nociones de Estática.

14. Un cuerpo se halla en *equilibrio* cuando las fuerzas que le solicitan se destruyen mútuamente, ó cuando son destruidas por alguna resistencia. Así un cuerpo se halla en equilibrio en el estremo de un hilo que lo tiene suspendido; porque la gravedad que le solicita es destruida por la resistencia del hilo, y por la del punto de suspension: si el hilo no es bastante resistente se rompe y el cuerpo cae; si el punto de suspension está mal asegurado, se lo llevará consigo el cuerpo. Algunas veces el equilibrio se verifica sin punto fijo y sin resistencia aparente. Los pezes mas pesados se ponen en equilibrio en el agua; un globo aereostático con sus arreos, su navecilla, y los observadores que lleva puede tambien ponerse en equilibrio en el aire; pero entonces la gravedad que solicitan estos cuerpos está exactamente destruida por presiones particulares, como se verá en uno de los capítulos que siguen.

Se puede decir que todos los cuerpos que parecen estar en reposo, no son mas que cuerpos en equilibrio, porque están siempre sujetos á la accion de muchas fuerzas que se destruyen mútuamente.

La *Estática* tiene por objeto las condiciones del equilibrio, y la *Dinámica* el determinar las leyes de los movimientos que se producen cuando las condiciones del equilibrio no se han verificado. La *Mecánica* comprende la estática y la dinámica, es decir las leyes del equilibrio y las del movimiento.

15. No se pueden medir las fuerzas sino tomando por unidad una fuerza convenida, como se miden las longitudes, ó los pesos tomando por unidad una longitud ó un peso determinado. Ademas, como la idea de magnitud no se aplica directamente á las fuerzac, es necesario definir con precision lo que se llama *fuerzas iguales*, *fuerzas dobles etc.*

Para que dos fuerzas sean iguales, es menester que se pongan en equilibrio, cuando se opone la una á la otra sobre un punto, ó en las estremidades de una línea recta inflexible. Dos fuerzas iguales dan una fuerza doble cuando se suman, es decir, cuando se las hace obrar en el mismo sentido y en la misma direccion: se obtendria una fuerza triple, si se hicieran obrar en un mismo sentido tres fuerzas iguales, y así sucesivamente.

Segun esto, si se conviene en representar una fuerza por un número ó por una línea, el duplo de esta será representado por un número doble, ó por una línea doble, etc. Así es que podemos siempre representar las fuerzas por magnitudes numéricas ó lineares, y hacer con ellas las mismas operaciones que practicamos con estas magnitudes.

16. Cualquiera que sea el número de las fuerzas que obran sobre un punto, y cualesquiera que sean sus direcciones, no pueden por último resultado imprimir á este punto mas que un solo movimiento y en una direccion determinada. Pero puede concebirse que existe una fuerza, que sola seria capaz de producir el mismo efecto; y esta fuerza única que podria reemplazar el conjunto de todas las demas, es la que se llama *resultante*. Así cuando una nave se mueve á la vez por la fuerza de la corriente, por la de los remos, y por la del viento, se puede concebir una fuerza única, un hilo bastante fuerte, por ejemplo, que estando atado á la nave fuese tirado en una direccion determinada y con tal fuerza, que por sí solo le imprimiese cada instante el mismo movimiento que todas estas fuerzas reunidas; este hilo seria la resultante. Dejando de obrar la corriente los remos y el viento, y substituyéndoseles el hilo de que se acaba de hablar, nada se cambiará en cuanto al resultado.

El conjunto de fuerzas que concurren á producir un efecto, se llama un *sistema de fuerzas*. Estas fuerzas se llaman tambien *componentes*, cuando se las considera con relacion á la *resultante* que podria reemplazarlas. Es evidente que si á un sistema de fuerzas se añadiese una nueva fuerza, que fuese igual á la resultante y dirigida en sentido contrario, el equilibrio tendria lugar en este nuevo sistema de fuerzas. Esta es la propiedad característica de la resultante.

Así en el ejemplo que se ha escogido, mientras que las fuerzas de la corriente, del viento, y de los remos ejercen su accion, si se atase un hilo bastante resistente dirigido en sentido contrario al que representa la resultante, y tirado con el mismo esfuerzo, esta nueva fuerza produciria el equilibrio: el barco estaria mas fijo que si estuviese anclado; no podria avanzar ni retroceder, ni moverse por ningun lado hasta que llegase alguna fuerza nueva, ó aconteciese alguna variacion en las fuerzas que perturbase el esfuerzo con que se destruian.

17. *Resultante de muchas fuerzas que obran en la misma direccion.*—Cuando todas las fuerzas que obran sobre un punto tienden á moverle segun una misma línea, pueden presentarse dos casos: 1.° si todas estas fuerzas obran en el mismo sentido, la resultante es igual á su suma: 2.° si las unas obran en un sentido y las otras en sentido opuesto, la resultante es igual á la diferencia de las dos resultantes parciales, y obra en la direccion de la mayor.

18. *Resultante de dos fuerzas que obran en direccion angular sobre un mismo punto.*—Dos fuerzas obran sobre el punto a (fig. 5), la una en la direccion de ax, y la otra en la direccion de ay: la magnitud de la primera está representada por ab, y la de la segunda por ac: es claro que el punto a no puede moverse ni en la direccion ab, ni en la de ac, y que debe tomar una direccion intermedia. Esto es lo que el buen sentido nos indica desde luego; pero es casi lo único que nos puede hacer ver: porque para determinar la direccion de la resultante y su intensidad con relacion á las componentes, es menester recurrir á consideraciones que se deben suprimir aquí. Nos contentaremos con enunciar el principio general de la *composicion de las fuerzas*; porque es muy simple y muy fácil de comprender. Ved aquí en qué consiste: se construye el paralelógramo $abrc$ sobre las magnitudes de las dos fuerzas dadas y se tira la diagonal ar; esta diagonal representa á la vez la *magnitud y la direccion* de la resultante. Así el punto a solicitado por las dos fuerzas ab y ac, se halla exactamente en el mismo caso, que si fuese solicitado por una sola fuerza que fuese dirigida segun az y que tuviese una intensidad igual á ar. Este principio es tan verdadero para las fuerzas iguales, como para las desiguales, para las que forman un ángulo agudo, como para las que hacen un ángulo cualquiera, recto ú obtuso; este es el principio fundamental de toda la estática, el que es conocido con el nombre de *paralelógramo de las fuerzas*.

Cuando las dos fuerzas son iguales la resultante divide siempre el ángulo en dos partes iguales;

pero en cuanto á su magnitud unas veces es igual á la de las componentes, otras mayor y otras menor (fig. 6, 7, 8).

Cuando las dos fuerzas son desiguales, la resultante divide su ángulo en dos partes desiguales y siempre está mas aproximada á la mayor (fig. 9).

19. Supuesto que dos fuerzas pueden ser reemplazadas por una sola, recíprocamente una sola fuerza puede ser reemplazada por otras dos; y se ve ademas que hay una infinidad de sistemas diferentes que pueden dar lugar á una misma resultante (fig. 10), y que hay una infinidad de modos de reemplazar una sola fuerza por el sistema de otras dos, cuando no se exige nada ni relativo á su magnitud, ni á su direccion: pero si se pide, por ejemplo, (fig. 11) el reemplazar la fuerza ar por otras dos, de las que la una se dirija segun ay y cuya intensidad sea ac, entonces el problema está determinado; porque no hay mas que un modo de terminar el paralelógramo, y de hallar la componente ab.

20. *Resultante de un número cualquiera de fuerzas que obran sobre el mismo punto.*—Cuando se sabe hallar la resultante de dos fuerzas que obran sobre un mismo punto, se halla fácilmente la resultante de cualquiera número de fuerzas; porque se toma la derivada de las dos primeras, despues la derivada de esta y de la tercera fuerza, despues la de esta nueva resultante y de la cuarta fuerza, y asi sucesivamente, empezando á discrecion por la una ó por la otra (fig. 12).

21. *Resultante de dos fuerzas paralelas.*—Cuando dos fuerzas paralelas ab y cd (fig. 13) obran sobre una línea ac, pueden tambien ser reemplazadas por una fuerza única que es su resultante, cuya intensidad, direccion y punto de aplicacion se hallan por los principios que siguen.

1.° La resultante de dos fuerzas paralelas es igual á su suma, cuando obran en el mismo sentido, y á su diferencia, cuando obran en sentido contrario.

2.° Esta resultante es paralela á las componentes.

3.° Esta resultante ó derivada es aplicada al punto g, de suerte que las distancias ag y cg estén en razon inversa de las fuerzas ab y cd. Este punto de aplicacion de la resultante, se llama *centro de las fuerzas paralelas*. Es una propiedad notable de este punto, el que no cambie de lugar, cuando las fuerzas mudan de direccion absoluta, conservando su paralelismo; porque si las mismas fuerzas obrasen segun am y segun cn, su resultante pasaria aun por el punto g, porque no habiendo mudado las fuerzas de intensidad, sus magnitudes estarian aun en razon inversa de las distancias ag y cg.

La resultante de un número cualquiera de fuerzas paralelas, se halla, componiendo desde luego las dos primeras, despues su resultante con la tercera, y así sucesivamente.

22. *De los pares.*—Dos fuerzas iguales, paralelas y opuestas, que obren en direccion angular sobre una línea ac (fig. 14), forman lo que se llama un *par*. Segun lo que se acaba de decir, la resultante de un par es igual á *cero*; y sin embargo, el sistema no está en equilibrio. Este es uno de los casos muy particulares en que dos fuerzas no pueden ser reemplazadas por una sola. Un par puede transformarse en otro, de una infinidad de maneras; pero jamas se le puede reemplazar por una fuerza única; y por consiguiente, un par, no tiene condicion alguna de equilibrio; si se le deja obrar, hace girar la línea ac hasta que se ha desplegado segun la longitud $dcab$ (fig. 15), en este caso ya no hay par, y el equilibrio es estable: si se hubiese replegado el par en la posicion señalada (fig. 16) habria tambien equilibrio; pero equilibrio inestable, porque desplegándola un poco, haria girar la línea y se desplegaria del todo.

23. *Palanca.*—Se llama *palanca* una vara recta ó curva, que puede girar al rededor de un punto fijo que se llama *punto de apoyo*. Una palanca no puede jamás hallarse en equilibrio bajo la accion de una sola fuerza; á menos que la prolongacion de esta fuerza no pase por el punto fijo.

Si una palanca se halla solicitada por dos fuerzas situadas en el mismo plano, hay dos condiciones para que queden en equilibrio: *es menester en primer lugar, que estas fuerzas tiendan á hacerla girar en sentido contrario*; y *en segundo lugar, que sus intensidades respectivas estén en razon inversa de los brazos de la palanca.* Se llama *brazo de la palanca de una fuerza*, la longitud de la perpendicular tirada desde el punto de apoyo sobre la direccion de esta fuerza, prolongada si es menester: así fp (fig. 22) es el brazo de la palanca de la fuerza ab, y fq el de la fuerza dc. Suponiéndose estas fuerzas en el mismo plano, se vé que tienden á hacerla girar en sentidos contrarios y que llenan la primera condicion; pero para que llenen la segunda, es menester que la *primera fuerza contenga á la segunda tantas veces, como el brazo de la palanca de la segunda contiene al brazo de la primera*. Si por ejemplo, *ab* es doble de *cd*, será preciso que *fq* sea doble de *fp*. Si *ab* fuese mil veces *cd*, seria menester que *fq* fuése mil veces *fp*. Estas condiciones de equilibrio se aplican á un gran número de maquinas, que no son, en último resultado, mas que sistemas de palancas mas ó menos complicados: en la cabria, y en el cabrestante, por ejemplo, (fig. 19 y 20) la resistencia *r* y la potencia tangencial *p* que tiende á vencerla, están entre sí en razon inversa de sus brazos de palanca, ó del radio *ab* del cilindro y del radio *cd* de la rueda (1).

24. *Presion sobre el punto de apoyo*.—En el equilibrio de la palanca, el punto fijo sufre cierta presion, la que es útil conocer. Para esto basta trasportar las fuerzas al punto de encuentro de sus direcciones prolongadas (fig. 23), y buscar la resultante por la regla del paralelógramo de fuerzas; esta resultante pasa por el punto de apoyo y espresa por consiguiente, la magnitud y la direccion de la presion que esperimenta. Si las fuerzas fuesen paralelas (fig. 24), se sabe que la resultante seria paralela á las componentes, é igual á su suma.

25. En el uso comun, se emplea la palanca para levantar fardos; entonces una de las dos fuerzas se llama la *resistencia*, y es el fardo que se quiere levantar, la otra se llama *potencia*; esta es la fuerza cualquiera, que se ha puesto en accion para levantar el fardo. En este caso la condicion de equilibrio se espresa en estos términos: *la potencia y la resistencia están en razon inversa de sus brazos de palanca*.

Se distinguen ademas tres especies de palancas, segun las posiciones que guarden el punto de apoyo *a*, y los puntos de aplicacion de la potencia *p* y de la resistencia *r* (fig. 21). En la *palanca de primer género*, el punto de apoyo está entre la potencia y la resistencia: la balanza es una palanca de esta especie; en la de *segundo género*, la resistencia se halla entre el punto de apoyo y la potencia; en la de *tercer género*, la potencia cae entre el punto de apoyo y la resistencia (1).

Quien quiera mayores conocimientos, puede ver la mecánica de M. Poisson, y la estática de M. Poinsot.

26. *Movimiento uniforme*.—El movimiento uniforme es aquel en el que el móvil corre espacios iguales en tiempos iguales. Así, concibamos un móvil que corre una línea recta y un relox que mida el tiempo; si en cada minuto el móvil adelanta la misma longitud de sesenta métros, por ejemplo, y cada medio minuto treinta métros, veinte en cada tercio de minuto, se moverá con movimiento uniforme. Puesto que los espacios son iguales en tiempos iguales, resulta que la relacion del espacio al tiempo es una cantidad constante; esta relacion es la que se llama la velocidad del movimiento uniforme (2). Cuando se toma un tiempo doble ó triple, el espacio es doble ó triple y la relacion no cámbia. El número que representa la velocidad, depende de las unidades que se han escogido para el espacio y para el tiempo, y seria una mala espresion de la velocidad, espresarla por un número, sin designar las unidades que han servido para hallar este número. Los movimientos uniformes son mas lentos ó mas rápidos, segun que su velocidad es mayor ó menor; el viento regular no corre mas que 60 métros en un minuto, el de las borrascas corre hasta 2700 métros; por lo que este último movimiento es 45 veces mas rápido que el primero.

---

(1) El principio sencillísimo en que estriba toda la mecánica, es el antes enunciado por el autor, á saber: *que para el equilibrio, las intensidades respectivas de las fuerzas, están en razon inversa de las perpendiculares tiradas desde el punto de apoyo á las direcciones de las mismas:* aplicando este principio á las diversas máquinas simples; llamando *p* la potencia, r la resistencia, da: para la cabria (fig. 19) p : r : : ab : cd; y $p = \frac{rab}{cd}$; lo mismo para el cablestante (fig. 20): para el tornillo (fig. 1. n) llamando *h* á la distancia entre la línea de su *hélice*, que se dice paso del tornillo, y C la circunferencia que la potencia tiende á hacer describir á su punto de aplicacion, será r : p : : h : C; para una polea movible (f. 2. n) r = 2 p; para un sistema movible de poleas unidas (f. 3. n) p : r : : 2 n : 1 significando n el número de poleas: finalmente, para un sistema de poleas movibles y separadas (f. 4. n) será p : r : : 2^n : 1, y p = r. 2^n

(1) Los movimientos del cuerpo humano se efectúan por palancas, los mas por las del tercer género.

(2) Para el movimiento uniforme, se tendrá $v = \frac{e}{t}$, de donde e = vt, representando *e* el espacio, *t* el tiempo y *v* la velocidad.

27. Por ser inerte la materia, un cuerpo que esté animado de un movimiento uniforme, debe moverse perpetuamente en la misma direccion y con la misma velocidad; á menos que otra fuerza venga á obrar sobre él, sea solo para mudar su direccion, ó para mudar á la vez, la direccion y la velocidad: porque un cuerpo nada puede cambiar por sí solo, ni en su estado de reposo, ni en el de movimiento. Así es como debe entenderse la *inercia* y no como la entendian los antiguos filósofos, quienes querian á todo trance, que la materia tuviese una tendencia para la quietud. Comparaban los cuerpos á hombres perezosos; estos, decian ellos, buscan el reposo, tienen horror al trabajo; del mismo modo la materia tiene horror al movimiento, tiende á ponerse en quietud desde que se deja de impelerla. Así para ellos inercia significaba lo mismo que pereza. Pero por lo que se ha dicho, se vé que son tres cosas esenciales las que constituyen la inercia; 1.° la necesidad de una fuerza para dar movimiento á la materia; 2.° la permanencia del movimiento, cuando la fuerza ha dejado de obrar; 3.° la necesidad de una nueva fuerza, para mudar el movimiento que ha recibido.

Cuando vemos un movimiento que disminuye, que cesa, ó que muda de un modo cualquiera, podemos estar seguros de que hay algunas causas de estas variaciones; una piedra que arrojemos hácia el sol, deberia marchar hasta él, si no fuese detenida por la resistencia del aire y por la gravedad que la llama á la tierra; una bola de billar una vez puesta en movimiento, rodaria de un lado á otro sin que jamás se detuviese, si no esperimentase tambien la resistencia del aire y un rozamiento mas ó menos considerable sobre los hilos del tapiz.

28. La mayor parte de las fuerzas que ponen los cuerpos en movimiento, no obran de un modo directo, sino sobre un pequeño número de moléculas, que componen los cuerpos. Así cuando se choca una bola de billar, no se tocan mas que algunos puntos de su superficie; cuando el viento impele un barco, no obra mas que en las velas; y cuando la pólvora arroja una bala, los gases que se desarrollan y que dan el impulso, no impelen ni tocan mas que su hemisferio interior. Sin embargo, todas las partes de este cuerpo se mueven, así aquellas sobre las que la fuerza no obra, como las que impele directamente. Es menester, pues, que se haga una reparticion de movimiento entre todas las moléculas, y una reparticion igual, á fin de que ninguna se adelante, ni se retarde: las que son directamente chocadas impelen las vecinas, éstas las que siguen, y así sucesivamente hasta que en fin, toda la masa es conmovida y todas sus partes se mueven con un movimiento comun. El movimiento, para pasar de una molécula á otra y para difundirse en toda la masa, necesita cierto tiempo, que no es muy grande; pero que tampoco es infinitamente pequeño: la duracion de esta difusion del movimiento es análoga á la duracion que es necesaria, para que un fluido se esparza en un vaso y se ponga á nivel: depende de la masa y de la naturaleza del cuerpo: este es el motivo porqué jamas hay movimiento que sea absolutamente instantáneo. Este principio se estiende á toda la materia, aun á la que entra en la composicion de los cuerpos orgánicos. En el animal mas vivo, el movimiento no es tan rápido como el pensamiento: es menester cierto tiempo, aunque muy corto, para que tome su energía y velocidad. Una ave puede ver la flecha que va á herirla; pero la flecha es mas rápida que las contracciones musculares, y aunque no hubiese de hacer mas que volver la cabeza para evitar el golpe, la cabeza es atravesada, antes que el juego de los músculos haya producido su efecto. Habria curiosas indagaciones que hacer sobre la rapidez de la contraccion de los diferentes órganos en los diversos animales.

29. *De la cantidad de movimiento*.—Cuando una fuerza obra sobre un cuerpo, cuando el movimiento se ha difundido sobre todas las partes de la masa, y todas se mueven con una velocidad comun, la fuerza ha producido todo su efecto y se puede decir que ha pasado al móvil, que se ha difundido en él, y que queda en él como si estuviese encerrada.

Así el proyectil arrojado por la mano, por un resorte que se suelta, por un choque rápido, ó por una esplosion súbita, se va corriendo el espacio para obedecer á la fuerza que ha producido su efecto, y que en la actualidad no obra ya sobre él. Si este proyectil nada encontrase, ni aire, ni agua, ni fluido, ni cuerpo alguno en reposo, ni en movimiento; si ademas ninguna otra potencia obrase sobre él, se iria segun la línea de impulsion que ha recibido primeramente, y la recorreria con un movimiento uniforme, sin desviarse y sin detenerse: despues de un siglo, lo mismo que despues de un segundo, tendria aun la misma direccion y la misma velocidad. Esta permanencia del movimiento es, como se ha visto, uno de los atributos de la inercia, se puede espresar diciendo, que la accion de una fuerza no dura mas que un instante, y que el efecto que produce *continúa* eternamente.

Así es que el móvil conserva la impresion de la fuerza á que ha estado sujeto, y se concibe que permaneciendo una misma, la fuerza produciria efectos muy diferentes sobre diversos móviles. La carga de pólvora que arroja una bala, apenas podria levantar una bomba, y se sabe que el arco que arroja una ligera flecha, no podria lanzar con la misma velocidad una flecha mas pesada. Se oye decir generalmente, que esta diferencia depende de la gravedad; pero esta es una esplicacion muy engañosa, porque parece indicar, que si los cuerpos dejasen de ser pesados, todos serian arrojados con la misma velocidad, lo que es un grande error. Supongamos por un momento, que los cuerpos de que acabamos de hablar dejen de ser pesados, supongamos tambien que no hay aire que se oponga á su movimiento, sucederia aun que la bala marcharia con mas velocidad que la bomba, y que la flecha de madera iria mas rápida que la de hierro; porque la misma fuerza aplicada á cantidades diferentes de materia, imprime una velocidad tanto menor, cuanto la cantidad de materia es mayor. He aquí sobre este punto importante un axioma que es un principio esencial de mecánica: *Cuando una misma fuerza obra sobre móviles diferentes, les imprime velocidades que están en razon inversa de sus masas, ó de la cantidad de materia de que se componen.* Así la misma fuerza de esplosion que arrojaria sucesivamente balas de plomo, cuyos volúmenes, y por consiguiente sus cantidades de materia, fuesen como 1 2, 3, 4 etc. les imprimiria velocidades como 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ etc. de tal modo que la bala cuya masa fuese 10, no recibiria mas que una velocidad como $\frac{1}{10}$, aquella cuya masa fuese 100 recibiria una velocidad cien veces menor, y asi las demas; de donde se ve que en cada una, la masa multiplicada por la velocidad da el mismo número; porque en la primera este producto es $1 \times 1 = 1$, en la segunda $2 \times \frac{1}{2} = 1$, etc. A este producto de la masa multiplicada por su velocidad, se le llama *cantidad de movimiento* (1). Síguese de aquí que una misma fuerza de impulsion da siempre una misma cantidad de movimiento cualquiera que sea el proyectil que impele, y que así la cantidad de movimiento caracteriza una fuerza y es su verdadera medida.

Se dice que una fuerza de impulsion es doble, triple ó cuádrupla de otra, cuando produce una cantidad de movimiento doble, triple ó cuádrupla; de donde resultan estas tres consecuencias:

1.° *Las fuerzas están entre sí, como las cantidades de movimiento que producen, ó bien como los productos de las masas por las velocidades.*

2.° *En masas iguales, las fuerzas están entre sí, como las velocidades que imprimen.*

3.° *En velocidades iguales, las fuerzas están entre sí, como las masas sobre que obran.*

30. *De la comunicacion del movimiento.*— Cuando un cuerpo en movimiento encuentra á otro en reposo ó en movimiento, se producen efectos muy curiosos que dependen de la elasticidad, de la dureza y de la masa relativa de los cuerpos. Hasta el presente la ciencia no ha llegado á hacer el análisis de estos fenómenos, sino suponiendo los cuerpos perfectamente elásticos, ó enteramente destituidos de esta propiedad; hipótesis que no son verdaderas; pero de las que se deducen algunas reglas simples que son muy útiles en la práctica. Aquí no podemos considerar mas que los cuerpos sin elasticidad; los fenómenos singulares de los cuerpos elásticos pertenecen á la mecánica (2).

1.° Cuando dos masas iguales no elásticas y animadas de la misma velocidad se chocan *direc-*

---

(1) Sean las masas de dos cuerpos M, M', sus velocidades V, V'; serán MV, $M'V'$ sus *cantidades de movimiento;* cuyas fuerzas F, F' sean iguales; será $MV = M'V'$ y $V' = \frac{MV}{M'}$: generalmente $F : F' :: MV : M'V'$: si $M = M'$, será $F : F' :: V : V'$; y si $V = V'$ será $F : F' :: M : M'$, que son las leyes del movimiento uniforme.

(2) La cantidad de movimiento despues del choque en línea recta de los cuerpos no elásticos, si van en una misma direccion, se expresa por esta formula $MV + M'V'$; si à partes contrarias $MV - M'V'$: dividiendo por la suma de las masas $M + M'$ se obtendrá la velocidad comun. El choque oblicuo, debe primero reducirse á directo y despues aplicarle la fórmula. Para el de los cuerpos de elasticidad perfecta, debe duplicarse el efecto; y para los otros, segun la razon de su elasticidad.

tamente, se impelen la una á la otra, se detienen de repente, y quedan en reposo, en el mismo lugar en que se ha verificado el choque. Este es un principio evidente por sí mismo; porque estas masas no pueden reflejar, pues no tienen elasticidad, y la una no puede arrastrar la otra ni impelerla delante de sí, puesto que todo es igual por ambas partes. Así dos balas de plomo perfectamente iguales que fuesen arrojadas al mismo tiempo con la misma fuerza, y que chocasen entre si con la misma velocidad, se aplastarian; porque no son duras y quedarian sin movimiento. Si caen despues del choque, no es por un resto de velocidad que no haya sido destruido, sino por el efecto de la gravedad que obra sobre ellas sin cesar.

2.° Este principio se aplica à las masas desiguales, con la sola condicion de que sus cantidades de movimiento sean iguales entre sí, es decir, que si la una de las masas es doble de la otra, basta que esta tenga una velocidad doble para detener la otra. Una masa que fuese cien veces menor, deberia tener una velocidad céntupla para producir el mismo efecto, y así sucesivamente. Dos cantidades de movimiento iguales y contrarias se destruyen exactamente cuando la elasticidad no está en accion; porque en efecto, dos cantidades de movimiento iguales y contrarias, no siendo en realidad, como se ha visto, mas que dos fuerzas iguales y contrarias, es necesario que se destruyan.

3.° Cuando las cantidades de movimiento son desiguales, la mayor es la que vence; porque el móvil que está animado por ella, impele delante de sí al otro móvil, le obliga á retroceder, ò desde este instante se mueven juntos con una velocidad que les es comun.

En este caso, la cantidad de movimiento que queda no es mas que la diferencia de las dos cantidades de movimiento primitivas, y como queda aplicada á la suma de las dos masas, se ve que la velocidad restante no es otra cosa, que la diferencia de las cantidades de movimiento, dividida por la suma de sus masas.

Si los móviles marchasen en el mismo sentido, las cantidades de movimiento se sumarian, y la velocidad comun despues del choque seria la suma de las cantidades de movimiento, dividida por la suma de las masas.

Estas consecuencias se aplican al caso en que un móvil encuentre á otro en reposo; porque para adelantar, es menester que impela delante de sí á este cuerpo en reposo, y por consiguiente, que le comunique una cantidad tal de movimiento, que despues del choque se muevan juntos con una velocidad comun. Si la masa del cuerpo en reposo es igual á la del móvil, es evidente que despues del choque, el movimiento estará igualmente dividido entre las dos masas, y su velocidad no deberá ser mas que la mitad; porque su masa ha pasado á ser doble; esta no seria mas que el tercio de la velocidad primitiva si la masa en reposo fuere el doble de la masa del móvil; y se ve que en general para obtener la relacion de la velocidad que resta despues del choque, con la que se tenia antes de él, es menester dividir la masa del móvil y del cuerpo en reposo.

Así el movimiento se comunica; pero nunca se pierde: cuando parece estinguirse, en realidad solo ha pasado el móvil á otros cuerpos que se hallan en su camino: se difunde de uno á otro por todos los cuerpos que están contiguos, y llega á ser insensible por la difusion que esperimenta. Es menester movimiento para destruir el movimiento. Las resistencias y los rozamientos le dispersan, pero no le destruyen jamás.

Conforme á estos datos es como se mide la velocidad de los proyectiles, por medio del *péndulo balístico* que está representado en la figura 25. Este aparato consta de un eje de hierro *a* terminado en cuchillo por sus dos estremos, reposando sobre apoyos sólidos: un trozo de madera *b* de un peso considerable con armaduras de hierro, está suspendido del eje *a* por las dos varas rectas *t* y por las varas oblícuas *d*; una aguja puntiaguda *e* recorre una muesca circular *f*, y deja su impresion sobre una cera blanda destinada á recibirla. Por la longitud de esta impresion, se juzga del desvío que ha esperimentado el péndulo, cuando la bala ha venido á chocarle de lleno en la direccion de su centro de gravedad. La longitud del péndulo es de tres á cuatro metros, y su peso total de tres á cuatro mil kilógramos. El proyectil parte la velocidad de que está animado, con esta masa considerable, y cuando por medio del desvío que el péndulo esperimenta, se ha podido calcular la velocidad que ha recibido, es fácil deducir la velocidad de la bala, en el instante en que ha venido á chocarle.

En la comunicacion del movimiento se presentan fenómenos singulares, que dependen del estado de agregacion de los cuerpos, y de la rapidez con que el movimiento puede trasmitirse de molécula en molécula, en lo interior de una misma masa. Se sabe, por ejemplo, que una bala atraviesa un cuadro de vidrio sin romperle y que solo hace en él un agujero, como lo haria un saca-bocado en una hoja de metal. Este efecto no depende mas que de la velocidad de la bala y no de su forma; porque si se la arroja con la mano, rompe el vidrio, como lo haria una piedra; pero luego que marcha con la rapidez que le da la pólvora, las moléculas que toca son quitadas con tal prontitud, que no tienen tiempo de trasmitir sobre los lados el movimiento que reciben. Todo pasa entonces en el círculo que choca la bala, y el cuadro entero, aunque no hubiese sido sostenido mas que por un hilo de seda, no esperimentaria el menor sacudimiento.

Por la misma razon se ha visto varias veces que una bala de cañon rompe en dos partes el fusil de un soldado de infantería, sin que éste sintiese la menor presion, del mismo modo que con una varilla se corta la cabeza de una adormidera sin que se doble la vara. Tambien se creia que una bomba podria llevarse consigo una cuerda tan flexible y tan tenaz, que no hubiese que hacer mas que desplegarse para seguir el movimiento, y que de este modo se podria sin riesgo llevar un pronto socorro á una grande distancia, sea en los naufragios, en los incendios ó en cualesquiera otro urgente apuro; pero en la esperiencia no se ha podido realizar este ingenioso proyecto, la cuerda se rompe y no sigue la bomba. Seria menester para esto, un proyectil cuya velocidad fuese bastante lenta, á fin de que la adhesion de las moléculas pudiese resistir al sacudimiento; porque debemos considerar la fuerza de adhesion que une las moléculas de los cuerpos, como una especie de lazo inmaterial que no puede sufrir mas que cierto esfuerzo sin romperse. Hallándose una molécula tirada hácia delante y la otra en reposo, el vínculo que las une se rompe, si es arrojada con excesiva fuerza, y en un tiempo dado no puede pasar de una molécula á otra, mas que una cantidad determinada de movimiento.

El movimiento producido por una esplosion, sea por la de pólvora, por la del aire ó del vapor comprimido, es un movimiento que se comunica esencialmente en todos sentidos: las paredes del cañon impiden la espansion, lateral y todo el efecto se produce en la direccion de la longitud; pero en ésta se reproduce igualmente en las dos direcciones contrarias, es decir, adelante para impeler al proyectil y atras para repeler la culata, el cañon y todas las piezas que le componen. Estas dos cantidades de movimiento, que son siempre opuestas, son tambien siempre iguales: de aquí viene el retroceso que acompaña inevitablemente la emision del proyectil. Si el fusil no es repelido contra la espalda con toda la velocidad de la bala, y si el cañon y su cureña no retroceden con tanta velocidad como parte la bala, es porque los proyectiles tienen mucha menor masa, que las armas que sirven para arrojarlos. Cuando un cazador dispara un fusil, su espalda esperimenta la misma presion que si una bala viniendo de afuera entrase en el cañon y chocase el fondo, con toda la velocidad de la bala que sale.

Se concibe que basta conocer el peso del arma, el del proyectil y la velocidad del retroceso, para deducir la velocidad del proyectil en su salida. Este método se ha empleado con suceso por Robins. Una circunstancia digna de notarse, y que es una prueba de la lentitud con que se difunde el movimiento en toda la estension de una masa considerable, es que el retroceso no empieza á ser sensible, hasta que la bala haya salido del cañon. El esperimento se hizo por la primera vez en la Rochela, hácia 1667 por órden del cardenal Richelieu. Se habia suspendido un cañon al estremo de una grande palanca móvil y la bala que salia de él venia á dar en el blanco como si el cañon no hubiese podido hacer su retroceso sino en la misma direccion del movimiento del proyectil.

La resistencia de los medios no es mas que un efecto de la comunicacion del movimiento. Cuando un cuerpo se mueve en el agua, es preciso que separe la capa que encuentra, y todo el movimiento que le da, es otro tanto movimiento perdido para él: despues á medida que adelanta, encuentra otras capas en reposo, las separa del mismo modo, y pierde asi nuevas cantidades de movimiento. Sucede lo mismo con cualquiera otro medio, tal como el aire, un gas, cualquiera otro fluido. Se admite en todos estos fenómenos un principio general, á saber: *que la resistencia de un medio es proporcional al cuadrado de la velocidad del cuerpo que le atraviesa*, y la razon que se da es la siguiente: Cuando la velocidad pasa á ser doble, el cuerpo corre otro tanto espacio en el mismo tiempo, y de aquí resulta que encuentra otras tantas mas moléculas á las que da movimiento, lo que ocasiona ya una pérdida doble: segundo, que como va con doble velocidad, da á las moléculas que encuentra doble velocidad, lo que duplica su pérdida y la hace cuatro veces mayor. Por lo que cuando la velocidad pasa á ser dos, la pérdida es cuatro, que es el cuadrado de dos. Se ve del mismo modo que con una velocidad triple, encuentra tres veces otras tantas moléculas á las que da tres veces mas velocidad, lo que da una pérdida nueve veces mayor, y así sucesivamente. Para velocidades iguales en medios diferentes, las pérdidas dependen de las cantidades de materia que contienen estos medios bajo un volúmen dado, y de la adherencia ó de la viscosidad mayor ó menor que tienen las moléculas.

31. *De la fuerza centrífuga.*—Concibamos una pequeña bola sin gravedad, atada en el estremo de un hilo inestensible m (fig. 27), y supongamos que se le da un impulso para hacerla girar alrededor del punto c, como la piedra de una honda gira alrededor de la mano. Es claro que la bola describirá un círculo entero, despues otro círculo y así indefinidamente; si no hubiese resistencia seria un movimiento perpetuo y perpetuamente uniforme. La velocidad de este movimiento circular es igual al espacio dividido por el tiempo, como la del movimiento rectilíneo. Al mismo tiempo el hilo esperimenta una tension, pues que si se corta en un instante dado, la bola no se moverá ya circularmente como lo hacia antes; sino que irá recta hácia delante siguiendo la tangente en que se halle. A la causa de esta tension del hilo es á lo que se llama *fuerza centrífuga*, porque en efecto, es el esfuerzo que hace la bola para apartarse del centro, ó lo que es lo mismo, es el esfuerzo que es menester hacer para contenerla é impedirle que se aparte de él.

Cuando la piedra de una honda gira lentamente, la cuerda está poco tendida, cuando gira con velocidad la cuerda, se tiende mas; así la fuerza centrífuga es dependiente de la velocidad de rotacion, crece y disminuye con ella en relacion determinada. Se demuestra en mecánica, que en círculos desiguales que son descritos en el mismo tiempo, las fuerzas centrífugas son proporcionales á los radios; por ejemplo, en una rueda horizontal ó vertical que gira alrededor de un eje, la fuerza centrífuga será proporcional á la distancia del centro.

El aparato representado en la figura 26, demuestra este efecto de un modo palpable. Cuando el resorte $a\,b$ está quieto, es á poca diferencia circular; pero al instante que se le hace girar alrededor del eje c, por medio del manubrio m, y de la cuerda cruzada d, el resorte $a\,b$ pasa á elíptico, y se aplasta tanto mas, cuanto la velocidad es mayor, siendo los puntos mas distantes del eje los que se separan mas de él por el efecto de la fuerza centrífuga.

En círculos iguales descritos en tiempos diferentes, las fuerzas centrífugas están en razon inversa de los cuadrados de los tiempos (1).

---

(1) Las leyes de las fuerzas centrales ó centrípetas en cualquier género de trayectorias, las trata Newton lata y profundamente en toda la sec. 2. cap. 1.° Principia Math. Phil. rat. y demuestra en la prop. 4 que en los cuerpos que describen círculo, ellas están como los cuadrados de los arcos divididos por los radios ó por los diámetros: sea MT (fig. 5. n) la tangente descrita en un tiempo cortísimo t, sea r el radio del círculo, y v la velocidad: será $MN = v\,t$ por ser el movimiento uniforme; y considerado este arco como cuerda, que es media proporcional entre el diámetro $2r$ y su proyeccion MP, será $2r : MN :: MN : MP = \frac{MN^2}{2r} = \frac{v^2t^2}{2r}$ Ademas (segun lo que se verá en el §. 2 $e = \frac{g\,t^2}{2}$, será $g = \frac{2e}{t^2}$, y en el caso, la fuerza central $F = \frac{2MP}{T^2}$, y en círculos iguales como $\frac{1}{T^2}$ que es la proposicion del autor. Ademas sustituyendo el valor de MP, será $f = \frac{2v^2t^2}{2rt^2} = \frac{v^2}{r}$. Si el cuerpo sigue otra curva diversa del círculo, v será la velocidad en el punto dado de la trayectoria, y r el radio del círculo osculador á dicho punto.

Para calcular la fuerza centrífuga en el ecuador, tomaremos el diámetro de la tierra, que es de 12732932^{m}: si lo multiplicamos por $\frac{355}{113}$, (relacion de la circunferencia al diámetro) dará por periferia 40064321; y el cuerpo puesto en el ecuador andará en 1", 465^{m} cuyo cuadrado 216225 dividido por 12732932, que es el diámetro, da $0,^{m}01695$ que será la fuerza centrífuga en el ecuador, ó la línea que describiria un cuerpo en 1" urgido por la fuerza.

Ademas en igual tiempo, el exceso de la fuerza de gravedad hace caer á los cuerpos el espacio de $4^{m},89$, por lo que si la fuerza centrífuga en nada disminuyera la gravedad, el efecto seria la suma de los espacios $4^{m},89 + 0^{m},01595 = 4\cdot90695$: dividido este número por

Si el movimiento no fuese circular, si siguiese otra curva cualquiera, no dejaria de haber una fuerza centrífuga, pero entonces seria valuada de otro modo. En todo movimiento curvilineo existe la fuerza centrífuga, y para impedir que produzca su efecto es menester siempre ó un hilo que contenga al móvil, ó una resistencia que le impida alejarse, ó en fin una fuerza atractiva que obre sobre él sin cesar, y que le incline al centro de rotacion, mientras que la fuerza centrífuga le impele para apartarse de él.

32. *Movimiento uniformemente acelerado.*—Se llama *movimiento variado* en general, el movimiento rectilíneo ó curvilíneo cuya velocidad muda cada instante. El movimiento se dice acelerado, si la velocidad va aumentando, y retardado si va disminuyendo. Se concibe que hay una infinidad de movimientos variados; porque la velocidad de un móvil puede variar en mas ó en menos, de una infinidad de maneras. En general, en los movimientos variados de la naturaleza, la velocidad cambia segun leyes bastante simples para que se puedan analizar todas las circunstancias que presenta el mòvil durante tiempos muy considerables.

33. En el movimiento variado la velocidad no tiene la relacion del espacio, al tiempo, como en el movimiento uniforme. Concibamos un móvil que se mueva con un movimiento acelerado ó retardado de un modo cualquiera; pues que su movimiento no es uniforme, es preciso que cada instante haya una nueva fuerza que perturbe la uniformidad, que ademas venga á obrar en el mismo sentido del movimiento, para aumentar la velocidad, ó en sentido contrario para disminuirla: esta es la causa necesaria de la variacion. Recíprocamente si en una época cualquiera de movimiento variado, no viniese á obrar en el móvil una fuerza nueva, es claro que al instante cesaria toda variacion; y que el móvil continuaria moviéndose en linea recta, y con un movimiento uniforme. Pero la velocidad de este movimiento uniforme que sucederia al movimiento variado, si ninguna fuerza nueva sobreviniese para sostener la variacion, es precisamente lo que se llama *velocidad del movimiento variado.*

34 *El movimiento uniformemente acelerado*, es una especie particular del movimiento variado, es aquel en que la velocidad crece proporcionalmente al tiempo; puede tambien definirse diciendo, que es el movimiento producido por una *fuerza aceleratriz constante*, es decir por una fuerza que obra siempre sobre el móvil, y que tiene siempre la misma direccion y la misma intensidad: porque se demuestra en mecánica que solo segun los tiempos 2, 3, 4, etc., las fuerzas de esta naturaleza pueden imprimir al móvil velocidades que pasan á dobles, triples, etc.

Todas las leyes del movimiento uniformemente acelerado están comprendidas en las dos fórmulas que siguen (1):

$$v = gt$$

$$e = \frac{gt^2}{2}$$

en las que t es el tiempo que ha pasado desde la salida del móvil, g la velocidad que ha adquirido despues de una unidad de tiempo, v la que ha adquirido despues del tiempo, t, y e, el espacio total que ha corrido en el mismo tiempo. Conociendo dos de estas cuatro cosas, se pueden hallar las otras dos: veremos de esto, muy útiles aplicaciones, al tratar de la gravedad.

———

0,m 01695, da 289; y así la fuerza centrífuga es à la de gravedad, como 1 à 289; ó lo que es lo mismo, la fuerza centrífuga es $\frac{1}{289}$ de la de gravedad, en el ecuador.

(1) En la (fig. 6. n) el triángulo $a\,b\,c$ representa el espacio descrito en el movimiento uniformemente acelerado por el móvil, en el tiempo $a\,b = t$: siendo $b\,c = v = g\,t$, la velocidad últimamente adquirida, será $a\,b\,c = \frac{abcd}{2} = \frac{ab \times bc}{2} = \frac{t \times gt}{2} = \frac{gt^2}{2} = e$

FIN DE LAS NOCIONES PRELIMINARES.

LIBRO PRIMERO.

DE LA GRAVEDAD.

CAPITULO I.

DE LA GRAVEDAD Y DE SU DIRECCION.

35. Los cuerpos caen cuando se abandonan á sí mismos y caen hasta que tocan la tierra ó algun otro cuerpo que les sostenga. Estos fenómenos se producen en la superficie de la tierra, como se observa todos los dias: se producen á grandes alturas en la atmósfera, como se puede juzgar por el granizo y por la lluvia, que caen de las nubes; y se producen tambien en grandes profundidades bajo la tierra, como se vé en los pozos, en las cavidades y en las minas mas profundas que se hayan podido abrir: cuando se ver montañas que se hunden, es porque les falta su basa la que es sin duda mucho mas profunda aun que el fondo de las minas: ellas *caen* por no tener un apoyo que sea capaz de sostenerlas. Con todo, siendo la materia inerte y no pudiendo por sí misma ni tomar movimiento, ni cambiar el que tiene, es claro que por si misma no podria descender hácia la tierra, porque esto seria darse movimiento; es menester, pues, que haya una fuerza que la haga caer, y esta fuerza es la que se llama *gravedad*.

Así pues, la *gravedad* es la fuerza que hace *caer* los cuerpos: pero esta definicion daria una idea muy incompleta de la *gravedad* si se supiese que no puede producir otro efecto que hacer *caer* los cuerpos: es menester ver como esta fuerza produce otros muchos fenómenos y otros muchos movimientos, que se designan en el idioma comun por nombres muy diferentes. Tales son por ejemplo, los movimientos de los líquidos que manan de vasos, y el movimiento de los rios que marchan hácia el mar; tales son los movimientos del corcho y de los cuerpos ligeros que se elevan del fondo del agua á la superficie; tales son aun los movimientos del humo, de las nieblas y de los globos aereostáticos, que se elevan en los aires. Todos estos fenómenos que parecen tan contradictorios, no son mas que efectos variados de la misma fuerza que acabamos de llamar *gravedad*.

Para abrazar en toda su estension una fuerza tan fecunda en resultados, deberemos indagar todos los fenómenos diferentes que puede producir, y determinar en seguida las leyes de las acciones que ejerce segun los lugares que ocupan los cuerpos, segun el arreglo de sus partes y la especie de materia que les compone.

Desde luego vemos que la gravedad obra sobre casi todos los cuerpos que se presentan á nuestras observaciones; pero que obra sobre ellos para hacerles caer con velocidades muy diferentes. Las

Si el movimiento no fuese circular, si siguiese otra curva cualquiera, no dejaria de haber una fuerza centrífuga, pero entonces seria valuada de otro modo. En todo movimiento curvilíneo existe la fuerza centrífuga, y para impedir que produzca su efecto es menester siempre ó un hilo que contenga al móvil, ó una resistencia que le impida alejarse, ó en fin una fuerza atractiva que obre sobre él sin cesar, y que le incline al centro de rotacion, mientras que la fuerza centrífuga le impele para apartarse de él.

32. *Movimiento uniformemente acelerado.* —Se llama *movimiento variado* en general, el movimiento rectilíneo ó curvilíneo cuya velocidad muda cada instante. El movimiento se dice acelerado, si la velocidad va aumentando, y retardado si va disminuyendo. Se concibe que hay una infinidad de movimientos variados; porque la velocidad de un móvil puede variar en mas ó en menos, de una infinidad de maneras. En general, en los movimientos variados de la naturaleza, la velocidad cambia segun leyes bastante simples para que se puedan analizar todas las circunstancias que presenta el mòvil durante tiempos muy considerables.

33. En el movimiento variado la velocidad no tiene la relacion del espacio, al tiempo, como en el movimiento uniforme. Concibamos un móvil que se mueva con un movimiento acelerado ó retardado de un modo cualquiera; pues que su movimiento no es uniforme, es preciso que cada instante haya una nueva fuerza que perturbe la uniformidad, que ademas venga á obrar en el mismo sentido del movimiento, para aumentar la velocidad, ó en sentido contrario para disminuirla: esta es la causa necesaria de la variacion. Recíprocamente si en una época cualquiera de movimiento variado, no viniese á obrar en el móvil una fuerza nueva, es claro que al instante cesaria toda variacion; y que el móvil continuaria moviéndose en linea recta, y con un movimiento uniforme. Pero la velocidad de este movimiento uniforme que sucederia al movimiento variado, si ninguna fuerza nueva sobreviniese para sostener la variacion, es precisamente lo que se llama *velocidad del movimiento variado.*

34 *El movimiento uniformemente acelerado*, es una especie particular del movimiento variado, es aquel en que la velocidad crece proporcionalmente al tiempo; puede tambien definirse diciendo, que es el movimiento producido por una *fuerza aceleratriz constante*, es decir por una fuerza que obra siempre sobre el móvil, y que tiene siempre la misma direccion y la misma intensidad: porque se demuestra en mecánica que solo segun los tiempos 2, 3, 4, etc., las fuerzas de esta naturaleza pueden imprimir al móvil velocidades que pasan á dobles, triples, etc.

Todas las leyes del movimiento uniformemente acelerado están comprendidas en las dos fórmulas que siguen (1):

$$v = gt$$

$$e = \frac{gt^2}{2}$$

en las que t es el tiempo que ha pasado desde la salida del móvil, g la velocidad que ha adquirido despues de una unidad de tiempo, v la que ha adquirido despues del tiempo, t, y e, el espacio total que ha corrido en el mismo tiempo. Conociendo dos de estas cuatro cosas, se pueden hallar las otras dos: veremos de esto, muy útiles aplicaciones, al tratar de la gravedad.

———

0,m 01695, da 289; y así la fuerza centrífuga es à la de gravedad, como 1 à 289; ó lo que es lo mismo, la fuerza centrífuga es $\frac{1}{289}$ de la de gravedad, en el ecuador.

(1) En la (fig. 6. n) el triángulo $a\,b\,c$ representa el espacio descrito en el movimiento uniformemente acelerado por el móvil, en el tiempo $a\,b = t$: siendo $b\,c = v = g\,t$, la velocidad últimamente adquirida, será $a\,b\,c = \frac{abcd}{2} = \frac{ab \times bc}{2} = \frac{t \times gt}{2} = \frac{gt^2}{2} = e$

FIN DE LAS NOCIONES PRELIMINARES.

LIBRO PRIMERO.

DE LA GRAVEDAD.

CAPITULO I.

DE LA GRAVEDAD Y DE SU DIRECCION.

35. Los cuerpos caen cuando se abandonan á sí mismos y caen hasta que tocan la tierra ó algun otro cuerpo que les sostenga. Estos fenómenos se producen en la superficie de la tierra, como se observa todos los dias: se producen á grandes alturas en la atmósfera, como se puede juzgar por el granizo y por la lluvia, que caen de las nubes; y se producen tambien en grandes profundidades bajo la tierra, como se vé en los pozos, en las cavidades y en las minas mas profundas que se hayan podido abrir: cuando se ven montañas que se hunden, es porque les falta su basa la que es sin duda mucho mas profunda aun que el fondo de las minas: ellas *caen* por no tener un apoyo que sea capaz de sostenerlas. Con todo, siendo la materia inerte y no pudiendo por sí misma ni tomar movimiento, ni cambiar el que tiene, es claro que por si misma no podria descender hácia la tierra, porque esto seria darse movimiento; es menester, pues, que haya una fuerza que la haga caer, y esta fuerza es la que se llama *gravedad*.

Así pues, la *gravedad* es la fuerza que hace *caer* los cuerpos: pero esta definicion daria una idea muy incompleta de la *gravedad* si se supiese que no puede producir otro efecto que hacer *caer* los cuerpos: es menester ver como esta fuerza produce otros muchos fenómenos y otros muchos movimientos, que se designan en el idioma comun por nombres muy diferentes. Tales son por ejemplo, los movimientos de los líquidos que manan de vasos, y el movimiento de los rios que marchan hácia el mar; tales son los movimientos del corcho y de los cuerpos ligeros que se elevan del fondo del agua á la superficie; tales son aun los movimientos del humo, de las nieblas y de los globos aereostáticos, que se elevan en los aires. Todos estos fenómenos que parecen tan contradictorios, no son mas que efectos variados de la misma fuerza que acabamos de llamar *gravedad*.

Para abrazar en toda su estension una fuerza tan fecunda en resultados, deberemos indagar todos los fenómenos diferentes que puede producir, y determinar en seguida las leyes de las acciones que ejerce segun los lugares que ocupan los cuerpos, segun el arreglo de sus partes y la especie de materia que les compone.

Desde luego vemos que la gravedad obra sobre casi todos los cuerpos que se presentan á nuestras observaciones; pero que obra sobre ellos para hacerles caer con velocidades muy diferentes. Las piedras y los metales caen muy velozmente; la madera y las demas substancias vegetales caen mas lentamente: y hay cuerpos, como las plumas, el plumon, los copos de nieve, que apenas parecen pesados, porque fluctúan por el aire, no caen sino con mucha lentitud. Resulta ya de estas primeras consideraciones, que si la gravedad no es una fuerza universal, es á lo menos una fuerza muy general; porque no hay mas que un pequeño número de cuerpos, como la llama y el humo, que parezcan sustraerse de su accion. Esto es á lo menos lo que sucede en nuestros climas, y de esto somos testigos, desde los primeros dias de nuestra infancia: pero la tierra es tan grande que es curioso el saber lo que pasa en otros lugares, en los mares lejanos, en las islas, ó en los continentes que no tienen ni las mismas estaciones, ni la misma posicion, con relacion al eje del mundo Tocaba á los viageros el enseñarnos, y éstos nos aseguran, que si de un pais á otro se ve que los hombres, el aspecto del cielo y las producciones del suelo mudan, hay siempre una cosa, que en medio de tantas variaciones no esperimenta mutacion alguna; esta es la fuerza de la gravedad; en todas partes obra de la misma manera, en medio de los mares ó de los continentes, en las regiones polares ó en las del ecuador: que si se encuentran algunas ligeras diferencias, estas no son sensibles en los fenómenos ordinarios, y es una verdad el decir que la gravedad no solo obra sobre casi todos los cuerpos, sino que obra ademas del mismo modo, en todo el vasto contorno del globo de la tierra.

36. *Direccion de la gravedad.*— Para determinar la línea segun la que caen los cuerpos, se les podria seguir con el ojo y aproximarles una regla recta cuyo borde debiesen ir siguiendo; pero hay otro medio mejor, que es el de fijar un hilo por un estremo y atar en el otro una pequeña bala un poco pesada. La direccion del hilo cuando esté tendido y en reposo, será precisamente la direccion de la gravedad; porque si esta fuerza obrase segun otra línea, tiraria el hilo y le pondria segun esta otra línea. Este pequeño instrumento se llama *hilo á plomo, ó péndulo*, y su línea de reposo se llama la *vertical* (fig. 28). Asi la direccion de la gravedad es la del hilo á plomo, ó de la vertical, y nada es mas fácil, que hallarla en cualquiera instante en todos los lugares de la tierra.

Supongamos que despues de haber hecho ayer esta esperiencia la volvemos á hacer hoy; nos hallaremos muy embarazados para saber si el hilo á plomo ha cambiado durante el intervalo. Seria menester tener algunos puntos fijos á que pudiesen referirse sus direcciones, para compararlas en seguida. Un edificio muy sólido no tiene bastante estabilidad para este objeto: porque si despues de cierto tiempo hallásemos que el hilo á plomo no sigue ya la misma línea con relacion á sus muros ó á sus aristas, nos veriamos aun muy embarazados para deducir una conclusion: sabriamos por cierto, que alguna cosa ha cambiado; pero no conoceriamos si en la direccion de la gravedad ó en la estabilidad del edificio. Los lados ó las aristas de un monte tampoco serian señales menos inciertas; porque sobre la tierra los montes tambien son una cosa inestable, porque su base puede conmoverse, no solo por un temblor de tierra, sino tambien por otras causas. Así todo es móvil alrededor de nosotros, y no tenemos un punto fijo, ni en la tierra firme ni en los montes, para juzgar si la gravedad es constante, ó si cambia á medida que los siglos van pasando.

Felizmente tenemos otro medio: la superficie del mar tan móvil como es, nos ofrece en su direccion general y en sus límites, la mayor estabilidad que podemos observar sobre la tierra; porque un cambio de nivel aun el mas pequeño, traeria consigo grandes inundaciones, y acaso un diluvio: ahora bien, sucede, no fortuitamente sino por una razon que veremos despues en la hidrostática, que la direccion de la gravedad es perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas; por lo que si la gravedad cambiase, el mar cambiaria, y solo por este medio podemos juzgar de lo fijo de su direccion.

En lugar de decir que la gravedad es perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas, se dice algunas veces que es perpendicular á la superficie de la tierra, y ved aquí lo que se entiende en este caso por superficie de la tierra: esta no es, como se deja entender, la superficie aparente con sus montes y valles; sino una superficie ideal que se concibe del modo siguiente: supongamos que el océano atlántico, el mar del sud, y todos los mares que comunican entre sí, están tranquilos por un momento, su inmensa playa formará una porcion de superficie casi esférica, cuyo contorno será determinado por las sinuosidades de las riberas. Imaginemos al mismo tiempo que las diversas partes de esta superficie se prolongan conservando su curvatura y penetrando bajo la tierra, y que se reunen por todas partes bajo los continentes; ellas formarán entonces un globo completo perfectamente unido, que no tendrá ni montañas ni valles. Esta superficie en parte real y en parte ideal, es la que se llama *superficie de la tierra, superficie de nivel, superficie horizontal*; porque todas estas espresiones son sinónimas. Cuando se dice que el observatorio de Paris se halla á 65 metros sobre la superficie del mar, es como si se dijese, que esta superficie prolongada pasa por debajo del primer piso del observatorio, á una profundidad vertical de 65 metros. Al contrario hay llanuras en Holanda que están mas bajas que el mar, es decir, que la superficie prolongada pasa sobre la cabeza de los habitantes.

La superficie de la tierra tal como la acabamos de definir, podria con el tiempo elevarse ó bajarse, alejarse ó aproximarse al centro; pero si por alguna causa interior ó esterior pudiese perder su forma, al instante la tierra cambiaria su movimiento diurno, saldria de la órbita que recorre tantos siglos ha, y podria ser que fuese arrojada á algun otro punto del universo. Así es que de la estabilidad, de la superficie de las aguas, depende la estabilidad de la tierra y del mundo.

La superficie de un lago en las llanuras, ó en los montes, es tambien una superficie de nivel, es decir, que si de sus riberas se bajasen perpendiculares á la superficie que acabamos de definir, determinarian en ella una porcion de superficie semejante á la del lago, y cuyos puntos estarian á la misma distancia de ella. Sucede lo mismo con la superficie de las aguas tranquilas, en el fondo de los pozos, ó en vasos de grandes dimensiones; todas estas superficies son horizontales y todas perpendiculares á la direccion de la gravedad.

Resulta de estas verdades fundamentales, que todas las direcciones de la gravedad concurren hácia el centro de la tierra; porque todas las perpendiculares á una superficie rigurosamente esférica, concurren en su centro. Así $abpdx$ (fig. 29) representando la seccion de la tierra, que se hiciera segun el meridiano de Paris, y siendo ax el eje de rotacion, sucede, por las distancias en latitud, que Paris se halla en p, su horizonte segun ph, su hilo á plomo segun pc: que Dunkerque en d á una distancia de 2° 11' 56", la línea horizontal de Dunkerque en dh', y su hilo á plomo segun dc; en fin, que Barcelona está en b á 7° 28' 29" mas al mediodia, el horizonte de Barcelona en bh'', y su hilo á plomo en bc.

Un observador que estuviese bastante lejos de la tierra, para ver al mismo tiempo el hilo á plomo de Paris y el de Barcelona, veria que en efecto están inclinados el uno al otro 7° 28' 29" y podria deducir, que concurren en el centro de la tierra. Cuando se hacen esperimentos en una pequeña estension, como en un aposento ó en una grande ciudad, los hilos á plomo parecen del todo paralelos; porque el centro de la tierra, que es el punto á que tienden, está á una distancia de cerca de 1432 leguas de 2280 toesas, ò de 1632 leguas de posta de 4000 métros: ahora bien, siendo por ejemplo, 100 toesas la treinta milésima parte de esta distancia, poco mas ó menos, dos hilos á plomo que estén á 100 toesas, no hacen en efecto mas que un ángulo de 6", 3. Pero, siendo esto así, no se comprende desde luego, cómo se puede medir el ángulo de las verticales de dos puntos; porque si estos puntos son muy cercanos, el àngulo es tan pequeño, que se escapa á las medidas; y si son muy lejanos, no se pueden ver al mismo tiempo, ni las dos verticales, ni el ángulo que forman entre sí; por lo que parece que toda medida es imposible, y lo seria en efecto, si no tuviésemos en el cielo puntos de observacion que sirven para guiarnos. Las estrellas son como puntos de mira para los habitantes de la tierra, y observàndolas es como podemos medir nuestros ángulos, y hacer nuestros alineamientos. La distancia del sol á la tierra, es de 35 millones de leguas, la de la tierra á las estrellas, es 400, ó 500 mil veces 35 millones de leguas; así en cualquiera punto de su órbita que esté la tierra, y en cualquiera punto de la superficie de la tierra que se halle un observador, los rayos visuales dirigidos hácia una misma estrella, son líneas siempre paralelas.

Segun esto, cuando una estrella pasa por el meridiano, y se observa al mismo tiempo en Dunkerque y en Paris, los dos radios de' y pe (fig. 30) son paralelos; pero los dos ángulos que forman con las verticales, son desiguales, y el ángulo de Paris epv, es justamente igual al ángulo de Dunkerque $e'dv'$ mas el ángulo pcd de las dos verticales, el que es por consiguiente, la distancia angular de Dunkerque à Paris.

Ved pues, cómo se dirige la gravedad alrededor de la tierra, y ved cómo es posible comparar su direccion en diferentes lugares. Hay una consecuencia que se presenta naturalmente, esta es que despues de haber observado el ángulo de las verticales de Dunkerque y de Paris, y haberlo hallado de 2° 11' 56", se puede medir en toesas ó en metros la distancia de estas dos ciudades; y conociendo así la longitud de este arco de 2° 11' 56", se puede deducir la longitud de la circunferencia de la tierra entera, y despues el valor de su radio, como se verá en uno de los capítulos que siguen.

CAPITULO II.

De la caida de los cuerpos y de las leyes de la gravedad.

37. Cuando se deja caer de la misma altura una bala de plomo y un pequeño disco de papel, vemos que tienen diferentes velocidades. La bala cae con mucha velocidad, y el papel muy lentamente. Se puede ademas notar que el primero de estos cuerpos cae á plomo y segun la vertical, al paso que el otro mas ó menos desviado de su camino, corre siempre una línea sinuosa. El aire es el que produce este efecto; los cuerpos no pueden caer sin desalojarle, y por consiguiente, sin partir con él su movimiento, y en esta particion el papel pierde mas que el plomo. Se obtendrian efectos análogos y aun mas señalados si se hiciesen caer diferentes cuerpos en un tubo lleno de agua, porque la resistencia del agua es mayor que la del aire.

Para hallar el verdadero movimiento de los cuerpos pesados, seria menester hacerles caer en el *vacío* (2), es decir, en un espacio en que no hubiese aire, ni agua, ni otra materia capaz de ofrecer resistencia y de combatir la accion de la gravedad. Un espacio así se obtiene por medio de la *máquina pneumática*, que hace el vacío aspirando el aire como se verá despues. Por medio de esta máquina se hace el esperimento de la caida de los cuerpos del modo siguiente.

Se toma un tubo de vidrio de dos metros de longitud, cerrado por un estremo, y armado por el otro de una llave de forma ordinaria capaz de *retener el vacío;* por la abertura de la llave, se hacen pasar al tubo pedazos de plomo, de papel, plumas, etc. Se hace el vacío con mucho cuidado, y se cierra la llave: entonces volteando con presteza el tubo para ponerle en la vertical, se ve que estos cuerpos, que caen libremente en su interior llegan en el mismo instante al fondo.

Se puede modificar este esperimento de modo que se haga sensible el progreso del fenómeno: se entreabre un poco la llave y se cierra casi al instante; ha entrado en este caso un poco de aire, porque se ha oido el silbido, y volteando el tubo como la primera vez, se halla alguna diferencia en el tiempo de la caida; la pluma y el papel retardan un poco con respecto al plomo. Un poco mas de aire hace el retardo algo mayor, y así progresivamente, de modo que al fin, habiendo vuelto á entrar completamente el aire, el descenso sucede en el tubo como en el aire libre.

Así, cuando la gravedad obra sola, cuando no está combatida por resistencia alguna que perturbe sus efectos, solicita todos los cuerpos con la misma energía, y les imprime la misma velocidad, cualquiera que sea su peso, y cualquiera que sea la substancia que les compone. En el vacío una masa de oro de un kilógramo, no caeria con mayor velocidad que una partecilla de oro en hojas, ó un pedazo de papel. Una montaña no caeria mas veloz que una pluma.

38. Despues de haber demostrado que en realidad todos los cuerpos caen con la misma velocidad, es menester indagar cuál es esta velocidad comun, que rige la caida de toda especie de materia, y en general, qué relacion existe entre el espacio que corre un cuerpo pesado y el tiempo que emplea en correrle. Esta relacion será la ley de la gravedad, es decir, la ley del movimiento que la gravedad imprime á la materia.

Esta cuestion no puede ser resuelta de un modo directo, porque la velocidad de los cuerpos que caen, toma una aceleracion tan rápida, que al fin de muy pocos instantes ya no es posible notar los espacios que corren. Pero lo que no puede obtenerse por observaciones directas, se obtiene por diversos medios indirectos; el mas simple es el *plano inclinado de Galileo;* pero el mas rigoroso es la *máquina de Atwood*.

39. *Plano inclinado de Galileo.*—Lo que se llama plano inclinado de Galileo, no es, á decir verdad, mas que una línea inclinada sobre la que se hace rodar un móvil: es una cuerda bien compacta, de diez ó doce metros de longitud, que se tiende entre dos puntos fijos de los que el uno está mas bajo que el otro, y sobre la que se hace rodar un pequeño carro, ó mas bien una polea de

metal convenientemente dispuesta. La gravedad de la polea seria completamente destruida, si la cuerda fuese horizontal; tendria toda su fuerza, si fuese vertical; pero como la cuerda tiene cierto grado de inclinacion, la gravedad de la polea queda disminuida en cierta proporcion. Es fácil ver por las reglas de la estática, que su valor sobre el plano inclinado, es igual á su valor primitivo, multiplicado por el seno de la inclinacion del plano (1). Pero cualquiera que sea la relacion en que se disminuye una fuerza, que se la reduzca á la mitad, al tercio ó al cuarto de su magnitud, no se cambia mas que el movimiento absoluto que imprime, sin mudar nada en la relacion de los espacios corridos en tiempos dados. Así la ley que vamos á observar sobre esta cuerda inclinada, será la verdadera ley de la gravedad. Pero si se deja bajar el carro desde un instante dado, si se notan los espacios que corre en el primer segundo, en los dos primeros segundos etc., se halla que estos espacios corridos están entre sí, como los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos. Luego el movimiento que la gravedad imprime, sigue la misma ley; es decir, que la gravedad es una fuerza aceleratriz constante (34).

40. *Máquina de Atwood.*—Este aparato está representado (fig. 31). Pero para la simplicidad del raciocinio, le reduciremos á sus elementos esenciales, es decir, á una polea perfectamente móvil, sobre la cual pasa un hilo muy fino, que está tendido en cada estremo por pesos iguales m (fig. 32), el equilibrio existe cuando los dos pesos están al mismo nivel, y existe aun cuando el uno está mas alto y el otro mas bajo, como es fácil verificarlo por esperiencia. Ahora añadamos por un lado una pequeña masa, que representaremos por n; es claro que el equilibrio se turba, y que el peso n arrastra al peso sobre el que se pone y le obliga á bajar mientras hace subir al otro.

¿Pero cuál es el movimiento que de esto resulta? ¿es el mismo que si el peso n cayese libremente; ó bien está modificado por los pesos opuestos que se mueven con él?

No teniendo las dos masas primitivas mas movimiento que el que les dá la masa n, es evidente que ésta no lo puede dar sino á sus espensas, que pierde todo el que dá, y que cae por consiguiente con menor velocidad, de la que caeria si fuese sola. Ademas, es fácil hallar la cantidad en que su caida se ha retardado.

Sea g la velocidad que se deberia á la gravedad despues de un segundo de tiempo; la masa n si fuese libre, tendria por tanto al fin del segundo esta misma velocidad g, y por consiguiente una cantidad de movimiento gn.

Sea x la velocidad incógnita que toman en un segundo las dos masas m y la pequeña masa n, cayendo juntas; la cantidad de movimiento del sistema, será $x\ (2m+n)$, porque la masa que se mueve es por una parte m, y por la otra $m+n$, cuya suma es $2m+n$. Pero en un segundo, la masa n recibe de la gravedad la misma cantidad de movimiento, ya caiga libremente, ó retardada por otras masas. Luego $x\ (2m+n)=gn$, de que se sigue $x=g.\frac{n}{2m+n}$.

Esta es en la máquina de Atwood, la velocidad del cuerpo que cae. Siempre es menor que g, y puede ser una fraccion de ella, tan pequeña, como uno quiera. Si se quiere, por ejemplo, que sea una centésima parte de ella, basta poner $\frac{n}{2m+n}=\frac{1}{100}$, de donde se sigue $100n=2m+n$, y $n=\frac{m}{49,5}$; es decir, que en cada instante la velocidad en la máquina de Atwood, es la centésima parte de la velocidad debida á la caida libre, cuando la masa adicional es la 49,5 parte de una de las masas primitivas. Tomando por ejemplo $n=10^{gr}$ y $m=495^{gr}$, la condicion estará cumplida.

Hay una grande ventaja en reducir así la velocidad de los cuerpos que caen; porque de este modo se puede despreciar completamente la resistencia del aire, y medir los espacios corridos con mucha mayor exactitud. Esta reduccion de la velocidad es el verdadero principio de la máquina de Atwood. Ved aquí su descripcion.

1.° Para evitar el rozamiento, se hacen descansar los estremos del eje de la polea sobre otras dos poleas mas pequeñas, cuyos ejes terminados en cono, ruedan sobre chapas de acero pulido ó de ágata (fig. 34).

---

(1) Sea ac (fig. 7. n) un plano de Galileo, sea d un cuerpo que corre por él, será su fuerza absoluta $dg:gf::ac:ab$, y $fg=\frac{dg\times ab}{ac}$: luego la fuerza relativa fg con que recorre un cuerpo el plano ac, es igual á su fuerza absoluta ó primitiva dg multiplicada por ab, seno de la inclinacion del plano y distribuida segun su longitud ac, que tomada por unidad, será $fg=dg\times ab$.

2.° Para medir los espacios con exactitud, se dispone cerca de la columna, una regla vertical y dividida r segun la que la masa $m+n$ debe seguir su caida sin tocarla. Sobre esta regla se mueven dos correderas: la una a en forma de anillo, para dejar pasar la masa m, y para detener la masa n, que se hace un poco mas larga. La otra c en forma de plano, para recibir la masa m, y detenerla donde se quiera.

3.° Para contar los tiempos en que el móvil se mueve, se adapta cerca de la máquina un relox de segundos h, y se hace comunicar un fiador particular d que sostiene la masa $m+n$ frente á la parte superior de la regla, en que se halla el cero de la division. En un instante dado, el fiador se aparta, el peso cae, y el relox continúa señalando el tiempo que pasa (fig. 31 y 33).

Se hacen los esperimentos del modo siguiente: se fija el anillo de la regla á una altura tal, que detenga la masa n despues de haber caido durante un minuto segundo. Para esto se eleva y se baja poco á poco, hasta que el ruido del choque de la masa n en el momento que dá contra ella, coincida exactamente con la oscilacion del relox que señala el fin del segundo. Cuando n se detiene, no cesa todo el movimiento, porque las masas m tienen una *velocidad adquirida*, en virtud de la que continúan moviéndose; pero la gravedad ya no obra para cambiar el movimiento; porque habiéndose quitado n, la fuerza aceleratriz está apartada, y el movimiento que sigue, es un movimiento uniforme. Pero segun lo que se ha dicho (33), la velocidad de este movimiento uniforme, es precisamente la del movimiento acelerado, que se verificaba al fin del primer minuto segundo, y para hallarla, basta colocar la corredera c de manera, que la masa m venga á dar contra ella, exactamente un segundo despues que n ha sido quitado, es decir, dos segundos despues de la marcha de n. En este caso la distancia de las dos correderas a y c es el espacio que m ha corrido en un segundo, en virtud del movimiento uniforme; esta es la velocidad de este movimiento y tambien la velocidad del movimiento acelerado. Se hace un segundo esperimento no quitando la masa n, sino despues de dos segundos; se hace un tercero, no quitándola sino despues de tres segundos, y se obtiene así la velocidad del movimiento acelerado despues de uno, dos y tres segundos. Se halla exactamente que estas velocidades son como 1, 2, 3; de lo que se ve que aumentan proporcionalmente á los tiempos, y que el movimiento de que se trata es uniformemente acelerado.

Este resultado bastaria para concluir que el espacio corrido en fuerza del movimiento uniformemente acelerado, durante cierto tiempo, es la mitad del espacio corrido en el mismo tiempo, por el movimiento uniforme que le sucede. Pero esto se ve directamente; porque en cada uno de los esperimentos precedentes, la distancia de las correderas es doble, de la distancia del anillo al punto de partida.

Del mismo modo se podria deducir por el cálculo, que los espacios están como los cuadrados de los tiempos; pero es fácil imaginar, cómo puede demostrarse tambien, por medio de la máquina.

Estos esperimentos convienen con los de Galileo, para probar que la gravedad, que se verifica en la superficie de la tierra, es una fuerza aceleratriz constante. La caida en el vacío, ya ha hecho ver que se ejerce igualmente sobre toda especie de cuerpos. Así todas las moléculas materiales, cualquiera que sea su figura y su naturaleza, están constantemente sujetas á la accion de esta fuerza.

Segun esto, las leyes del movimiento que imprime, están espresadas por las fórmulas generales del movimiento uniformemente acelerado (34),

$$v = gt.$$

$$e = \frac{gt^2}{2},$$

en las que falta poner en lugar de g, el valor que corresponde á la gravedad. Es menester tener presente, que g representa las velocidades que la fuerza aceleratriz imprime al móvil durante la unidad de tiempo, y acordarse tambien que esta velocidad es doble del espacio que la fuerza hace correr durante la misma unidad; así g es un espacio ó una longitud. Se indicará mas adelante un medio muy exacto para hallar su medida, y se verá que tomando el segundo por unidad de tiempo, el valor de g es en Paris

$$g = 9^m, 8088.$$

Con este dato se puede uno ejercitar, para resolver muchos problemas sobre el movimiento de los cuerpos pesados.

CAPITULO III.

Del centro de gravedad.—Del equilibrio de los sólidos.—De la balanza.—Del peso, de la masa y de la densidad de los cuerpos.

41. Un cuerpo pesado por grande ó pequeño que sea, puede ser considerado como un conjunto de un número infinito de puntos materiales, de los que cada uno está solicitado por la gravedad. Todas estas fuerzas aunque infinitas en número pueden ser sustituidas por una fuerza única aplicada á cierto punto: esta fuerza, que no es mas que la suma ó resultante de todas las acciones de la gravedad, es lo que se llama peso de un cuerpo, y el punto en que se aplica, es lo que se llama su centro de gravedad.

Esta definicion basta para no confundir la *gravedad* con el *peso*, porque la gravedad es la fuerza elemental que solicita cada una de las partecillas de la materia en general, cuando el peso de un cuerpo es la suma de todas las acciones que la gravedad ejecuta sobre este cuerpo en particular.

Es muy importante saber determinar el peso de los cuerpos y su centro de gravedad, pues que entonces se podrá sustituir el peso, que es una sola fuerza, á todas las fuerzas elementales que obran sobre un cuerpo; y el centro de gravedad, que es un solo punto, al conjunto de puntos que le constituyen; y así una masa pesada, cualquiera que sea su magnitud y figura, podrá ser considerada como un solo punto solicitado por una sola fuerza.

42. *Del centro de gravedad.*—En un cuerpo pesado no muy estenso, las acciones que la gravedad ejerce sobre cada molécula pueden ser tomadas por paralelas, porque van á concurrir al centro de la tierra; y son todas iguales porque caen todas con igual velocidad en el vacío; así el *centro de gravedad* no es otra cosa que un *centro de fuerzas paralelas é iguales*. De esto resulta una propiedad característica del centro de gravedad, y es que este punto es fijo en lo interior de los cuerpos sólidos, y no cambia, cualquiera que sea la posicion que se les dé con relacion á la gravedad. Por ejemplo, siendo el punto g (fig. 35) el centro de gravedad del triángulo abc, cuando el punto c está arriba, será aun el lugar del centro de gravedad cuando el punto c esté abajo ó en cualquiera otra posicion que pueda dársele; porque el punto de aplicacion de la resultante de las fuerzas paralelas es independiente de la direccion de estas fuerzas (21).

Para que un cuerpo pesado esté en equilibrio, no hay mas que una sola condicion esencial que llenar; esta es, que el centro de gravedad esté sostenido. Por consiguiente si el mismo centro de gravedad es un punto fijo, se podrá dar vueltas al cuerpo, de todos los modos posibles, y quedará siempre en reposo, porque estará siempre en equilibrio. Se puede hacer el esperimento con un disco homogéneo que dé vueltas alrededor de un eje horizontal que pase por el centro. Cuando un cuerpo está sostenido por un punto fijo que no sea el centro de gravedad, el equilibrio es aun posible; pero no tiene lugar sino en dos posiciones, á saber, cuando el centro de gravedad se halla en la vertical del punto fijo, sea encima ó sea debajo de este punto. Se puede hacer el esperimento con un disco homogéneo que dé vuelta alrededor de un eje horizontal y escéntrico.

De esta consideracion se saca un método práctico para hallar el centro de gravedad de un cuerpo. Se ata con un hilo en un punto c (36), se suspende y cuando está en reposo se señala con toda la exactitud posible el punto m en que la prolongacion del hilo tocaria la superficie inferior. El centro de gravedad está necesariamente sobre la línea cm. En seguida se vuelve á empezar el esperimento ligando el cuerpo por otro punto a y señalando del mismo modo el punto correspondiente m', el centro de gravedad se halla tambien en la línea am': luego se halla en la interseccion de las dos líneas cm y am'.

Para cuerpos irregulares se puede hacer el esperimento en sentido contrario volviéndoles sobre sus aristas, ó poniéndoles sobre piés de pequeña estension. Pero en cuerpos homogéneos que tienen formas regulares, se determina su centro de gravedad por medio de consideraciones geométricas bastante simples.

Línea recta.—Su centro de gravedad se halla evidentemente en medio de su longitud.

Cilindro de bases paralelas.—El centro de gravedad se halla en medio del eje (fig. 42, 43 y 44).

Paralelógramo.—El centro de gravedad está en la interseccion de las diagonales; porque cada diagonal corta la figura en dos partes iguales. Sucede lo mismo en un paralelógramo hueco como en un cuadro.

2.° Para medir los espacios con exactitud, se dispone cerca de la columna, una regla vertical y dividida r segun la que la masa $m+n$ debe seguir su caida sin tocarla. Sobre esta regla se mueven dos correderas: la una a en forma de anillo, para dejar pasar la masa m, y para detener la masa n, que se hace un poco mas larga. La otra c en forma de plano, para recibir la masa m, y detenerla donde se quiera.

3.° Para contar los tiempos en que el móvil se mueve, se adapta cerca de la máquina un relox de segundos h, y se hace comunicar un fiador particular d que sostiene la masa $m+n$ frente á la parte superior de la regla, en que se halla el cero de la division. En un instante dado, el fiador se aparta, el peso cae, y el relox continúa señalando el tiempo que pasa (fig. 31 y 33).

Se hacen los esperimentos del modo siguiente: se fija el anillo de la regla á una altura tal, que detenga la masa n despues de haber caido durante un minuto segundo. Para esto se eleva y se baja poco á poco, hasta que el ruido del choque de la masa n en el momento que dá contra ella, coincida exactamente con la oscilacion del relox que señala el fin del segundo. Cuando n se detiene, no cesa todo el movimiento, porque las masas m tienen una *velocidad adquirida*, en virtud de la que continúan moviéndose; pero la gravedad ya no obra para cambiar el movimiento; porque habiéndose quitado n, la fuerza aceleratriz está apartada, y el movimiento que sigue, es un movimiento uniforme. Pero segun lo que se ha dicho (33), la velocidad de este movimiento uniforme, es precisamente la del movimiento acelerado, que se verificaba al fin del primer minuto segundo, y para hallarla, basta colocar la corredera c de manera, que la masa m venga á dar contra ella, exactamente un segundo despues que n ha sido quitado, es decir, dos segundos despues de la marcha de n. En este caso la distancia de las dos correderas a y c es el espacio que m ha corrido en un segundo, en virtud del movimiento uniforme; esta es la velocidad de este movimiento y tambien la velocidad del movimiento acelerado. Se hace un segundo esperimento no quitando la masa n, sino despues de dos segundos; se hace un tercero, no quitándola sino despues de tres segundos, y se obtiene así la velocidad del movimiento acelerado despues de uno, dos y tres segundos. Se halla exactamente que estas velocidades son como 1, 2, 3; de lo que se ve que aumentan proporcionalmente á los tiempos, y que el movimiento de que se trata es uniformemente acelerado.

Este resultado bastaria para concluir que el espacio corrido en fuerza del movimiento uniformemente acelerado, durante cierto tiempo, es la mitad del espacio corrido en el mismo tiempo, por el movimiento uniforme que le sucede. Pero esto se ve directamente; porque en cada uno de los esperimentos precedentes, la distancia de las correderas es doble, de la distancia del anillo al punto de partida.

Del mismo modo se podria deducir por el cálculo, que los espacios están como los cuadrados de los tiempos; pero es fácil imaginar, cómo puede demostrarse tambien, por medio de la máquina.

Estos esperimentos convienen con los de Galileo, para probar que la gravedad, que se verifica en la superficie de la tierra, es una fuerza aceleratriz constante. La caida en el vacío, ya ha hecho ver que se ejerce igualmente sobre toda especie de cuerpos. Así todas las moléculas materiales, cualquiera que sea su figura y su naturaleza, están constantemente sujetas á la accion de esta fuerza.

Segun esto, las leyes del movimiento que imprime, están espresadas por las fórmulas generales del movimiento uniformemente acelerado (34),

$$v = gt.$$

$$e = \frac{gt^2}{2}.$$

en las que falta poner en lugar de g, el valor que corresponde á la gravedad. Es menester tener presente, que g representa las velocidades que la fuerza aceleratriz imprime al móvil durante la unidad de tiempo, y acordarse tambien que esta velocidad es doble del espacio que la fuerza hace correr durante la misma unidad; así g es un espacio ó una longitud. Se indicará mas adelante un medio muy exacto para hallar su medida, y se verá que tomando el segundo por unidad de tiempo, el valor de g es en Paris

$$g = 9^m, 8088.$$

Con este dato se puede uno ejercitar, para resolver muchos problemas sobre el movimiento de los cuerpos pesados.

CAPITULO III.

Del centro de gravedad.—Del equilibrio de los sólidos.—De la balanza.—Del peso, de la masa y de la densidad de los cuerpos.

41. Un cuerpo pesado por grande ó pequeño que sea, puede ser considerado como un conjunto de un número infinito de puntos materiales, de los que cada uno está solicitado por la gravedad. Todas estas fuerzas aunque infinitas en número pueden ser sustituidas por una fuerza única aplicada á cierto punto: esta fuerza, que no es mas que la suma ó resultante de todas las acciones de la gravedad, es lo que se llama peso de un cuerpo, y el punto en que se aplica, es lo que se llama su centro de gravedad.

Esta definicion basta para no confundir la *gravedad* con el *peso*, porque la gravedad es la fuerza elemental que solicita cada una de las partecillas de la materia en general, cuando el peso de un cuerpo es la suma de todas las acciones que la gravedad ejecuta sobre este cuerpo en particular.

Es muy importante saber determinar el peso de los cuerpos y su centro de gravedad, pues que entonces se podrá sustituir el peso, que es una sola fuerza, á todas las fuerzas elementales que obran sobre un cuerpo; y el centro de gravedad, que es un solo punto, al conjunto de puntos que le constituyen; y así una masa pesada, cualquiera que sea su magnitud y figura, podrá ser considerada como un solo punto solicitado por una sola fuerza.

42. *Del centro de gravedad.*—En un cuerpo pesado no muy estenso, las acciones que la gravedad ejerce sobre cada molécula pueden ser tomadas por paralelas, porque van á concurrir al centro de la tierra; y son todas iguales porque caen todas con igual velocidad en el vacío; así el *centro de gravedad* no es otra cosa que un *centro de fuerzas paralelas é iguales*. De esto resulta una propiedad característica del centro de gravedad, y es que este punto es fijo en lo interior de los cuerpos sólidos, y no cambia, cualquiera que sea la posicion que se les dé con relacion á la gravedad. Por ejemplo, siendo el punto g (fig. 35) el centro de gravedad del triángulo abc, cuando el punto c está arriba, será aun el lugar del centro de gravedad cuando el punto c esté abajo ó en cualquiera otra posicion que pueda dársele; porque el punto de aplicacion de la resultante de las fuerzas paralelas es independiente de la direccion de estas fuerzas (21).

Para que un cuerpo pesado esté en equilibrio, no hay mas que una sola condicion esencial que llenar; esta es, que el centro de gravedad esté sostenido. Por consiguiente si el mismo centro de gravedad es un punto fijo, se podrá dar vueltas al cuerpo, de todos los modos posibles, y quedará siempre en reposo, porque estará siempre en equilibrio. Se puede hacer el esperimento con un disco homogéneo que dé vueltas alrededor de un eje horizontal que pase por el centro. Cuando un cuerpo está sostenido por un punto fijo que no sea el centro de gravedad, el equilibrio es aun posible; pero no tiene lugar sino en dos posiciones, á saber, cuando el centro de gravedad se halla en la vertical del punto fijo, sea encima ó sea debajo de este punto. Se puede hacer el esperimento con un disco homogéneo que dé vuelta alrededor de un eje horizontal y escéntrico.

De esta consideracion se saca un método práctico para hallar el centro de gravedad de un cuerpo. Se ata con un hilo en un punto c (36), se suspende y cuando está en reposo se señala con toda la exactitud posible el punto m en que la prolongacion del hilo tocaria la superficie inferior. El centro de gravedad está necesariamente sobre la línea cm. En seguida se vuelve á empezar el esperimento ligando el cuerpo por otro punto a y señalando del mismo modo el punto correspondiente m', el centro de gravedad se halla tambien en la línea am': luego se halla en la interseccion de las dos líneas cm y am'.

Para cuerpos irregulares se puede hacer el esperimento en sentido contrario volviéndoles sobre sus aristas, ó poniéndoles sobre piés de pequeña estension. Pero en cuerpos homogéneos que tienen formas regulares, se determina su centro de gravedad por medio de consideraciones geométricas bastante simples.

Línea recta.—Su centro de gravedad se halla evidentemente en medio de su longitud.

Cilindro de bases paralelas.—El centro de gravedad se halla en medio del eje (fig. 42, 43 y 44).

Paralelógramo.—El centro de gravedad está en la interseccion de las diagonales; porque cada diagonal corta la figura en dos partes iguales. Sucede lo mismo en un paralelógramo hueco como en un cuadro.

Círculo.—El centro de gravedad está en el centro del círculo; este punto es igualmente el centro de gravedad de la circunferencia y el del anillo comprendido entre dos circunferencias concéntricas (fig. 45).

Triángulo.—Se tiran las líneas *de fg*, etc., paralelas á la base: (fig. 37) despues la línea *am* que corta en dos partes iguales esta basa y todas sus paralelas; se terminan los paralelógramos *bdec*, *hkli*, etc. por medio de paralelas *am*. La línea *am* pasa por el centro de gravedad de todos los paralelógramos esteriores y tambien por los centros de gravedad de todos los parelelógramos interiores al triángulo; y pasa por ellos cualquiera que sea la magnitud que se dé á estos paralelógramos. Pero, como estos son los unos circunscritos en el triángulo, y los otros inscritos y como en su límite de pequeñez, terminan por confundirse con él; es menester tambien que el centro de gravedad del triángulo esté en *am* igualmente debe estar en *b m'* (fig. 38); luego se halla en *g* que es su interseccion, y resulta de los triángulos semejantes *abg*, *mgm'* que *mg* es la mitad de *ag*, ó que el punto *g* se halla en los dos tercios de *am* partiendo desde el punto *a*.

Polígonos.—Se les descompone en triángulos (fig. 39) de los que se busca el centro de gravedad; en seguida se miran las fuerzas aplicadas á los centros de gravedad de los triángulos como proporcionales á sus superficies, se busca la resultante por las reglas ordinarias, y su punto de aplicacion es su centro de gravedad.

Pirámide triangular.—Se tira una línea del vértice *s* (fig. 40) al punto *g* centro de gravedad de la base *abc*, y se demuestra fácilmente haciendo secciones inscritas y circunscritas, como para los triángulos, que el centro de gravedad se halla sobre esta línea *sg*, que está tambien sobre *sg'* y así que se halla en *g"* que es su interseccion.

En seguida se deduce por la comparacion de los triángulos semejantes que este punto *g"* está en los tres cuartos de *sg* partiendo del vértice. Una pirámide cualquiera se descompone en pirámides triangulares, y se llega á esta consecuencia, que en todos los casos el centro de gravedad de una pirámide, está sobre la línea tirada de su vértice al centro de gravedad de su base, y que se halla en los tres cuartos de esta línea, partiendo del vértice.

Polyedro.—Se descompone en pirámides, como el polígono se descompone en triángulos.

Cono.—Es como una pirámide (fig. 41).

Esfera.—El centro de gravedad. se halla en el centro de la esfera, lo mismo que el de una superficie esférica, como tambien el de una capa comprendida entre dos esferas concéntricas.

43. *Del equilibrio.*—Se ha visto ya que la sola condicion de equilibrio de un cuerpo pesado, es que su centro de graveda esté sostenido; pero esta condicion se llena de diferentes modos segun que el cuerpo está suspendido de puntos fijos ó puestos sobre apoyos.

1.° Supongamos por ejemplo, un disco homogeneo (fig. 46) con tres ahujeros *a*, *b*, *c* y cuyo centro de gravedad, esté en el centro de la figura; este disco estará en equilibrio en todas las posiciones alrededor de un eje que pase por el ahujero central *a*, y este equilibrio se llama indiferente: si el eje pasa por el ahujero superior *b* el equilibrio es estable, porque el cuerpo tiende á volver á él cuando se le aparta; se ve en efecto, que haciendo volver el disco un poco alrededor de su eje, el centro de gravedad marcha á la derecha, ó á la izquierda por el arco *mn*. Ya no está sostenido porque no se halla sobre el plano vertical del eje de suspension, y desciende para volver, despues de una série de ocilaciones, á detenerse en este plano; si el eje pasa por el ahujero inferior *c*, el disco puede aun matemáticamente estar en equilibrio: esto tendrá lugar si el centro de gravedad se halla exactamente en el plano vertical del eje; pero este es un equilibrio inestable, porque en el momento en que el centro de gravedad sale de este plano, se separa de él mas y mas y describe una semicircunferencia entera para venir á detenerse debajo del eje de suspension.

Generalizando estos resultados se ve que un cuerpo cualquiera suspendido por un eje, puede hallarse en equilibrio estable, inestable ó indiferente segun que su centro de gravedad está debajo del eje, encima de él ó en él mismo.

2.° Examinaremos lo que sucede á un disco simplemente puesto en un plano horizontal ó inclinado, y supongamos que este disco compuesto por ejemplo, de plomo y de madera tenga su centro de graveded en la circunferencia *a*, *d*, *b* (fig. 47) á una distancia bastante grande del centro de la figura. Resulta de lo que se ha dicho, que habrá solo dos posiciones del equilibrio, la una estable cuando el centro de gravedad se está

en *a*, la otra inestable, que será cuando el centro de gravedad esté en *b*. Si este mismo disco está puesto sobre un plano inclinado (fig. 48) habrá aun equilibrio, cuando el centro de gravedad se halla en el plano vertical *pb* tirado por la arista *p* del contacto, correspondiendo la estabilidad siempre al punto mas bajo *a* y la inestabilidad al punto elevado *b*.

En este último caso, si el disco es impelido un poco hácia adelante ó á la derecha, volverá subiendo el plano en una longitud igual al arco *pgv* y se hallará entonces en su posicion de estabilidad.

Cuando los cuerpos descansan en el suelo por una base mas ó menos ancha, es necesario para el equilibrio, que la vertical del centro de gravedad, caiga en el circuito de esta base. Se ve segun esto, que el cilindro oblicuo (fig. 49) estará en equilibrio si no tiene mas longtiud que *ab*, y caerá si se le prolonga con otro cilindro semejante, que quite su centro de gravedad hasta al punto de ponerle fuera de las verticales del contorno de la base.

44. Las condiciones de equilibrio tales como se dan habitualmente, y como se acaban de establecer, no son realmente suficientes sino en las especulaciones de la teoría, porque suponen en la materia una propiedad de que no goza; suponen que todos los cuerpos son perfectamente rígidos. es decir, que no son ni elásticos, ni compresibles y que sus moléculas tienen con relacion la una á la otra, una inmovilidad absoluta. En efecto, concibamos un largo tubo de vidrio delgado, puesto por su parte media sobre un apoyo cualquiera (fig. 50), su centro de gravedad estará sostenido; y no obstante el equilibrio no se verificará; porque se doblará en virtud de su elasticidad; se doblará tanto mas cuanto sus estremos se carguen con pesos mas considerables: sucede lo mismo en un árbol sostenido por sus almohadillas (fig. 51); siempre se dobla mas ó menos conforme sea su peso, su elasticidad, su tenacidad, y segun las presiones que sobrelleva. Esto que es verdadero en los cuerpos inorgánicos, lo es aun mas en los cuerpos organizados, los que son mucho menos tenaces y mucho mas elásticos. Una planta está sostenida, porque la vertical de su centro de gravedad cae en el recinto que está determinado por sus raices; pero esto no impide que las ramas se doblen por su peso, y que el mismo tronco pueda doblarse y romperse por la misma causa. Un elefante está sostenido, porque la vertical de su centro de gravedad, cae en el recinto de las cuatro columnas que soportan su masa; pero es menester ademas, que las vértebras y las costillas estèn articuladas con bastante fuerza, para soportar un peso tan enorme, y que los músculos y la piel puedan resistir á la presion que esperimentan.

Se comprende tambien que las mutaciones de forma que resultan, sea por la elasticidad, la compresibilidad, ò por los movimientos voluntarios que desalojan los miembros y los órganos, son otras tantas causas que hacen variar el centro de gravedad. Cuando un hombre levanta el brazo, su centro de gravedad cambia de lugar, cuando una ave alarga su cuello, su centro de gravedad es sensiblemente llevado hàcia adelante. Se ven (fig. 52) las cuatro posiciones del centro de gravedad de una ave, en las cuatro situaciones principales, de su marcha, de su reposo, del nadar, y del vuelo.

45. *De la balanza.*—La balanza ordinaria se compone (fig. 61) de un fiel *ab* sostenido por su parte media *m* cuyos brazos *am* y *bm* están destinados á llevar los platillos *c*, *d*, muy móviles alrededor de sus puntos de apoyo. Despues de haber equilibrado estos platillos se pone en uno de ellos el cuerpo que se ha de pesar, y en el otro las pesas señaladas, hasta que el equilibrio se establezca, es decir, hasta que el fiel esté perfectamente horizontal. En este caso, si la balanza es justa el peso del cuerpo está espresado por el número de gramos y fracciones de él, que ha sido menester poner en el platillo; pero si la balanza no es justa, si sus dos brazos no son mecánicamente iguales, es claro que el peso del cuerpo ya no está representado por los gramos que forman el equilibrio en el otro platillo; porque los pesos están entre sí en razon inversa del brazo de palanca ò de los brazos de la balanza, y aquellos no son iguales, si estos no lo son.

Como es casi imposible el construir una balanza, cuyos brazos sean perfectamente iguales, se han imaginado diferentes métodos para remediar este inconveniente. El mas simple es el método de las *dobles pesadas ó pesadas por substitucion*. Este consiste en equilibrar los cuerpos con plomo, arena ú otros objetos, despues se retira el cuerpo, cuando el equilibrio está establecido, y se le sustituyen los gramos y fracciones de gramo que sean necesarios para restablecer el equilibrio. Las pesas señaladas tomando así el lugar del cuerpo que se pesa, corrijen la influencia de la desigualdad de los brazos.

La balanza ordinaria de que acabamos de hablar, puede servir cuando no se quiere llegar mas que á una aproximacion de cerca de un decígramo.

Para pesar con mucha exactitud es menester emplear una balanza mas perfecta que caiga fácilmente con 1 milígramo, cuando cada platillo está cargado con 1 kilógramo. He aquí las principales condiciones por medio de las que se llega á este resultado.

1.° El fiel f (fig. 54, 59, 60) está atravesado por un cuchillo de acero a (fig. 54) cuyo corte agudo sin ser vivo descansa sobre planos b de acero ó de ágata: de este modo el contacto del fiel sobre los puntos que le sostienen no cambia y no esperimenta sino la menor frotacion posible.

2.° Los dos platillos c (fig. 55 y 60), se unen al fiel por medio del gancho d y de la asa g que va á descansar sobre el corte del cuchillo h. Todos estos puntos de contacto, se hacen por aristas embolados de acero; resulta de esto, que el centro de gravedad de cada platillo y de los pesos que contiene, se coloca libremente en la vertical del corte del cuchillo h, y que la distancia de este corte al de suspension queda invariable durante las oscilaciones de la balanza.

3.° El centro de gravedad del fiel, puede ser levantado ó bajado por medio de la tuerca, l (fig. 55, 59, 60) que se mueve sobre el tornillo p. El peso de esta tuerca y la longitud del tornillo, están de tal modo combinados, que dando sucesivamente á la tuerca las tres posiciones i, k, l, el centro de gravedad del fiel, se halla sucesivamente en los tres puntos m, n, o. En el primer caso, el equilibrio es inestable y se pierde á cada momento: en el segundo caso, el equilibrio es indiferente: en fin, en el tercero, el equilibrio es estable, y el fiel hace una série de oscilaciones mas ó menos rápidas segun que el centro de gravedad está mas ó menos deprimido debajo del corte del cuchillo. Se ve al mismo tiempo, que si el equilibrio no está rigurosamente establecido, si falta por ejemplo un milígramo en uno de los platillos, el fiel se inclinará al lado del mayor peso, y que por la misma diferencia de 1 milígramo se inclinará tanto mas cuanto el centro de gravedad estará menos deprimido bajo el corte del cuchillo. Por medio del tornillo l, se puede pues aumentar ó disminuir la sensibilidad de la balanza. Para apreciar de un modo mas exacto, la inclinacion del fiel, ó la amplitud de las oscilaciones se adapta una larga aguja r (fig. 54 y 60), la que se mueve sobre una division circular s, cuyo centro está encima del corte del cuchillo.

4.° Para conservar el pulido del cuchillo de suspension a y de los planos sobre los que descansan, se adapta á la balanza un sistema de horquillas t (fig. 56 y60) que vienen á coger el fiel por debajo y que le mantienen levantado mientras que se mudan los pesos de los platillos: despues dejando bajar con suavidad las horquillas, el cuchillo vuelve á ponerse sobre sus planos, y el fiel puede hacer las oscilaciones mayores ó menores segun que las orquillas han sido mas ó menos deprimidas. La figura 56 representa el medio de arreglar la altura de las orquillas á fin de que puedan tomar y dejar el fiel en el mismo tiempo. La fig. 55 representa la columna móvil u cuya parte superior está armada de dos brazos v destinados á llevar las horquillas, mientras que la parte inferior está terminada por un caballete que descansa sobre el plano inclinado x (fig. 55, 57, y 58); este plano inclinado se mueve alrededor del centro y, por medio del manubrio z. Cuando se tira del manubrio hácia adelante, el plano inclinado levanta el caballete, la columna u, los brazos vv, las horquillas t y por consiguiente el fiel f: al contrario cuando se impele el manubrio hácia atras, el plano inclinado retrocede, y el resorte ancho que envuelve la columna u añade su efecto al peso del fiel para obligar la columna á bajar con sus horquillas, y para llevar el cuchillo del fiel á descansar sobre sus pies.

Las balanzas construidas segun estos principios tienen una delicadeza y sensibilidad que nada dejan que desear.

46. *Del peso, de la masa y de la densidad.*—El gramo que es la unidad de peso adoptado en Francia, es el peso de un centímetro cúbico de agua destilada tomada en su maximun de condensacion. Si la longitud del centímetro se perdiese, se podria volver á encontrar porque es la centésima parte del metro; y si el mismo metro se perdiese, se podria volver á encontrar, porque

es la diez millonésima parte del arco del meridiano de Paris, comprendido entre el polo y el ecuador; bastaria para esto volver á empezar la medida de la tierra. En fin, si la misma tierra llegase á mudar de forma ó de magnitud, entonces el metro seria tambien mudado; no se podria hallar su longitud; pero al mismo tiempo todo habria mudado para nosotros, los dias y las noches no tendrian ya los mismos periódos, ni las estaciones el mismo curso, ni la misma duracion; la unidad de peso seria tambien alterada, y lo seria tambien, si el agua pudiese mudar de composicion ó si la gravedad pudiese cambiar su direccion. Así todo es condicional en nuestros principios los mas fundamentales, y la ciencia ha hecho todo lo que podia hacer, habiendo establecido sus bases sobre la estabilidad del mundo.

Se dice comunmente que la masa de un cuerpo es la cantidad de materia que le compone: pero esta definicion seria del todo ilusoria, si no tuviésemos algun medio de comparar las cantidades de materia, y de establecer sus relaciones.

En vano se buscaria algun carácter esterior para conocer la cantidad de materia que contiene un espacio dado: jamas se llegaria á ello, si no hubiese en la naturaleza alguna fuerza particular que llenara las condiciones siguientes: 1.° que solicitase igualmente todos los átomos de los cuerpos; y 2.° que fuese tal que se pudiese obtener su resultante. Ahora bien, la gravedad es una fuerza de esta especie; obra igualmente sobre todas las substancias; como que todas en su caida toman la misma velocidad, y puede conocerse su resultante en un cuerpo dado, porque ella es el peso del cuerpo. Segun esta verdad sacada de la esperiencia, puede uno concluir que la *masa ó la cantidad de materia es proporcional al peso.* Sobre esto es menester notar que hay dos modos de valuar el peso de un cuerpo. Se puede valuar por medio de la balanza, como se acaba de indicar; entonces el peso es independiente de la gravedad. Por ejemplo, si una balanza se halla en equilibrio en Paris, teniendo una cierta cantidad de hierro en uno de sus platillos; y en el otro, pesas de cobre del valor de un kilógramo, estaria tambien en equilibrio en la cima de los Alpes, aunque aquí la gravedad sea menor que en Paris. Esto es así porque el hierro, y todas las substancias ganan en peso, ó pierden en la misma relacion cuando a gravedad aumenta ó disminuye: la misma balanza estaria aun en equilibrio, si se la llevase á los límites de la atmósfera, ó á la superficie de la luna, y aun á la del sol. Al contrario, si se quisiesen valuar los pesos por medio de un resorte graduado, que se dobla una cierta cantidad, el volúmen de hierro, que en Paris marcase un kilógramo, doblaria mucho menos el resorte en la cúspide de los Alpes, y le doblaria veinte y seis ó veinte y siete veces mas en la superficie del sol: su peso valorado de esta manera cambiaria pues con la gravedad, al paso que su masa no mudaria. El peso dado por la balanza puede llamarse peso relativo, el que se examina por el resorte, puede ser llamado peso absoluto; en este caso, es verdadero el decir *que la masa de un cuerpo es proporcional á su peso relativo*; ó bien, *que es proporcional á su peso absoluto dividido por la intensidad de la gravedad*; lo que da $m=\frac{p}{g}$, ó $p=gm$, designando m la masa de un cuerpo, p su peso, y g, como siempre, la intensidad de la gravedad.

Podria ser que en la naturaleza hubiese substancias *imponderables* en las que la gravedad no ejerciese ninguna especie de accion: estas substancias sin gravedad carecerian tambien de peso, pero no estarian privadas de masa. Solo sí, seria imposiblè toda comparacion entre ellas y las masas pesadas, mientras no se hubiese descubierto alguna fuerza instantánea ó constante, que pudiese obrar sobre las substancias de las dos especies. Una substancia imponderable, que fuese agregada á la materia pesada para constituir los cuerpos, seria una causa capaz de retardar los movimientos debidos á la gravedad: obraria como las masas m, que se equilibran en la máquina de Atwood, porque participaria del movimiento impreso por la gravedad. De que no se observe retardo alguno de esta especie, no se puede inferir que no haya en los cuerpos substancias imponderables, si solo que si las hay, son en masa muy pequeña con relacion á la masa ponderable, ó que no están aquellas agregadas á esta de un modo permanente, sino que los cuerpos pesados las dejan cuando mudan de lugar.

Tomemos de nuevo la ecuacion $p=gm$, y notemos que en un cuerpo homogéneo, siendo el peso p evidentemente proporcional al volúmen v, se tiene tambien:

$$p=\pi v$$

en este caso π es el peso de la unidad de volúmen, ó el *peso específico* del cuerpo, que es lo que impropiamente se llama *gravedad específica*. Un cuerpo no tiene gravedad específica, ó gravedad que lo caracterice, puesto que la gravedad es la misma en todos los cuerpos; sino que tiene un peso específico, porque bajo un volúmen dado, cambia el peso de un cuerpo á otro.

Del mismo modo, siendo la masa evidentemente proporcional al volúmen, en un cuerpo homogéneo, se tiene:

$$m = dv;$$

siendo d la masa de la unidad de volúmen; se ha convenido en llamar á esto, *densidad* de los cuerpos; porque, en efecto, los cuerpos mas densos son los que tienen mayor masa bajo el mismo volúmen.

Las tres relaciones

$$p = mg;\ p = \pi v;\ m = dv,$$

son muy importantes: se hace un uso continuo de ellas en física y en mecánica,; y es necesario no perder de vista las definiciones de las seis cantidades p, m, v, g, π, y d, de que se componen dichas relaciones.

Resulta de ellas:

1.° Que en un mismo lugar, las masas de dos cuerpos cualesquiera, están entre sí, como los pesos de estos cuerpos: en efecto, para el primer cuerpo se tendria $p = mg$, y para el segundo $p' = m'g$; permaneciendo g la misma; lo que da:

$$\frac{p}{p'} = \frac{m}{m'}$$

2.° Que en un mismo lugar, los pesos específicos son proporcionales á las densidades; así, se tendria para los pesos específicos $p = \pi v$ y $p = \pi' v'$; y para las densidades, $m = dv$, y $m' = d'v'$; de donde resulta

$$\frac{\pi v}{\pi' v'} = \frac{dv}{d'v'},\ \text{ó}\ \frac{\pi}{\pi'} = \frac{d}{d'}$$

Ahora bien, como en general, no se buscan mas que las relaciones de los pesos específicos, ó de las densidades, se puede tomar una de estas relaciones por la otra.

En las diversas substancias, la relacion de los pesos específicos ó de las densidades parece exigir dos determinaciones, la de los pesos, y la de los volúmenes; porque se tiene

$$\frac{\pi}{\pi'} = \frac{p}{p'} \cdot \frac{v'}{v},\ \text{y por consiguiente,}\ \frac{d}{d'} = \frac{p}{p'} \cdot \frac{v'}{v}$$

es decir, que la relacion de las densidades es igual á la relacion *directa* de los pesos, multiplicada por la relacion *inversa* de los volúmenes. Pero en general, se disponen las esperiencias para obrar sobre volúmenes; ó pesos iguales.

En el primer caso, con volúmen igual, las densidades de dos cuerpos son proporcionales á sus pesos.

En el segundo caso, con peso igual, las densidades de dos cuerpos están en razon inversa de sus volúmenes.

Generalmente se refieren todas las densidades á la del agua, que se toma por unidad; así cuando se dice que la densidad de un cuerpo es 2, 3, 4 etc. se significa que con un volúmen igual, pesa 2, 3, 4, etc., veces tanto como el agua, ó que con pesos iguales, tienen un volúmen que es $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ del volúmen del agua.

Conocida la densidad d' de un cuerpo, respecto de otro cualquiera, cuya densidad se toma por unidad, es fácil encontrar su peso específico, ú el peso de la unidad de volúmen; porque, representando este peso por π', y por π el del cuerpo, cuya densidad es 1, se tiene

$$\frac{d'}{1} = \frac{\pi'}{\pi},\ \text{de donde se saca,}\ \pi' = \pi \cdot d',$$

Así la densidad del mercurio es 13, 598 con relacion al agua; el peso de un centímetro cúbico de mercurio, será $\pi' 13\ 598.\pi$ Pero el peso π del centímetro cúbico de agua, es 1g, si se toma el gramo por unidad de peso, ó 0k, 001 si se toma el kilógramo por unidad. Se tiene pues

$$\pi' = 13^{gr.}, 598,\ \text{ó}\ \pi' = 0^{k}, 013598;$$

siendo siempre la misma, la unidad que se toma por π, que la que sirve para π'.

La densidad del hidrógeno es 0, 0691 con relacion á la del aire, que se toma por unidad: el peso π' de un métro cúbico de hidrógeno, será

$$\pi' = 0{,}0691.\pi;$$

siendo π el peso de un métro cúbico de aire. Ahora, siendo el peso de un métro cúbico de aire, igual á 1k, 2991, se tendrá

$$\pi' = 0^{k}, 0898.$$

Veremos en el libro 2.° cap. 2.°, cómo se determinan las densidades de los diferentes cuerpos.

CAPITULO IV.

Del péndulo.

47. El péndulo ordinario se compone de una bola pesada suspendida del estremo de un hilo flexible (fig. 62). Sus propiedades mas fundamentales son: 1.°, señalar la direccion vertical ó de la gravedad; 2.°, hacer oscilaciones planas, cuando se aparta de la vertical y se abandona á sí mismo, sin darle impulso alguno. En efecto, si se pone el péndulo en una posicion cualquiera fa y se deja caer libremente, desciende hasta l, pasa este punto, sube por el otro lado hasta b, describiendo un arco lb, igual al arco la, cae despues de nuevo, llega á l, sube á a y continúa así su movimiento durante muy largo tiempo. Se puede observar que cuando el péndulo baja, la velocidad va aumentando hasta l, y que al contrario cuando sube, va disminuyendo desde el punto l hasta el punto en que se detiene.

El ángulo afl se llama *ángulo de separacion* ó simplemente *separacion*.

El movimiento de a á b, ó de b á a, es lo que se llama una *oscilacion*: de a á l una *semi-oscilacion descendente*, y de l á b una *semi-oscilacion ascendente*.

La *amplitud* de la oscilacion es el arco ab medido en grados, minutos y segundos.

La *duracion* de una oscilacion es el tiempo que el péndulo emplea en recorrer el arco.

La primera consecuencia que se presenta despues de estas observaciones, es que el movimiento del péndulo es un movimiento perpetuo; porque si partiendo de a sube á una altura b que sea igual, sucederá tambien que saliendo de b, volverá exactamente á a, y lo que ha hecho la primera vez, lo hará la segunda, la tercera y así perpetuamente.

Esta conclusion seria rigurosa, si en efecto la altura del punto b á que llega, fuese exactamente igual á la altura del punto a, de donde ha descendido; pero los rozamientos del punto de suspension f, y la resistencia del aire que la esfera debe apartar por delante de sí, impiden que esta igualdad sea absoluta. La diferencia no se hace sensible, sino despues de cierto número de oscilaciones; y lejos de admirar que el movimiento no sea perpetuo, es admirable el que pueda continuar por tan largo tiempo: porque un péndulo puede sin parar, hacer oscilaciones durante horas enteras.

El péndulo es uno de los instrumentos mas simples de la física, al paso que su estudio es de los mas curiosos, porque sirve para la exacta medida del tiempo, para la determinacion de la figura de la tierra, y para una de las mas importantes cuestiones sobre la gravitacion general de la materia.

48. *Leyes de las oscilaciones del péndulo.*— 1.° La duracion de las oscilaciones que son muy pequeñas, es independiente de su amplitud: se dice que son *isóchonas*, para espresar que se hacen todas en el mismo tiempo. Las oscilaciones de 4 ó 5 grados de amplitud ya no son oscilaciones muy pequeñas, empiezan á tener una duracion sensiblemente mayor.

2.° La duracion de las oscilaciones es del todo independiente del peso de la bola, y de la naturaleza de su substancia.

3.° Las duraciones de las oscilaciones están entre sí como las raices cuadradas de las longitudes de los péndulos (1).

Estas leyes se deducen rigurosamente de los principios de mecánica; pero en física se demuestran aproximativamente, por medio de la esperiencia.

La primera ley necesitaria demasiado tiempo, para pretender demostrarla en un curso; porque seria menester contar muchos centenares de oscilaciones; las unas al principio cuando la amplitud es de 4 ó 5 grados, las otras un poco mas tarde, cuando están reducidas á 2 ó 3 grados, y las últimas hácia el fin del movimiento, cuando ya no son sensibles á la simple vista, y que es menester observarlas con un lente. Uno se admira desde luego de que el péndulo emplee

(1) Por la fórmula $T = \pi \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{g}}$, que luego demostraremos, se tendrá para dos péndulos $T : t = \pi \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{g}} : \pi \frac{\sqrt{l'}}{\sqrt{g'}} = \sqrt{l} : \sqrt{l'}$, puesto que π es comun y que oscilando el péndulo en un mismo lugar, $g = g'$

en este caso π es el peso de la unidad de volúmen, ó el *peso específico* del cuerpo, que es lo que impropiamente se llama *gravedad específica*. Un cuerpo no tiene gravedad especifica, ó gravedad que lo caracterice, puesto que la gravedad es la misma en todos los cuerpos; sino que tiene un peso específico, porque bajo un volúmen dado, cambia el peso de un cuerpo á otro.

Del mismo modo, siendo la masa evidentemente proporcional al volúmen, en un cuerpo homogéneo, se tiene:

$$m=dv;$$

siendo d la masa de la unidad de volúmen; se ha convenido en llamar á esto, *densidad* de los cuerpos; porque, en efecto, los cuerpos mas densos son los que tienen mayor masa bajo el mismo volúmen.

Las tres relaciones

$$p=mg;\ p=\pi v;\ m=dv,$$

son muy importantes: se hace un uso continuo de ellas en física y en mecánica,; y es necesario no perder de vista las definiciones de las seis cantidades p, m, v, g, π, y d, de que se componen dichas relaciones.

Resulta de ellas:

1.° Que en un mismo lugar, las masas de dos cuerpos cualesquiera, están entre sí, como los pesos de estos cuerpos: en efecto, para el primer cuerpo se tendria $p=mg$, y para el segundo $p'=m'g$; permaneciendo g la misma; lo que da:

$$\frac{p}{p'}=\frac{m}{m'}$$

2.° Que en un mismo lugar, los pesos específicos son proporcionales á las densidades; así, se tendria para los pesos específicos $p=\pi v$ y $p=\pi'v'$; y para las densidades, $m=dv$, y $m'=d'v'$; de donde resulta

$$\frac{\pi v}{\pi' v'}=\frac{dv}{d'v'},\ \text{ó}\ \frac{\pi}{\pi'}=\frac{d}{d'}.$$

Ahora bien, como en general, no se buscan mas que las relaciones de los pesos específicos, ó de las densidades, se puede tomar una de estas relaciones por la otra.

En las diversas substancias, la relacion de los pesos específicos ó de las densidades parece exigir dos determinaciones, la de los pesos, y la de los volúmenes; porque se tiene

$$\frac{\pi}{\pi'}=\frac{p}{p'}\cdot\frac{v'}{v},\ \text{y por consiguiente,}\ \frac{d}{d'}=\frac{p}{p'}\cdot\frac{v'}{v}$$

es decir, que la relacion de las densidades es igual á la relacion *directa* de los pesos, multiplicada por la relacion *inversa* de los volúmenes. Pero en general, se disponen las esperiencias para obrar sobre volúmenes; ó pesos iguales.

En el primer caso, con volúmen igual, las densidades de dos cuerpos son proporcionales á sus pesos.

En el segundo caso, con peso igual, las densidades de dos cuerpos están en razon inversa de sus volúmenes.

Generalmente se refieren todas las densidades á la del agua, que se toma por unidad; así cuando se dice que la densidad de un cuerpo es 2, 3, 4 etc. se significa que con un volúmen igual, pesa 2, 3, 4, etc., veces tanto como el agua, ó que con pesos iguales, tienen un volúmen que es $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ del volúmen del agua.

Conocida la densidad d' de un cuerpo, respecto de otro cualquiera, cuya densidad se toma por unidad, es fácil encontrar su peso especifico, ú el peso de la unidad de volúmen; porque, representando este peso por π', y por π el del cuerpo, cuya densidad es 1, se tiene

$$\frac{d'}{1}=\frac{\pi'}{\pi},\ \text{de donde se saca,}\ \pi'=\pi.\,d',$$

Así la densidad del mercurio es 13, 598 con relacion al agua; el peso de un centímetro cúbico de mercurio, será π' 13 598.π Pero el peso π del centímetro cúbico de agua, es 1^{g}, si se toma el gramo por unidad de peso, ó 0^{k}, 001 si se toma el kilógramo por unidad. Se tiene pues

$$\pi'=13^{\,gr.},598,\ \text{ó}\ \pi'=0^{k},013598;$$

siendo siempre la misma, la unidad que se toma por π, que la que sirve para π'.

La densidad del hidrógeno es 0, 0691 con relacion á la del aire, que se toma por unidad: el peso π' de un métro cúbico de hidrógeno, será

$$\pi'=0{,}0691.\pi;$$

siendo π el peso de un métro cúbico de aire. Ahora, siendo el peso de un métro cúbico de aire, igual á 1^{k}, 2991, se tendrá

$$\pi'=0^{k},0898.$$

Veremos en el libro 2.° cap. 2.°, cómo se determinan las densidades de los diferentes cuerpos.

CAPITULO IV.

Del péndulo.

47. El péndulo ordinario se compone de una bola pesada suspendida del estremo de un hilo flexible (fig. 62). Sus propiedades mas fundamentales son: 1.°, señalar la direccion vertical ó de la gravedad; 2.°, hacer oscilaciones planas, cuando se aparta de la vertical y se abandona á sí mismo, sin darle impulso alguno. En efecto, si se pone el péndulo en una posicion cualquiera fa y se deja caer libremente, desciende hasta l, pasa este punto, sube por el otro lado hasta b, describiendo un arco lb, igual al arco la, cae despues de nuevo, llega á l, sube á a y continúa así su movimiento durante muy largo tiempo. Se puede observar que cuando el péndulo baja, la velocidad va aumentando hasta l, y que al contrario cuando sube, va disminuyendo desde el punto l hasta el punto en que se detiene.

El ángulo afl se llama *ángulo de separacion* ó simplemente *separacion*.

El movimiento de a á b, ó de b á a, es lo que se llama una *oscilacion*: de a á l una *semi-oscilacion descendente*, y de l á b una *semi-oscilacion ascendente*.

La *amplitud* de la oscilacion es el arco ab medido en grados, minutos y segundos.

La *duracion* de una oscilacion es el tiempo que el péndulo emplea en recorrer el arco.

La primera consecuencia que se presenta despues de estas observaciones, es que el movimiento del péndulo es un movimiento perpetuo; porque si partiendo de a sube á una altura b que sea igual, sucederá tambien que saliendo de b, volverá exactamente á a, y lo que ha hecho la primera vez, lo hará la segunda, la tercera y así perpetuamente.

Esta conclusion seria rigurosa, si en efecto la altura del punto b á que llega, fuese exactamente igual á la altura del punto a, de donde ha descendido; pero los rozamientos del punto de suspension f, y la resistencia del aire que la esfera debe apartar por delante de sí, impiden que esta igualdad sea absoluta. La diferencia no se hace sensible, sino despues de cierto número de oscilaciones; y lejos de admirar que el movimiento no sea perpetuo, es admirable el que pueda continuar por tan largo tiempo: porque un péndulo puede sin parar, hacer oscilaciones durante horas enteras.

El péndulo es uno de los instrumentos mas simples de la física, al paso que su estudio es de los mas curiosos, porque sirve para la exacta medida del tiempo, para la determinacion de la figura de la tierra, y para una de las mas importantes cuestiones sobre la gravitacion general de la materia.

48. *Leyes de las oscilaciones del péndulo.*—1.° La duracion de las oscilaciones que son muy pequeñas, es independiente de su amplitud: se dice que son *isóchonas*, para espresar que se hacen todas en el mismo tiempo. Las oscilaciones de 4 ó 5 grados de amplitud ya no son oscilaciones muy pequeñas, empiezan á tener una duracion sensiblemente mayor.

2.° La duracion de las oscilaciones es del todo independiente del peso de la bola, y de la naturaleza de su substancia.

3.° Las duraciones de las oscilaciones están entre sí como las raices cuadradas de las longitudes de los péndulos (1).

Estas leyes se deducen rigurosamente de los principios de mecánica; pero en física se demuestran aproximativamente, por medio de la esperiencia.

La primera ley necesitaria demasiado tiempo, para pretender demostrarla en un curso; porque seria menester contar muchos centenares de oscilaciones; las unas al principio cuando la amplitud es de 4 ó 5 grados, las otras un poco mas tarde, cuando están reducidas á 2 ó 3 grados, y las últimas hácia el fin del movimiento, cuando ya no son sensibles á la simple vista, y que es menester observarlas con un lente. Uno se admira desde luego de que el péndulo emplee

(1) Por la fórmula $T=\pi\frac{\sqrt{l}}{\sqrt{g}}$, que luego demostraremos, se tendrá para dos péndulos $T:t=\pi\frac{\sqrt{l}}{\sqrt{g}}:\pi\frac{\sqrt{l'}}{\sqrt{g'}}=\sqrt{l}:\sqrt{l'}$, puesto que π es comun y que oscilando el péndulo en un mismo lugar, $g=g'$

casi tanto tiempo en recorrer un arco de $\frac{1}{10}$ de grado, como en recorrer un arco de 10 grados, que es por consiguiente cien veces mayor; pero se concibe la razon de esto, observando que en el segundo caso la gravedad le imprime mucha mayor velocidad, porque obra mas oblícuamente y de un modo mas eficaz. Esta ley de *isochronismo* es uno de los primeros descubrimientos de Galileo. Se dice que siendo aun muy jóven, vió por casualidad en la iglesia metropolitana de Pisa, las oscilaciones de una lámpara suspendida de la bóveda, y se admiró de las vueltas periódicas de su movimiento, y de la igualdad de su duracion. Nada mas necesitó para despertar su génio, y esta observacion de un niño, fué el manantial de grandes descubrimientos.

La segunda ley se demuestra fácilmente.

Se toman diferentes esferas de metal, de marfil, ú otras substancias; se componen con ellas péndulos de la misma longitud, y se hacen oscilar juntos; se vé que todos estos péndulos van acordes durante mucho tiempo.

Cuando la gravedad obra para hacer oscilar un péndulo, obra separadamente sobre cada uno de los átomos de la materia que componen la esfera. Así un solo átomo de hierro, por ejemplo, suspendido al estremo de un hilo, debe oscilar con la misma velocidad que dos átomos juntos, porque tienen su fuerza separada, y esta fuerza tiene para cada uno de ellos la misma intensidad; ha de oscilar como oscilaria una reunion cualquiera de átomos; y en efecto, sin las resistencias y las frotaciones, oscilaria como una grande bola de hierro. Ademas, obrando la gravedad del mismo modo sobre todas las substancias, un átomo de hierro debe oscilar como un átomo de marfil, de oro, ó de platina; y por consiguiente todas las masas, cualquiera que sea su naturaleza, deben oscilar con la misma velocidad: este esperimento es importante, porque da otra prueba de que la gravedad obra del mismo modo sobre todos los cuerpos. El esperimento que se hizo ya en el tubo vacio de aire, no es mas que un esperimento grosero, porque la gravedad no obra sino durante algunas fracciones de segundo, al paso que con el péndulo podemos observar sus efectos sobre diferentes cuerpos durante horas enteras. Es cierto que no caen sino por el arco de oscilacion, el que se replega sobre sí mismo un gran número de veces; pero es evidente que para la consecuencia que nos ocupa, es como si cayesen con un movimiento rectilíneo y progresivo. Por medio de observaciones de esta especie, pero que exigirian muchos cuidados y precision, se podria descubrir si existe en efecto en lo interior de los cuerpos alguna substancia imponderable agregada de un modo permanente á la materia ponderable, y que tenga con relacion á ella una masa sensible bajo volúmen igual. Nada se puede deducir de las observaciones de Mairan sobre este objeto. No fueron hechas bajo este aspecto, y son de una época en que se habria buscado en vano el grado de perfeccion á que se ha llegado en el dia.

La tercera ley se demuestra con péndulos de diferentes longitudes. Si por ejemplo, se toman tres péndulos cuyas longitudes estén entre sí como los números 1, 4, 9, en este caso las duraciones de las oscilaciones deben estar como los números simples 1, 2, 3; y en efecto, si se hacen oscilar tales péndulos, sea suspendiéndoles el uno delante del otro, sea colocándoles con un doble hilo (fig. 63) se ve fácilmente que aquel cuya longitud es 1 comparado con el otro cuya longitud es 4, hace dos oscilaciones por una, y hace tres por una cuando se le compara con el otro cuya longitud es 9. Solo por consideraciones mecánicas es como se puede evidenciar exactamente este resultado importante.

49. *De la intensidad de la gravedad, del péndulo simple y del compuesto.* Las leyes de que se acaba de hablar son del todo independientes de la intensidad de la gravedad. Supóngase que esta fuerza pasa á ser cien veces mas intensa, ó cien veces menor, las pequeñas oscilaciones serian aun isóchronas entre si, y su duracion conservaria aun la misma relacion con los pesos de los péndulos, y con sus longitudes. Pero aun que estas leyes no cambien con la intensidad de la fuerza, hay no obstante alguna variacion en la duracion absoluta de cada oscilacion. Si la gravedad dejase de obrar en un instante dado, los cuerpos dejarian de caer, y los péndulos de oscilar, ó á lo menos los cuerpos no caerian sino en virtud de su velocidad adquirida, y los péndulos que están actualmente en movimiento, describirian círculos enteros sin ser atraidos hácia la vertical y sin ser detenidos por otra causa que el rozamiento. Al contrario si la gravedad doblase su intensidad, los cuerpos caerian con mayor velocidad, y los péndulos serian mas prontos en las idas y vueltas de sus oscilaciones.

Pero la verdadera relacion que existe entre la duracion de las oscilaciones, la longitud del péndulo y la intensidad de la gravedad, no puede ser demostrada sino por las leyes de la mecánica, y aqui debemos limitarnos á manifestar la fórmula que sirve para espresarla.

Sea l la longitud de un péndulo cualquiera espresada en metros;

Sea t la duracion de una oscilacion de este péndulo espresada en segundos sexagesimales.

Sea π la relacion aproximada de la circunferencia al diámetro, cuyo valor es como se sabe $\pi = 3.1415926$;

En fin, sea g la intensidad de la gravedad, es decir, el número de metros que espresa la velocidad de un cuerpo despues de un segundo de caida libre.

Se tendrá para la fórmula del péndulo (1) $t. = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ de que se sigue que $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$; es decir, que la intensidad absoluta de la gravedad, es igual al cuadrado de la relacion aproximada de la circunferencia al diámetro, multiplicada por la longitud del péndulo que se observa, y dividida por el cuadrado del tiempo de una oscilacion.

Para obtener la intensidad de la gravedad, bastará hacer oscilar un péndulo, medir la longitud l, observar la duracion de una oscilacion, para obtener t y hacer despues los cálculos indicados.

Esta fórmula es la que conviene al péndulo *simple*, y se llama así un péndulo ideal que es fácil concebir; pero que es imposible construir. Deberia componerse de un hilo inestensible y sin gravedad, en cuyo estremo estuviese fijada una sola molécula de materia pesada.

50. Todo péndulo que no sea simple como el precedente, se llama *péndulo compuesto*, así un hilo inflexible y sin peso, al que estuviesen atadas solas dos moléculas pesadas m y n (fig. 64), formarian un péndulo compuesto. En este aparato la velocidad de oscilaciones se *compone* en efecto, de las velocidades de oscilacion que tomarian separadamente cada una de las pequeñas masas oscilando libremente. La molécula m que se halla á la distancia fm del punto de suspension, tiende á oscilar con mayor velocidad que la molécula n que se encuentra á la distancia fn; pero por estar unidas la una á la otra, forzadas á marchar juntas, y á hacer su oscilacion en el mismo tiempo, la primera está retardada por la segunda, y la segunda acelerada por la primera; de aquí una velocidad intermedia que es la velocidad del péndulo compuesto. En todo cuerpo que oscila se hace una compensacion análoga entre todas las velo-

---

(1) Supongamos que el péndulo ha salido del punto B (fig. 8 n) y llegado á m, y que sea v la velocidad adquirida en este punto. Tírese la horizontal BD, las ordenadas sumamente próximas mp, $m'p'$, y descríbase sobre AK como diámetro la circunferencia $AnKo$; sea $Ap = x$, $pm = z$, $mm' = s$, su proyeccion $pp' = s'$ la altura de la oscilacion $AK = a$, sea t el tiempo empleado en recorrer mm' y T el de la oscilacion toda.

Ademas, en el movimiento uniformemente acelerado, $e = \frac{gt^2}{2}$, y $v = gt$; luego $e = \frac{vt}{2}$, $t = \frac{v}{g}$, y $e = \frac{v^2}{2g}$: luego $v = \sqrt{2eg}$: y en el caso considerando á Bm como un plano inclinado, cuya altura es AP; supuesto que las velocidades adquiridas por el plano y por la altura, son iguales, será: $v = \sqrt{2gx}$; siendo el lado mm' infinitésimo, se puede suponer que ha sido recorrido uniformemente con la velocidad v, luego $t = \frac{mm'}{v} = \frac{mm'}{\sqrt{2gx}}$: pero (fig. 9 n) $MP : MO :: CM : MM'$; y en el caso $mp : pp = mc : mm' = \frac{s' \times r}{z}$; luego $t = \frac{s'r}{z\sqrt{2gx}}$; pero como a es el seno verso de BK que suponemos muy pequeño, será z media proporcional entre $a-x$ y $2r$; luego $z = \sqrt{2r(a-x)}$; sustituyendo será $t = \frac{rs'}{\sqrt{2gx} \times \sqrt{2r(a-x)}} = \frac{\sqrt{r^2}}{(\sqrt{r} \times \sqrt{g})} \times \frac{\frac{1}{2}s'}{\sqrt{x(a-x)}} = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{g}} \times \frac{\frac{1}{2}s'}{\sqrt{x(a-x)}} = \frac{\sqrt{r}}{a\sqrt{g}} \times \frac{\frac{1}{2}as'}{\sqrt{x(a-x)}}$; pero segun la ecuacion del círculo $\sqrt{x(a-x)} = \sqrt{np^2} = np$ la ordenada; mas $\frac{1}{2}as' = \frac{AK}{2} \times pp'$ llamando r' el radio del círculo $AnKp$, será $\frac{1}{2}as' = r' \times pp'$: Luego $\frac{\frac{1}{2}as'}{\sqrt{x(a-x)}} = \frac{r' \times pp'}{np} = nn'$ por la ecuacion de la fig. 9 n: luego t que es igual á $\frac{\sqrt{r}}{a\sqrt{g}} \times \frac{\frac{1}{2}as'}{\sqrt{xa-x}} = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{ag}} \times nn' = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{g}} \times \frac{nn'}{a} = t.$ Hecho el mismo raciocinio para la caida por el arco BmK, resulta $\frac{T}{2} = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{g}} \times \frac{AnK}{a}$; y para toda la oscilacion será $T = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{g}} \times \frac{AnKoA}{AK} = \pi . \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{g}}$ llamando π la relacion de la circunferencia al diámetro: ademas r es igual á la longitud del péndulo l; luego $T = \pi . \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{g}} = \pi . \sqrt{\frac{l}{g}}$

cidades diferentes, que tomarian las diferentes moléculas, si cada una de ellas oscilase libremente. Para dar á entender mejor esta verdad fundamental, pondremos un ejemplo mas: *fp* (fig. 65), representa un péndulo ordinario, á poca diferencia como los que sirven de reguladores en los relojes: *f* es el punto fijo, *ft* es lo que se llama la varilla, y *l* el lente. El punto *m* y los que como él, están muy inmediatos al eje de suspension, marcharian con mucha velocidad, si fuesen solos. Al contrario, el punto estremo *n* y los que como él están muy bajos, no podrian marchar sino muy lentamente. Los primeros están, pues, retardados por razon del esfuerzo que hacen para arrastrar á los últimos, y estos están acelerados por el impulso que reciben de aquellos. Luego entre el punto *m* y el punto *n*, hay cierto punto *c*, que no es acelerado ni retardado, y que hace su oscilacion exactamente, como si fuese solo y libremente suspendido en el estremo del hilo *fc*; este punto notable es llamado el *centro de oscilacion*. En todo péndulo compuesto se hallan necesariamente uno ó muchos centros de oscilacion, y su distancia *comun* al punto de suspension, es lo que se llama *longitud del péndulo*. Esta longitud es en efecto, igual á la del péndulo simple, que oscilase con la misma velocidad, que el péndulo compuesto. El centro de oscilacion depende de la forma del cuerpo que oscila, cuando este cuerpo es homogéneo; y depende de la forma y de la densidad de sus partes, cuando es heterogéneo. Un péndulo todo de cobre, tendria por ejemplo, su centro de oscilacion en *c* (fig. 65), cuando su varilla fuese muy gruesa, y en *d*, si se redujese á un hilo. Un pequeño peso que se añadiese hácia la estremidad inferior *n*, haria aun descender el centro de oscilacion, y le haria subir, si se añadiese en lo alto. Así se ve en algunos relojes una *corredera* pesada que puede resbalar á lo largo de la varilla del péndulo, á la que se la hace subir ó bajar para adelantar ó retardar el relox; pero lo mas comun es producir este efecto por medio del mismo lente, el que puede ser elevado ó bajado por un pequeño movimiento de un tornillo.

Las oscilaciones de un peso suspendido de un hilo vertical, y las oscilaciones del volante que regulariza el movimiento de los relojes de faltriquera (fig. 66), se efectúan tambien segun las leyes del movimiento compuesto; pero la fuerza que obra, es en el primer caso la elasticidad de la torcedura del hilo, y en el segundo caso la elasticidad del resorte espiral, puesta en accion por los impulsos de la rueda de escape.

Supuesto que no podemos emplear mas que péndulos compuestos, se ve por lo que precede, que para determinar la intensidad de la gravedad por medio de las observaciones del péndulo, se presentan dos grandes dificultades. Primera, la de observar con precision la duracion de una oscilacion: segunda, la de determinar con exactitud la longitud del péndulo que se hace oscilar: porque solo despues de haber hallado estos dos elementos esenciales, es cuando el péndulo compuesto puede ser *reducido* á péndulo simple, y usarse de la fórmula $t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, para sacar de ella el valor *g* de la intensidad de la gravedad.

Borda es el primer físico que nos ha dado un método exacto para medir el pendulo; porque tenia el génio propio para indagaciones de esta naturaleza, porque tenia el génio de la precision. Sus esperimentos fueron hechos en 1790 en el observatorio de Paris, y se puede decir, que antes de esta época no habia un solo lugar en la tierra, en que fuese conocida la fuerza de la gravedad. M. M. Biot, Bouvard y Malthieu han repetido los mismos esperimentos en 1808 por el método de Borda, y con instrumentos análogos. En 1818 M. Arago y M. de Humboldt lo han verificado por medio de otros procedimientos. Todos estos esperimentos confirman la exactitud de los de Borda, y resulta, en fin, que la intensidad de la gravedad es en Paris tal como la habia hallado, á saber, de 9^{m}, 8088: es decir, que un cuerpo que cae en el vacío durante un segundo, adquiere una velocidad tal, que si la gravedad dejase de obrar, correria 9^{m}, 8088 en todos los segundos que siguiesen. Esto se puede espresar tambien, diciendo que un cuerpo que se mueve en el vacío saliendo del reposo, corre en un segundo un espacio que es de 4^{m}, 9044; porque se ha visto que la velocidad que tiene lugar despues de la unidad de tiempo, es doble del espacio corrido en esta unidad.

Se hallará en la tabla que termina este capítulo, el conjunto de observaciones del péndulo que se han hecho en diferentes regiones de la tierra, y será fácil deducir la intensidad de la gravedad en cada lugar, por medio de la fórmula

$$g=\frac{\pi^2 l}{t^2}$$

Conociendo en efecto la longitud *l* del péndulo, que hace una oscilacion en 1" sexágesimal, bastará el suponer $t=1$, poner en lugar de *t* su valor reducido á métros y por π su valor 3, 1415926.

51. *De la figura de la tierra.*—Se sabe que las mas altas montañas no son mas que muy pequeñas eminencias, con relacion al globo de la tierra, tales como serian los granos de arena diseminados sobre un globo de un metro de rádio: parece que las mayores cavidades de los mares, no son mas que pequeñas cavidades análogas á las eminencias de las montañas. Así la superficie de la tierra tomada en su totalidad, es sensiblemente regular, y puede ser considerada como tal en los cálculos. Los mas antiguos astrónomos habian reconocido su curvatura, y como en sus ideas la esfera era la forma mas perfecta, no dudaron que la tierra fuese una esfera muy exacta. Se puede aun presumir, segun algunos documentos históricos, que habian hecho grandes esfuerzos para medir sus dimensiones, y que en fin, habian llegado á una grande aproximacion. Con todo, la tierra no es esférica; sino elevada en el ecuador y aplastada hácia los polos; vamos á indicar de un modo general la causa del aplastamiento, y los medios por los que se ha podido obtener su medida.

Si la tierra fuese sólida en toda su masa ó solo en toda la capa esterior que sirve de cubierta á las partes centrales, podria tener una forma cualquiera, y no ser ni esférica ni esferoidal; solo si habria cierta relacion entre su forma y los periodos de sus movimientos. Al contrario, si la tierra fuese toda fluida, tendria necesariamente la forma de un esferoide, ó de una esfera aplastada en los dos polos; porque la fuerza centrífuga, que resulta del movimiento de rotacion que continuamente ejecuta sobre su eje, repeliendo mas y mas al fluido, le acumularia hácia las regiones del ecuador, en donde le sostendria á un nivel mas elevado. Siendo el globo de la tierra al mismo tiempo compuesto de susbtancias sólidas, que forman los continentes y las montañas, y de la masa fluida que llena el fondo de los mares; se ve que hay dos cuestiones que proponerse sobre la figura de la tierra, á saber: cuál es la forma general de la superficie sólida de los continentes, y cuál es la forma de la superficie de las aguas. En cuanto á ésta, es menester que esté elevada en el ecuador, porque nada se opone al efecto actual de la fuerza centrífuga: las aguas del océano ceden á su accion, no obstante las islas y las sinuosidades de las grandes costas; á poca diferencia como lo harian, si tuviesen su nivel elevado muchos millares de metros, sobre las cumbres de los montes.

En cuanto á la forma general de la superficie sólida de los continentes, resulta igualmente de las observaciones que se han hecho, que es tambien aplastada como la de las aguas, ó con poca diferencia, es decir, que ofrece la misma curvatura que si habiendo sido fluido en otro tiempo el globo entero de la tierra, no se hubiese consolidado, sino despues de haber girado sobre sí mismo, como gira en el dia, y de haber recibido la figura que resulta necesariamente de este movimiento de rotacion. Una prueba palpable del aplastamiento de la superficie continental es, que los montes de las regiones polares no están muy elevados sobre el nivel de las aguas del mar: y no obstante, si la superficie de la tierra fuese esférica y la de las aguas aplastada, se ve que en el ecuador las montañas deberian estar tanto menos elevadas que en el polo, cuanto es el valor del aplastamiento, es decir, de 4 á 5 leguas; cuando por el contrario, los montes del ecuador están aun mas elevados que los de los polos.

Para adquirir una idea de los principios sobre que se apoya la medida directa y geodésica del aplastamiento de la tierra, basta considerar dos puntos distantes, y unidos entre sí por una cadena de triángulos, que permita medir exactamente su distancia. Tomaremos, por ejemplo, Dunkerque y Formentera, que se hallan bajo el meridiano de Paris: las verticales de estos dos puntos hacen entre sí un ángulo de 12° 22' 14". Estas dos líneas concurren en el centro de la tierra exactamente ó con poca diferencia. Si de su punto de interseccion se describe un arco de círculo que pase por Formentera y por Dunkerque, este arco constará de 12° 22' 14". Pero de la cadena de triángulos se deduce, que la distancia de estos dos puntos contados sobre este arco de círculo, ó cerca de él, es en metros 1374438, 72. Por lo que si 12°, 22', 14" dan esta distancia, un solo grado forma una longitud que es muy fácil de hallar: esta longitud es la que se llama un grado de meridiano. Si la tierra fuese esférica, todos los grados serian iguales entre sí y tendrian el mismo número de metros, y al contrario. Por lo que si se halla que los grados son desiguales, se deducirá que la tierra no es esférica.

Se vé (fig. 69) que si es elíptica y aplastada en los polos, las verticales del ecuador que hacen entre sí un ángulo de 1°, van á encontrarse mas pronto que las verticales de los polos que forman el mismo ángulo: así el arco de 1° comprendido entre los primeros, tiene menor longitud, como que pertenece á un círculo de un radio mas pequeño, que el arco de 1° comprendido entre las verticales de los polos; de que se sigue, que *vice versa*, si se hallan los grados del ecuador mas pequeños que los grados de los polos, se podrá concluir con la mayor certidumbre el hecho del aplastamiento.

Ahora bien, se han medido sobre diversos meridianos, y en diferentes latitudes, arcos de muchos grados de estension: en el Perú por Bouguer y la Condamine, en la India por Lambton, en el cabo de Buena Esperanza por Lacaille; en Pensilvania por Masson y Dixon, en Italia por Lemaire y Boscowich; en Francia por Delambre y Mechain; en España sobre las costas del Mediterráneo, por Arago y Biot; en Inglaterra cerca de Greenvich, por Roy, Delambre y Mechain; en Suecia por Melanderhiélm. Del conjunto de estas medidas resultan dos consecuencias: primera, que la tierra no es esférica, porque los grados son desiguales en diferentes latitudes; y en segundo lugar, que la tierra es en efecto aplastada hácia los polos, porque las longitudes de los grados van aumentando á medida que se alejan del ecuador. Combinando estas medidas por diversas consideraciones geométricas, se puede deducir la longitud del rádio de la tierra en diferentes latitudes. Se hallan en este caso los resultados siguientes:

Rádio del ecuador. .	6376984 metros	ó	1434, 8 leguas
Rádio del polo. . .	6356324 „	ó	1430, 1 „
Diferencia	20660 „	ó	4, 7 „

El *aplastamiento* es la diferencia de los rádios del ecuador y de los polos, dividida por el rádio del ecuador; es, pues, segun estas medidas $\frac{1}{308,\,65}$. *El rádio medio* de la tierra es el que corresponde á la latitud de 45°. Se halla ser de $6366745^{m} = 1432,\,4$ leguas. Combinando otras medidas, se halla otro rádio que se diferencia un poco del precedente, el cual es de 6366194. La diferencia es insensible en la mayor parte de las aplicaciones, porque 500 metros no son mas que la décima parte de la altura del Mont-Blanc.

32. Las observaciones del péndulo pueden servir tambien para determinar el aplastamiento de la tierra (1); pero para esto es menester recurrir á una fórmula de mecánica que esprese la relacion que hay entre las intensidades de la gravedad en dos puntos dados del globo, y las distancias comparadas de estos puntos al centro de la tierra. Por medio de esta fórmula se ha podido discutir el conjunto de las observaciones puestas en la tabla que termina este capítulo. Pero sin entrar aquí en el pormenor de esta discusion, me limitaré á indicar las principales consecuencias que resultan de ellas: es á saber: 1.°, que la naturaleza del suelo en que se hacen las observaciones, tiene una influencia sensible sobre las oscilaciones del péndulo: 2.°, que la misma causa tiene una influencia mas ó menos marcada sobre el equilibrio y sobre el nivel de las aguas: 3.°, en fin, que por estas causas la superficie del mar tiene probablemente desigualdades mayores ó menores, eminencias y hundimientos que no la impiden por esto estar aplastada en su direccion general, á poca diferencia como lo indica la teoría, pero que la impiden ser una superficie geométrica, exactamente igual á la de un elipsoide de revolucion. Así cualesquiera que sean las causas que hayan obrado en el orígen del mundo, ó que hayan podido desarrollarse en las catástrofes que se han seguido, sucede, como debiamos ya prever, que en el seno de la tierra todas las materias han sido confundidas, y que mas pesadas ó ligeras, están casi uniformemente repartidas en toda la estension de cada una de

(1) Los esperimentos de los péndulos parecen conducir á creer la aproximada elipticidad de la tierra; pues se halla, que los aumentos de gravedad, están como los cuadrados de los senos de latitud de los lugares, y así tomando las líneas correspondientes en la curva, resultará la ecuacion de la elipse. Para determinar el aplastamiento, sea este a, l la longitud del péndulo en el ecuador, e el exceso de su longitud en los polos y q las $\frac{5}{2}$ del cuociente de la fuerza centrífuga por la gravedad en el ecuador ó 0, 00865 se tiene la relacion $a = q - \frac{e}{l}$. Ademas sea l' la longitud del péndulo en un sitio en que la latitud sea α, se tiene esta otra relacion $l' = E + c.\ sen.^2\,\alpha$. Las cuales fórmulas aplicadas á las observaciones dan $\frac{1}{290}$ para el aplanamiento: pero esto es solo considerando una de las causas, que es la fuerza centrífuga, en la primera fórmula.

las capas. Era preciso que así fuese para la regularidad de los movimientos, y para el órden de las estaciones; porque los fenómenos se sucederian de un modo del todo diferente, si el uno de los hemisferios fuese, por ejemplo, ligero como el corcho, y el otro pesado como el plomo. Con todo, esta homogeneidad general, no impide que se encuentre en el globo de la tierra alguna heterogeneidad local que haya desfigurado su superficie, y producido de distancia en distancia, alguna depresion ó algun entumecimiento.

33 *Desvio del hilo á plomo por la atraccion de los montes.* Atrayéndose todas las porciones de la materia entre sí, no se ve desde luego por qué grandes masas, tales como los montes, no ejercen una accion sensible sobre los cuerpos que les rodean: porque, por ejemplo, cuando se deja caer una piedra de lo alto de una cúspide elevada, esta piedra cayendo no se dirige hácia el centro de la montaña que está muy inmediata, mas bien que al centro de la tierra que está muy lejos. Puédese tambien estrañar que los muros de un edificio no produzcan este efecto, y que en una sala un cuerpo que esté suspendido en lo alto no caiga hácia el techo mas bien que sobre el piso, á poca diferencia como en los antípodas los cuerpos caen subiendo hácia nosotros. Pero atendiendo á que el monte mayor no es mas que un grano de arena cuando se le compara con la tierra no debemos estrañar que los montes ordinarios no puedan atraer hácia ellos los cuerpos que la misma tierra atrae. El efecto que podrian producir, seria á lo mas, desviarles un poco en su caida. Recíprocamente si los montes pueden producir algunos desvios, podremos estar seguros de que la gravedad es, como se ha dicho, una fuerza universal que obra sobre toda la materia, y que no hay torbellino alrededor de la tierra, ni virtud particular hácia su centro, por la que los cuerpos sean impelidos ó simpáticamente precipitados.

Bouguer es el primero que tuvo la idea de buscar en la atraccion de los montes una prueba de la atraccion universal de la materia. Si ellos obran, deben desviar el hilo á plomo. Pero ¿cómo se podrá reconocer si el hilo á plomo está desviado? la misma causa que mudaria su direccion, cambiaria tambien la de la superficie de las aguas tranquilas á la que se refiriese, y desde entonces no podriamos juzgar nada de uno ni otro cambio. Así, pues, es menester recurrir á las estrellas: en el cielo es donde hemos de buscar una direccion fija, para los esperimentos de esta naturaleza. En los flancos del Chimborazo, uno de los mayores montes de la tierra, es en donde Bouguer hizo este esperimento. Encontró obstáculos infinitos con motivo de la aspereza de los lugares y de las terribles tempestades que hubo de sufrir en estas altas regiones. Sin embargo, llenó su objeto, y halló que el hilo á plomo se desviaba 7" ú 8". Estos montes volcánicos, tienen sin duda inmensas cavidades que reducen mucho la energía de su accion.

Despues de Bouguer se han repetido los esperimentos en diferentes lugares: Maskeline en 1772 los ha repetido particularmente con grandes precauciones, en el pié de los montes Shealliamos en Escocia, en donde halló un desvio de 54". De ellos resulta que verdaderamente los montes obran sobre el hilo á plomo y que le desvian en una cantidad sensible, que depende de su volúmen y de la naturaleza de todas las substancias que le componen. Maskeline habia hecho estos esperimentos para deducir de ellos la relacion de la masa de la tierra con la del monte, y en consecuencia la densidad de la misma tierra; halló de este modo que la densidad de la tierra tomada en su conjunto es 4, 56, cerca de cuatro veces y media la densidad del agua. Esta es segun creo la primera nocion que se ha tenido sobre la naturaleza de las substancias que componen las capas centrales del globo. En 1824 M. Carlini hizo en el vértice del monte Cenis observaciones de otra especie, que le condujeron á poca diferencia, al mismo resultado.

34. En fin, debemos á Cavendish otra determinacion de la densidad media de la tierra. Su aparato parece ser el mas exacto que se pueda emplear para esta indagacion. La primera idea de su construccion se debe á Michell, de la sociedad real de Lóndres: Michell no habiendo tenido tiempo de acabar sus esperimentos, y viendo que se aproximaba su fin, legó su aparato al honorable Francis-Jhon-Hyde-Wollaston profesor en Cambridge, y este á su turno hizo donacion de él á Cavendish, que se contaba ya entre los primeros físicos de la Inglaterra. He aquí la idea principal en que se apoya su procedimiento. Si se tuviese una grande bola de metal de 2 ó 3 métros de rádio, es claro que no podria desviar el

hilo á plomo, pues que las montañas no le desvian sino algunos segundos; pero si en lugar de un hilo vertical sobre el que obra la gravedad se le presentase al nivel de su centro una palanca horizontal bien equilibrada y perfectamente móvil, es claro que deberia atraerla y hacerla girar; porque la gravedad quedaria entonces sin efecto para contrariar su accion. La palanca horizontal, seria pues una especie de pèndulo, que oscilaria por la atraccion de la bola, como el pèndulo ordinario oscila por la accion de la tierra. Pero si en lugar de una bola, se pusiesen dos que obrasen cada cual sobre una de las estremidades de la palanca, se ve que el efecto seria doble. Así por este medio tomando dos bolas bastante grandes y palancas muy movibles, se puede sin duda hacer sensible la accion de la materia sobre la materia, y producir en pequeño, alrededor de estas esferas de metal, lo que se produce en grande alrededor del globo de la tierra.

El aparato de Cavendish está representado en las figuras 67 y 68. La figura 68 representa su proyeccion horizontal: u y v, son las dos esferas de metal, èstas eran de plomo y pesaban cada una 157^k, 925: *abcd*, representa la seccion de una caja en la que se habia encerrado la palanca móvil para preservarla completamente de todas las agitaciones del aire; s y s' son dos pequeñas bolas suspendidas en los dos estremos de la palanca móvil, y perfectamente en equilibrio.

La figura 67, es un corte vertical, en el que las mismas letras designan las mismas cosas. Se ve aquí cómo las dos pequeñas bolas están suspendidas de un hilo de plata, que atraviesa los estremos de la palanca: este hilo viene en n á unirse al hilo vertical ff, cuya tenacidad es bastante grande para soportar el fiel y las bolas s s', y cuya torsion es la única fuerza que se opone á las oscilaciones. Las dos masas u v, están tambien suspendidas por varillas de hierro, y pueden girar alrededor de la caja; pasan sucesivamente de las posiciones u y v figuradas en líneas llenas, á las posiciones u' y v' figuradas en líneas puntuadas: se conducen por una maniobra que se ejecuta desde fuera: en fin, todo el aparato está encerrado en un cuarto sin puertas ni ventanas; está iluminado solo por una pequeña abertura por medio de una lámpara g, y situada fuera de la pared á fin de no calentar el aire interior, y con el anteojo ll' se observan los movimientos que se producen.

Estando todo en quietud y hallándose las masas u y v en posicion en que no obran, es decir, en la situacion perpendicular á la palanca móvil, se las hace girar para ponerlas en la posicion de la figura 68; entonces la palanca se pone en movimiento, las pequeñas bolas s y s' son atraidas cada una hácia la bola correspondiente, y empiezan las oscilaciones. Esta es una prueba inconcusa de que la materia atrae á la materia, y que las pequeñas bolas s y s' tienden á caer sobre las grandes esferas de plomo por la misma potencia que las hace caer sobre la tierra, y que si hay alguna diferencia, proviene solo de la diferencia de las masas. Este hecho fundamental una vez probado, no queda mas que observar sino la duracion de las oscilaciones de las pequeñas bolas, la longitud de la palanca en cuyos estremos oscilan, y su distancia al centro de las grandes esferas u y v, que pueden ser consideradas como los centros de atraccion. En seguida, despues de haber corregido los resultados de los efectos de la torsion del hilo de suspension, se llega á conocer el efecto de una esfera de plomo del peso de 157^k 925, para hacer oscilar un pèndulo simple de una longitud conocida, y puesto en una distancia conocida de su centro. Habiéndose adelantado la cuestion hasta este punto, no hay mas que hacer proporciones para obtener la masa de la tierra, comparada á la masa del globo de plomo, porque estas masas están entre sí, como las longitudes de los péndulos simples que oscilan en un segundo, estando colocados á la misma distancia de su centro. En esta proporcion todo es conocido, escepto la masa de la tierra, la que puede por consiguiente ser deducida: se conoce ademas su volúmen por las medidas del arco del meridiano, y dividiendo la masa por el volúmen, se obtiene en fin su densidad media. Por último resultado de estos bellos esperimentos, Cavendish halla que la densidad media de la tierra es 5, 48, es decir á poca diferencia, cinco veces y media la densidad del agua.

Conociendo la densidad de la tierra y su volúmen, es fácil hallar cuántos kilógramos pesa, ó mas bien cuantos kilógramos se hallarian, si se pudiesen tomar sucesivamente en pequeños fragmentos de un metro cúbico por ejemplo, todas las substancias que la componen, para pesarlas en una balanza en Lóndres ó en Paris, y si se las pudiese volver á poner en su lugar despues de

haberlas pesado; porque segun lo que se acaba de ver, sobre la atraccion general de la materia, podemos estar seguros cuando hacemos una pesada, que todas las moléculas del globo contribuyen á hacer inclinar la balanza.

Por las observaciones y por los cálculos astronómicos, se valúan las masas de los planetas y la del sol, por medio de la masa de la tierra; de donde se sigue que con el peso de èsta, podemos encontrar el de todos los planetas.

Así el pequeño aparato de Cavendisch, es una balanza en que se puede pesar el mundo.

CAPITULO V.

De la Hidrostática.

35. El objeto de la hidrostática, es determinar las condiciones de equilibrio de los líquidos, y las presiones que éstos ejercen sobre las paredes de los vasos que los contienen.

Las propiedades de los liquidos dependen de dos fuerzas; de la gravedad que obra en ellos como en los demas cuerpos, y de la atraccion molecular que obra sobre ellos de un modo determinado para constituirles en estado de liquidez. Podemos distinguir por el pensamiento lo que pertenece á cada una de estas fuerzas; porque podemos imaginar una masa de agua, que deja por un momento de ser pesada, sin que por esto deje de ser líquida: una masa tal no podria caer cuando se la abandona, ni correr cuando se la derrama, y es evidente que para mantenerse en reposo, no es preciso que esté sostenida por el suelo, ni contenida dentro de un vaso. En este estado, podria aun recibir y trasmitir presiones, conforme al principio general que vamos á examinar.

36. *Principio de igualdad de presion.* Los líquidos están sujetos al principio de igualdad de presion, es decir, que tienen la propiedad de trasmitir en todos sentidos é igualmente las presiones que se ejercen en su superficie. Este principio es un axioma de física, que si no es necesario demostrar, lo es al menos hacerlo comprender. *abcd* (fig. 70) es un vaso que contiene un liquido que se supone sin gravedad; p es un èmbolo sólido, que cubre exactamente toda su superficie. Si el èmbolo tampoco tiene gravedad, y no está cargado de peso alguno, es claro que el líquido no esperimenta presion y que se podria agujerear el vaso sin que se derramase; pero luego que se pone sobre el èmbolo un peso de 100 kilógramos, por ejemplo, al instante hace esfuerzo para descender, y descenderia en efecto si el líquido no se opusiese. Que el líquido sea compresible ó que absolutamente no lo sea, el resultado es el mismo: es de toda necesidad, ó que se aniquile, ó que sostenga el peso de los kilógramos. La capa superior x que toca al èmbolo y que le sostiene, soporta pues, todo el peso, y comprimida como está, caeria necesariamente, si no estuviese sostenida por la capa y que está debajo de ella, á la que comprime tanto como ella es comprimida por el èmbolo. Del mismo modo la capa y comprime la que sigue z, y así comunicándose la presion de capa en capa hasta el fondo del vaso, este es tambien comprimido, como si el èmbolo estuviese inmediatamente sobre él. Puesto que toda la superficie del fondo soporta esta presion de 100 kilógramos, es claro que la mitad de la superficie no sostiene por su parte mas que 50 kilógramos, y que la centésima parte de ella, no soporta mas que un centésimo de la presion total, es decir, un solo kilógramo. Así:

1.° La presion se trasmite de arriba abajo sobre las supeficies horizontales, sin perder nada de su fuerza:

2.° Esta es igual en todos los puntos;

3.° Es proporcional á la estension de la superficie que se consi dera.

El mismo fenómeno tiene lugar sobre las superficies laterales; porque si en un punto cualquiera se hiciere un agujero, el líquido saldria, y si se cortase una parte de la superficie, seria impelida hácia afuera. En fin, si la porcion que se cortase fuese igual à toda la latitud del èmbolo, serian necesarios cien kilógramos para sostenerla, y si solo tuviese la estension de una centésima parte, no se necesitaria mas que el esfuerzo de un kilógramo. Si el mismo èmbolo fuese agujerado, el líquido saldria de abajo arriba, lo que prueba que su pared està tambien comprimida, como lo están todas las demas. Así los líquidos trasmiten igualmente en todos sentidos, las presiones que se ejercen en su superficie.

Despues de haber comprendido este principio hilo á plomo, pues que las montañas no le desvian sino algunos segundos; pero si en lugar de un hilo vertical sobre el que obra la gravedad se le presentase al nivel de su centro una palanca horizontal bien equilibrada y perfectamente móvil, es claro que deberia atraerla y hacerla girar; porque la gravedad quedaria entonces sin efecto para contrariar su accion. La palanca horizontal, seria pues una especie de péndulo, que oscilaria por la atraccion de la bola, como el péndulo ordinario oscila por la accion de la tierra. Pero si en lugar de una bola, se pusiesen dos que obrasen cada cual sobre una de las estremidades de la palanca, se ve que el efecto seria doble. Así por este medio tomando dos bolas bastante grandes y palancas muy movibles, se puede sin duda hacer sensible la accion de la materia sobre la materia, y producir en pequeño, alrededor de estas esferas de metal, lo que se produce en grande alrededor del globo de la tierra.

El aparato de Cavendish está representado en las figuras 67 y 68. La figura 68 representa su proyeccion horizontal: u y v, son las dos esferas de metal, éstas eran de plomo y pesaban cada una 157^k, 925: *abcd*, representa la seccion de una caja en la que se habia encerrado la palanca móvil para preservarla completamente de todas las agitaciones del aire; s y s' son dos pequeñas bolas suspendidas en los dos estremos de la palanca móvil, y perfectamente en equilibrio.

La figura 67, es un corte vertical, en el que las mismas letras designan las mismas cosas. Se ve aquí cómo las dos pequeñas bolas están suspendidas de un hilo de plata, que atraviesa los estremos de la palanca: este hilo viene en n á unirse al hilo vertical ff, cuya tenacidad es bastante grande para soportar el fiel y las bolas $s\,s'$, y cuya torsion es la única fuerza que se opone á las oscilaciones. Las dos masas u v, están tambien suspendidas por varillas de hierro, y pueden girar alrededor de la caja; pasan sucesivamente de las posiciones u y v figuradas en líneas llenas, á las posiciones u' y v' figuradas en líneas puntuadas: se conducen por una maniobra que se ejecuta desde fuera: en fin, todo el aparato está encerrado en un cuarto sin puertas ni ventanas; está iluminado solo por una pequeña abertura por medio de una lámpara g, y situada fuera de la pared á fin de no calentar el aire interior, y con el anteojo ll' se observan los movimientos que se producen.

Estando todo en quietud y hallándose las masas u y v en posicion en que no obran, es decir, en la situacion perpendicular á la palanca móvil, se las hace girar para ponerlas en la posicion de la figura 68; entonces la palanca se pone en movimiento, las pequeñas bolas s y s' son atraidas cada una hácia la bola correspondiente, y empiezan las oscilaciones. Esta es una prueba inconcusa de que la materia atrae á la materia, y que las pequeñas bolas s y s' tienden á caer sobre las grandes esferas de plomo por la misma potencia que las hace caer sobre la tierra, y que si hay alguna diferencia, proviene solo de la diferencia de las masas. Este hecho fundamental una vez probado, no queda mas que observar sino la duracion de las oscilaciones de las pequeñas bolas, la longitud de la palanca en cuyos estremos oscilan, y su distancia al centro de las grandes esferas u y v, que pueden ser consideradas como los centros de atraccion. En seguida, despues de haber corregido los resultados de los efectos de la torsion del hilo de suspension, se llega á conocer el efecto de una esfera de plomo del peso de 157^k 925, para hacer oscilar un péndulo simple de una longitud conocida, y puesto en una distancia conocida de su centro. Habiéndose adelantado la cuestion hasta este punto, no hay mas que hacer proporciones para obtener la masa de la tierra, comparada á la masa del globo de plomo, porque estas masas están entre sí, como las longitudes de los péndulos simples que oscilan en un segundo, estando colocados á la misma distancia de su centro. En esta proporcion todo es conocido, escepto la masa de la tierra, la que puede por consiguiente ser deducida: se conoce ademas su volúmen por las medidas del arco del meridiano, y dividiendo la masa por el volúmen, se obtiene en fin su densidad media. Por último resultado de estos bellos esperimentos, Cavendish halla que la densidad media de la tierra es 5, 48, es decir á poca diferencia, cinco veces y media la densidad del agua.

Conociendo la densidad de la tierra y su volúmen, es fácil hallar cuántos kilógramos pesa, ó mas bien cuantos kilógramos se hallarian, si se pudiesen tomar sucesivamente en pequeños fragmentos de un metro cúbico por ejemplo, todas las substancias que la componen, para pesarlas en una balanza en Lóndres ó en Paris, y si se las pudiese volver á poner en su lugar despues de

haberlas pesado; porque segun lo que se acaba de ver, sobre la atraccion general de la materia, podemos estar seguros cuando hacemos una pesada, que todas las moléculas del globo contribuyen á hacer inclinar la balanza.

Por las observaciones y por los cálculos astronómicos, se valúan las masas de los planetas y la del sol, por medio de la masa de la tierra; de donde se sigue que con el peso de ésta, podemos encontrar el de todos los planetas.

Así el pequeño aparato de Cavendisch, es una balanza en que se puede pesar el mundo.

CAPITULO V.

De la Hidrostática.

55. El objeto de la hidrostática, es determinar las condiciones de equilibrio de los líquidos, y las presiones que éstos ejercen sobre las paredes de los vasos que los contienen.

Las propiedades de los líquidos dependen de dos fuerzas; de la gravedad que obra en ellos como en los demas cuerpos, y de la atraccion molecular que obra sobre ellos de un modo determinado para constituirles en estado de liquidez. Podemos distinguir por el pensamiento lo que pertenece á cada una de estas fuerzas; porque podemos imaginar una masa de agua, que deja por un momento de ser pesada, sin que por esto deje de ser líquida: una masa tal no podria caer cuando se la abandona, ni correr cuando se la derrama, y es evidente que para mantenerse en reposo, no es preciso que esté sostenida por el suelo, ni contenida dentro de un vaso. En este estado, podria aun recibir y trasmitir presiones, conforme al principio general que vamos á examinar.

56. *Principio de igualdad de presion.* Los líquidos están sujetos al principio de igualdad de presion, es decir, que tienen la propiedad de trasmitir en todos sentidos é igualmente las presiones que se ejercen en su superficie. Este principio es un axioma de física, que si no es necesario demostrar, lo es al menos hacerlo comprender. *abcd* (fig. 70) es un vaso que contiene un líquido que se supone sin gravedad; p es un émbolo sólido, que cubre exactamente toda su superficie. Si el émbolo tampoco tiene gravedad, y no está cargado de peso alguno, es claro que el líquido no esperimenta presion y que se podria agujerear el vaso sin que se derramase; pero luego que se pone sobre el émbolo un peso de 100 kilógramos, por ejemplo, al instante hace esfuerzo para descender, y descenderia en efecto si el líquido no se opusiese. Que el líquido sea compresible ó que absolutamente no lo sea, el resultado es el mismo: es de toda necesidad, ó que se aniquile, ó que sostenga el peso de los kilógramos. La capa superior x que toca al émbolo y que le sostiene, soporta pues, todo el peso, y comprimida como está, caeria necesariamente, si no estuviese sostenida por la capa y que está debajo de ella, á la que comprime tanto como ella es comprimida por el émbolo. Del mismo modo la capa y comprime la que sigue z, y así comunicándose la presion de capa en capa hasta el fondo del vaso, este es tambien comprimido, como si el émbolo estuviese inmediatamente sobre él. Puesto que toda la superficie del fondo soporta esta presion de 100 kilógramos, es claro que la mitad de la superficie no sostiene por su parte mas que 50 kilógramos, y que la centésima parte de ella, no soporta mas que un centésimo de la presion total, es decir, un solo kilógramo. Así:

1.° La presion se trasmite de arriba abajo sobre las supeficies horizontales, sin perder nada de su fuerza:

2.° Esta es igual en todos los puntos;

3.° Es proporcional á la estension de la superficie que se considera.

El mismo fenómeno tiene lugar sobre las superficies laterales; porque si en un punto cualquiera se hiciere un agujero, el líquido saldria, y si se cortase una parte de la superficie, seria impelida hácia afuera. En fin, si la porcion que se cortase fuese igual á toda la latitud del émbolo, serian necesarios cien kilógramos para sostenerla, y si solo tuviese la estension de una centésima parte, no se necesitaria mas que el esfuerzo de un kilógramo. Si el mismo émbolo fuese agujerado, el líquido saldria de abajo arriba, lo que prueba que su pared está tambien comprimida, como lo están todas las demas. Así los líquidos trasmiten igualmente en todos sentidos, las presiones que se ejercen en su superficie.

Despues de haber compreudido este principio respecto de los líquidos sin gravedad, es fácil ver que se aplica sin restriccion á los líquidos pesados; pero que en este caso hay presiones que se ejercen sobre cada molécula, las que resultan de la gravedad que les es propia.

37. *Del equilibrio de los líquidos pesados.* Hay dos condiciones para el equilibrio de los líquidos: es menester primero, que las moléculas superiores y libres, formen una superficie perpendicular á la fuerza que las solicita; y en segundo lugar, que una molécula cualquiera de la masa, esperimente en todos sentidos presiones iguales y contrarias.

Primera condicion de equilibrio. Supongamos que la superficie no sea perpendicular á la fuerza que solicita las moléculas líquidas, que sea por ejemplo, segun la direccion *abcde*, mientras que la fuerza está dirigida segun las verticales *v v* (fig. 71), en este caso una pequeña capa horizontal como *bd*, seria comprimida por todo el peso de las moléculas que están encima de ella; esta presion, como se acaba de ver, se trasmitiria lateralmente, y la molécula *b* impelida por esta presion lateral, seria arrojada hácia afuera, porque nada hay que la detenga; ésta saldria, pues; vendria otra que tomaria su lugar, la que seria impelida á su vez, y asi sucesivamente hasta que la curvatura *bcd* se desvaneciese, y pasase á ser del todo horizontal. Sucederia lo mismo con toda porcion de líquido que estuviese encima de otro punto cualquiera de la superficie, y el equilibrio no puede tener lugar, sino cuando las moléculas libres ya no pueden caer, es decir, cuando todas ellas están arregladas en una misma superficie perpendicular á la fuerza.

Aplicando este principio á la superficie del mar, suponiéndole en perfecta calma, nos será fácil formar una idea de su curvatura, y de las causas que la determinan. Si todas las direcciones de la gravedad concurriesen exactamente en el centro de la tierra, y si esta fuerza fuese la única que solicitase las moléculas líquidas, seria necesario que en todos los fondos de los mares, la superficie libre de las aguas tomase la forma esférica; porque solo esta superficie es perpendicular á todos los rádios que concurren en un punto. Seria ademas necesario, que todas las playas estuviesen en la misma distancia del centro de la tierra; porque sin esta condicion, no se hallarian en el mismo nivel y el agua de las mas elevadas caeria sobre las mas bajas.

Por esta condicion necesaria del equilibrio de las masas fluidas, se esplica lo que se ha anunciando en el capítulo primero, sobre la direccion de la gravedad: es menester que esta fuerza sea perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas, pues que ella misma es la que obliga las aguas á arreglarse segun esta direccion.

Cuando las moléculas líquidas están solicitadas por alguna otra fuerza que no sea la gravedad terrestre, se concibe que para el equilibrio no deben formar una superficie perpendicular solo á la gravedad; sino una perpendicular á la superficie resultante de la gravedad, y de todas las demas fuerzas que obran con ella. Así combinándose sin cesar la fuerza centrífuga, que resulta del movimiento de rotacion de la tierra, con la gravedad, para solicitar todos los cuerpos, es menester que la superficie de las aguas, se arregle de modo que sea perpendicular á la resultante de estas dos fuerzas, y hé aquí el motivo por qué la superficie del mar, está aplastada hácia los polos. Al pié de las grandes montañas, cuya masa es capaz de desviar el hilo á plomo, la superficie de las aguas es tambien desviada de su forma regular; se eleva é inclina sobre la verdadera vertical, para ponerse perpendicular á la resultante de las acciones de la tierra y del monte. Del mismo modo, cuando la luna y el sol pasan por encima ó por debajo del horizonte del mar, la fuerza atractiva que sus masas ejercen sobre las aguas, se combina con la gravedad para producir una resultante que no es vertical, y asi es que la superficie móvil del océano, buscando un equilibrio que no puede hallar por causa del movimiento de rotacion de estos astros, se eleva y se deprime alternativamente, y hace, en fin, las oscilaciones periódicas del flujo y reflujo.

Preséntanse en la naturaleza otros muchos fenómenos que parecen no tener relacion alguna con las mareas, y que dependen no obstante, de un principio análogo. Se sabe, por ejemplo, que en un vaso ordinario la superficie del agua no es plana en toda su estension, sino que se eleva cerca de los bordes como lo manifiesta la *figura* 72, al contrario la superficie del mercurio se deprime en el contacto de las paredes y parece temer el tocarlas (fig. 73), esto es porque en estos casos no es la gravedad la única fuerza que obra sobre los líquidos: con ella hay otras dos fuerzas; la fuerza atractiva, que sus moléculas ejercen unas sobre otras, y la fuerza atractiva que ejercen sobre la materia del vaso. A la resultante de estas tres fuerzas, es á la que la superficie del líquido debe ser perpendicular, y particularmente á la relacion de energia que existe entre las dos últimas debe la inflexion que esperimenta arriba y abajo de la línea de nivel. Veremos resultar de este principio toda la série de fenómenos que son conocidos bajo el nombre de *fenómenos capilares*, de los que hemos de tratar en uno de los libros que siguen.

Segunda condicion de equilibrio. La segunda condicion de equilibrio es por sí misma evidente; porque las moléculas que se hallan en lo interior de la masa líquida reciben las presiones de todas las moléculas que están colocadas encima de ellas, y en virtud del principio de igualdad de presion, tienden á trasmitir estas presiones en todos sentidos: pero si, en dos direcciones opuestas y contrarias, no fuesen iguales las presiones que esperimenta una molécula, esta seria arrastrada por la presion mas fuerte, y por consiguiente la masa líquida no estaria en equilibrio.

38. *Presiones.*—Cuando las masas líquidas se hallan en equilibrio, ejercen sobre sí mismas y sobre todos los cuerpos sólidos con quienes están en contacto, presiones mas ó menos considerables, cuyo valor se va á determinar, examinando sucesivamente las presiones de arriba abajo y de abajo arriba, que se ejercen sobre las superficies horizontales; despues las presiones ejercidas sobre las superficies oblicuas:

1.° La presion de arriba abajo que un líquido ejerce sobre el fondo de un vaso que le contiene, es del todo independiente de la forma del vaso, y es siempre igual al peso de una columna del mismo líquido, que tenga por base el fondo del vaso, y por altura, la altura del nivel.

La primera parte de esta proposicion, se demuestra fácilmente por medio del aparato de M. de Haldat (fig. 78); este aparato se compone de un tubo curvo *a*, *b*, *c* fijado en una caja *y*, y ajustado para recibir en *a* vasos de diferentes formas, tales como *d*, *e* (fig. 79, 80, y 81). Se empieza poniendo mercurio en el tubo *a*, *b*, *c* y por medio de una corredera, se nota sobre el brazo *c*, la altura *z* á que se detiene; entonces se atornilla sobre el estremo *a* el vaso cilíndrico *d*, se vierte agua en él hasta cierta altura *h*, y se observa la altura *z'* á la que el mercurio se ha elevado en el brazo *c*. La elevacion *zz'* de la columna de mercurio resulta evidentemente de la presion que el agua contenida en el vaso *d*, ejerce sobre la columna de mercurio que forma el verdadero fondo del vaso. Hecha esta observacion, se vacia el vaso *d* por medio de la llave *r*, y se quita para sustituirle sucesivamente el vaso ancho *e* ó el estrecho *f*. Luego que se ha puesto en estos una columna de agua tan alta como en el vaso, *d*, se observa que el mercurio del brazo *c* se eleva exactamente á la misma altura *z'*. Luego la presion que estos tres vasos de diferentes formas reciben sobre su fondo, es exactamente la misma, cuando la altura del líquido es la misma, y por consiguiente, como se ha enunciado, la presion es independiente de la forma del vaso; sobre el mismo fondo, el mismo líquido y la misma altura, la presion es siempre la misma, sea que el vaso tenga la figura cilíndrica (fig. 74), que contenga mucho líquido (fig. 75), que contenga muy poco (fig. 76), sea el vaso recto ú oblicuo (fig. 77).

Para demostrar ahora la segunda parte de la proposicion, basta notar que en el vaso cilíndrico (fig. 74) el fondo *ab* sostiene exactamente todo el peso del líquido; porque siendo horizontales las presiones que se ejercen sobre las paredes laterales, en nada pueden contribuir á sostener el peso del líquido, aumentarle ó disminuirle. Ahora bien, recibiendo sobre su fondo los vasos oblicuos, anchos ó estrechos la misma presion que el vaso cilíndrico, resulta que en éstos la presion no es ya igual al peso del líquido que contienen, sino que es igual al peso de una columna líquida que tenga por base el fondo del vaso, y por altura la altura del nivel, como si el vaso fuese cilíndrico.

Siendo todas las porciones del fondo igualmente comprimidas, es evidente que si en lugar de considerar el fondo en su totalidad, no se considerase mas que una parte, como la mitad, el tercio, el cuarto, la presion sostenida por esta parte seria la mitad, el tercio, ó el cuarto de la presion total. Si se representa en general por *s* la porcion del fondo, que se considera, por *h* la altura del nivel, y por *d* la densidad del líquido, la presion sobre la superficie *s*, será espresada por *sdh*; porque *sh* es el volúmen de la columna líquida; y para obtener el peso es menester multiplicar el volúmen por la densidad.

Así, un litro de agua que pesa un kilógramo, puede ejercer sobre el fondo de un vaso una presion muy pequeña, ó una infinitamente grande. Para que la presion sea de un kilógramo, por ejemplo, basta tomar un vaso cilíndrico de una base cualquiera: la presion total será siempre igual al peso del líquido y por consiguiente siempre será de un kilógramo; solo sí, la presion sobre cada centímetro cuadrado del fondo, será mayor ó menor segun la base.

Para que la presion sea de $\frac{1}{10}$ de kilógramo, basta tomar un vaso cuya base sea por ejemplo, un decímetro cuadrado, y que sea tan divergente, que un litro de agua no tome en él mas que $\frac{1}{10}$ de decímetro, ó un centímetro de altura.

Para que la presion sea de 10 kilógramos, basta tomar un vaso cuya base sea, por ejemplo, un decímetro cuadrado, pero de tal modo convergente, que el litro de agua tome una altura de diez decímetros, ó de un metro.

Con el mismo peso de un kilógramo seria tambien muy fácil ejercer una presion de $\frac{1}{100}$ $\frac{1}{1000}$ etc. de kilógramo, ó una presion de 10, 100, etc. kilógramos.

Las presiones verticales de los líquidos no solo se ejercen sobre los fondos de los vasos, sino que tambien comprimen todos los puntos del interior de la masa, y se comunican por todas partes en virtud del principio de igualdad de presion: concibamos en efecto, en lo interior de la masa líquida, una capa *mp* (fig. 82) que sea paralela á la superficie del nivel *nv*: todas las moléculas que componen esta capa son evidentemente comprimidas por todo lo que está encima de ellas, se hallan como si sostuviesen un émbolo de un peso igual al peso del cilindro líquido *n v m p*, pero esta presion que esperimenta de arriba abajo, se trasmite de abajo arriba por el principio de igualdad de presion, y cada una de sus moléculas se halla en equilibrio por la simultaneidad de estas presiones contrarias. Así, no considerando mas que una porcion *a b* de esta capa, es menester comprender que la superficie *ab* es á la vez comprimida de arriba abajo por la columna líquida *dabc*, y de abajo arriba por una fuerza exactamente igual, de tal modo que si un cilindro sólido estuviese sumergido en el agua, y su base viniese á apoyarse sobre la superficie *ab* esta presion de abajo arriba obraria contra el cilindro y tenderia á impelerle hácia afuera.

Esta consecuencia se verifica por medio del esperimento que sigue: *v* (fig. 83 y 84) es un tubo de vidrio de algun espesor que está bien recortado en su estremo inferior; *t* es un disco de vidrio deslustrado; está atado á un hilo que pasa por el tubo, de modo, que tirando el hilo, el obturador cierra el tubo; se cierra así y se sumerge en el agua. Entonces ya no es necesario tirar del hilo para impedir que el obturador caiga; porque es repelido hácia arriba por toda la presion, que de abajo arriba se ejerce en su superficie; y esta presion es igual á la de arriba abajo, que soportaria si estuviese él solo sumergido en el agua á la misma profundidad. Para dar la prueba de esto, se vierte agua en el tubo; luego que el nivel interior se aproxima al nivel esterior *n*, el obturador es impelido de arriba abajo, tanto como era repelido de abajo arriba, y se ve que en efecto, cae por su propio peso.

Así, si en el fondo de un barco se hiciese una abertura, el agua entraria al instante, y para impedir su entrada, seria necesario hacer una presion igual al peso de una columna de agua que tuviese por base la abertura, y por altura la profundidad del barco debajo del nivel. Por este motivo en los grandes bajeles, la quilla debe tener una grande fuerza para resistir á las presiones de abajo arriba que se ejercen contra el fondo del navío. Si este fondo fuese horizontal y tuviese, por ejemplo, 100 metros cuadrados de superficie, la presion seria de 100.000 kilógramos si el *calado* fuese de un metro, y 500.000 kilógramos, cuando fuese de 5 metros.

Con esto podemos juzgar acerca de las enormes presiones que se ejercen en los lagos y en los mares, y de las que son soportadas por todos los elementos químicos que se hallan en ellos, y por todos los cuerpos vivientes que pueblan sus profundidades.

2.° La presion que sostiene una pared lateral, es igual al peso de una columna líquida que tuviese por altura vertical, la del centro de gravedad de la pared debajo del nivel, y por base horizontal una superficie igual á la misma pared.

Las presiones laterales se deducen de las presiones horizontales correspondientes, por medio del principio de igualdad de presion. Formando el punto *m* (fig. 82), parte de la capa horizontal

p m, esta capa le trasmite en todos sentidos, la presion que ella misma sostiene, y por consiguiente el punto *m* la recibe en la direccion perpendicular á la pared de que hace parte. Así cada estension de una pared lateral, esperimenta la misma presion que una estension igual de la capa horizontal que la corresponde, es decir, que *s h d* representa tambien las presiones laterales: solo sí, la superficie *s* debe siempre ser de muy poca altura para que la presion sea sensiblemente la misma en toda su estension. En un cubo de agua de 10 metros de altura, la presion sobre un centímetro cuadrado de la pared lateral, es, pues, de 100 gramos á un metro de profundidad, de 200 gramos á 2 metros y de 1 kilógramo á 10 metros, es decir en el fondo.

Para obtener la suma de las presiones laterales sostenidas por una pared plana, que sea triangular, poligonal, ó de cualquiera figura, se vé que basta hallar la resultante de un sistema de fuerzas todas paralelas; pero que aumentan en proporcion á la profundidad, y tambien proporcionalmente á la estension horizontal de la porcion de pared que se considera. Por esta composicion de fuerzas se llega, para las presiones laterales, al teorema general que se acaba de enunciar.

59. *Presiones evaluadas numéricamente.* —La presion ejercida sobre una superficie, es siempre un peso, como acabamos de ver; sin embargo, acontece frecuentemente que se indiquen las presiones por las alturas de columnas líquidas, lo que se puede hacer sin inconveniente cuando se trata solo de comparar entre sí dos presiones diferentes: sobre el fondo de un estanque en que hay 10 metros de agua, la presion es 10 veces mayor, que en el fondo de otro que solo contiene un metro de este líquido. No es menester cálculo alguno para hacer esta comparacion. No sucede lo mismo cuando dada la presion en columna líquida, es necesario transformarla en peso, para espresarla de una manera absoluta; se presentan entonces unidades diversas, unas de peso, otras de longitud, cuyo discernimiento es muy importante: pongamos un ejemplo: ¿cuál es la presion que soporta una superficie, sobre la que gravita una columna de agua de 2^{m}, 80 de altura? Es preciso recordar de antemano, que una presion debe siempre referirse á la unidad de superficie; por consiguiente la cuestion está incompleta; se necesita añadir, que la presion pedida es la que se ejerce por centímetro, decímetro ó metro cuadrado. Entonces la solucion es posible, y en cualquier caso, la presion buscada es igual al peso de la columna líquida que tiene por base la unidad de superficie, y por altura la misma de la columna. Este peso se determina tomando su volúmen y multiplicándolo por el peso de la unidad de volúmen, se tendrá pues,

1.° Para el centímetro. $1 \times 280 \times 0,^{k}001 = 0,^{k}280$,
2.° Para el decímetro... $1 \times 28 \times 1^{k} = 28,^{k}$
3.° Para el metro. . . . . $1 \times 2,8 \times 1000^{k} = 2800,^{k}$

escogiendo siempre para espresar la altura, la misma unidad que para la base, esto es, el centímetro en el primer caso, el decímetro en el segundo y el metro en el tercero.

Se habria podido tomar por unidad de peso, el gramo en el primer caso, y el tonel en el tercero; pero siempre es mejor adoptar una sola unidad.

Por el contrario: una superficie soporta una presion de 7^{k}, 6 por centímetro cuadrado: esta presion se ejerce por una columna de agua; ¿cuál es su altura? Sea x esta altura, que se espresará en centímetros, puesto que esta es la unidad de la base, y se tendrá

$$1 \times x \times 0^{k}, 001 = 7^{k}, 6, \text{ de donde } x = 7600.^{\text{cent.}}$$

ó 76 metros. Aquí es forzoso espresar en kilógramos el peso del centímetro cúbico, ó de la unidad de volúmen, ó bien transformar el peso dado 7^{k}, 6.

Segundo ejemplo. Una superficie soporta una columna de mercurio de $0,^{m}58$, ¿cuál es la presion correspondiente por centímetro cuadrado, siendo la densidad del mercurio con relacion á la del agua 13, 598?

La unidad de superficie para la base, es el centímetro, el que se tomará tambien para la altura, que será 58; la unidad de volúmen es entonces el centímetro cúbico, que para la agua pesa 0^{k}, 001, y para el mercurio $0^{k}\,001 \times 13,598$; así para un centímetro cuadrado, la presion pedida es

$$1 \times 58 \times 0^{k}, 001 \times 13,598 = 0^{k}, 789.$$

Por órden inverso, sobre una superficie de 25^{c} cuadrados hay una presion de 50^{k}, que se ejerce por una columna de mercurio, ¿cuál es la altura de esta columna? Sea x esta altura que se espresará en centímetros como la base, y se tendrá

$$25 \times x \times 0,001 \times 13,598 = 50 \ldots x = 147.^{c}$$

Tercer ejemplo. Se tiene una superficie s que soporta una columna líquida de la altura h, y de la densidad d, el peso de la unidad de volúmen de agua es π, y la presion total es p, soportada por la superficie s; se tiene entonces

$$p = s \times h \times \pi \times d.$$

π siempre se conoce; luego bastará conocer tres de las otras cuatro cantidades p, s, h, d, para hallar la cuarta. Solo es necesario tener cuidado en tomar la misma unidad de longitud para espresar s y h, suponiendo que se dan estas dos cantidades; en cuanto al valor de π, se deduce de la unidad de longitud, que se haya elegido; adoptando el kilógramo por unidad de peso, se tiene $\pi = 0^k,001$, $0'\ \pi = 1^k$, ó $\pi = 1000^k$, segun sea la unidad de longitud un centímetro, un decímetro, ó un metro. La densidad d es siempre un número abstracto.

La presion soportada por la unidad de superficie es la presion total p dividida por la superficie s, ó $\frac{p}{s} = h.\pi.\ d.$ Tal es la fórmula general de que es menester servirse para estas transformaciones, cuando la presion dada ó pedida se encuentra con relacion á la unidad de superficie.

60. *Centro de presion.*—El punto de aplicacion de la resultante de todas las presiones elementales, es lo que se llama *centro de presion*. Este se halla siempre colocado mas bajo que el centro de gravedad, pues que coincidiria con él, si las fuerzas no fuesen creciendo á medida que se desciende (1). En una pared que tenga la forma de un paralelógramo, el centro de presion está sobre la línea que divide en dos partes iguales los lados horizontales, y á $\frac{1}{3}$ de su altura, partiendo del fondo. En una pared triangular cuya base está en el fondo, se halla en el cuarto de una línea análoga, y al contrario cuando la base está á flor de agua, se halla en la mitad.

61. *Vasos que comunican entre sí.*—Cuando muchos vasos comunican entre sí, cualquiera que sea su número y su forma, los líquidos que contienen están sujetos para el equilibrio á las dos condiciones que se han establecido ya anteriormente. Así cuando es el mismo líquido el que llena todos los vasos, es menester por primera condicion que todas las superficies estén á *nivel*, y por la segunda que estén al *mismo nivel*; porque sin esto las capas de nivel de lo interior de la masa, ya no serian igualmente comprimidas en toda su estension. En efecto, en el vaso (fig. 85 y 86) si el nivel del brazo mayor estuviese, por

———

(1) Aunque podria omitir la siguiente nota por pedir principios mas elevados de matemáticas: la pondré sin embargo, para quien desee un conocimiento mas profundo.

Cuestion. Hallar generalmente el centro de presion y la presion total ejercida sobre una superficie vertical. —Consideremos una superficie vertical ABM (fig. 10n) en el plano de las $x\,y$. La presion en cada punto, y por consiguiente la resultante de las presiones, es normal á seta superficie: el punto de aplicacion de la resultante se llama centro de presion.

Sean AB, CD, dos horizontales muy cercanas trazadas en la superficie ABM, la una que tiene por abcisa x, y la otra $x + \Delta x$; si u es la longitud AB, será $u \Delta n$ sensiblemente $ABCD$, cuya presion hidrostàtica sensiblemente constante está en la capa de nivel infinitamente delgada $ABCD$, y cuyo centro de presion, por ser ella homogénea, estará en el medio; sean M, N, los puntos superiores é inferiores de la curva, será $y = f(x)$, $Y = F(x)$ designando las ecuaciones de las curvas NAM, NBM, las coordenadas del medio de AB serán x, $\frac{f(x) + F(x)}{2}$ ó $\frac{Y + y}{2}$, las que por consiguiente serán coordenadas del centro de presion de la area $ABCD$.

La presion total sobre la area $ABCD$ será sensiblemente $p\,u\,\Delta x$; siendo p el peso de la columna soportada por la unidad de superficie. Será la presion total sobre la area $ANBM$

$$P = \Sigma p u \Delta x = \int_{x_0}^{x_1} p u d x, \quad ó \quad P = \int_{x_0}^{x_1} p(Y - y) d x$$

Sean $\xi\,\eta$ las coordenadas del centro de presion, que se determinan como las del centro de las fuerzas paralelas; segun lo cual

$$P\xi = \Sigma p u x \Delta x = \int_{x_0}^{x_1} p u x d x, \text{ ó } P\xi = \int_{x_0}^{x_1} p(Y - y) d x;$$

de la misma manera

$$P\eta = \frac{1}{2}\int_{x_0}^{x'} (Y + y)\, p u d x = \frac{1}{2}\int_{x_0}^{x'} (Y^2 - y^2) p d x;$$

por medio del valor P, se tendrá

$$\xi = \frac{\int_{x_0}^{x'} p(Y - y) x d x}{\int_{x_0}^{x'} p(Y - y) d x}, \quad \eta = \frac{1}{2}\,\frac{\int_{x_0}^{x'} p(Y^2 - y^2) d x}{\int_{x_0}^{x'} p(Y - y) d x}$$

Se tiene, pues, las coordenadas del centro de presion, y la presion total ejercida sobre una superficie vertical.

Del mismo modo se encuentra el centro de presion y la presion total en una superficie inclinada, en un triángulo cualquiera, en un círculo inclinado, en el paralelógramo, y en cualquier caso particular. Quien desee verlo, ocurra á la Mecánica de Gaubert.

ejemplo, en $a\,b$ en lugar de estar en n sobre la misma línea horizontal nv, la capa de nivel mp, no seria igualmente comprimida en m y en p, y no tendria lugar el equilibrio; porque una capa de nivel cualquiera debe siempre ser igualmente comprimida en toda su estension.

Cuando los líquidos son diferentes, es necesario que las superficies tengan niveles diferentes.

En el vaso representado (fig. 87), hay agua en el brazo mayor, y mercurio en el menor; los líquidos se tocan en g, y se tira la horizontal gf; si las secciones g y f no tuviesen nada encima de sí, existiria el equilibrio; asi para el equilibrio, es menester que sobre cada punto de su estension estén igualmente comprimidas, la una por el agua y la otra por el mercurio. Ahora bien, la unidad de superficie de la seccion g, soporta una presion $1.\ h.\ \pi.\ d$; designando por h la altura del agua que se halla sobre g; por π el peso de la unidad de volúmen del líquido, con respecto al que se toman las densidades; y por d la densidad del agua; de la misma manera la unidad de superficie de la seccion f del brazo menor, soporta una presion $1.h'\pi\ d'$; designando por h' la altura del líquido que se halla sobre f. y por d' su densidad, luego se tendrá

$$1.\ h.\pi.\ d = 1.h'.\pi.d', \text{ ó } h d = h' d',$$

es decir, que las alturas verticales h y h' de los líquidos que se hallan sobre la línea de union gf, están en razon inversa de las densidades de estos líquidos. Así, un centímetro de mercurio sobre f se equilibraria con una columna de agua de $13,^c598$ sobre g. La union de las dos superficies puede bien no hacerse en una línea horizontal, como por ejemplo, si se echase bastante agua en el vaso para repeler la columna de mercurio hasta $s\,i$; pero en este caso se concibe que si las presiones laterales son iguales por cada lado, sobre las moléculas que están en el centro y en el eje del tubo, no lo pueden ser para las moléculas que estén encima ó debajo. En el borde superior, en s, la presion del agua es mayor, y al contrario en el borde inferior, en i, que es la presion del mercurio: la superficie de union tiende á tomar la figura $s'\,i'$, y el agua al fin pasa al brazo menor, y el mercurio al grande, hasta que se establezca otro equilibrio.

En los tubos que tienen menos de tres milímetros de abertura, este efecto no se produce, las columnas son demasiado estrechas para *dividirse*, la cohesion de las moléculas de cada líquido basta para resistir á la desigualdad de presion, que hay entre el borde superior y el inferior.

62. *Del nivel de los mares.*—Los principios de hidrostática no solo tienen aplicacion en los tubos y en los vasos estrechos, en los que podamos esperimentar; sino que se aplican del mismo modo á todos los líquidos que están difundidos por la naturaleza.

Por la ley que precede, todas las aguas de la tierra están niveladas sobre los profundos senos de los mares, y su vasta superficie conserva alrededor de todo el globo una forma permanente: si se eleva por las tempestades, vuelve por las leyes del equilibrio, á los límites que le están señalados.

Si la tierra estuviese inmóvil y formada de capas homogéneas, la superficie de los mares seria rigurosamente esférica, los navegantes que pasan bajo la línea, los que recorren playas no conocidas en uno ú otro hemisferio, y los que visitan las costas de Groenlandia, ó los mares aun mas inmediatos al polo, todos se hallarian al mismo tiempo, en la misma distancia del centro de la tierra; seria así segun las leyes de hidrostática, y la estructura de las partes sólidas, del globo, que no presenta en la superficie, mas que eminencias insensibles. Las grandes desigualdades de las partes sólidas turbarian la esferoicidad de las superficies líquidas; si la cadena de las cordilleras fuese solo cien veces mas alta, las aguas subirian en las costas de América, en su parte oriental, como en la occidental, bajarian en las costas opuestas, y los puertos de Francia estarian en seco, como tambien los del Japon.

Si la tierra fuese inmóvil y compuesta en su esterior de partes heterogéneas, y de densidad muy diferente; si por ejemplo, debajo del oceano entre la costra que le sirve de fondo y el centro de la tierra, se hallasen inmensas cavernas que estuviesen vacias ó llenas de substancias de poca densidad, es claro que la intensidad de la gravedad seria mucho menor sobre las aguas del Océano, que sobre las de los otros mares y que entonces la superficie general de las aguas, en lugar de ser esférica por todas partes, deberia hallarse elevada en algunos puntos, y en otras deprimida. Así una heterogeneidad de substancias podria por sí sola producir irregularidades en la figura, y si á esta causa se añade la influencia de la fuerza centrífuga, se ve que la cuestion es aun mas complicada. En la ignorancia en que nos hallamos sobre la composicion interior del globo, del que, con todo nuestro poder, no podemos examinar mas que una superficie de una profundidad insensible, nos es del todo imposible determinar al presente, cuál debe ser en estado de reposo, la verdadera curvatura de la superficie de las aguas. Por este motivo se ha ensayado el determinarla por nivelaciones directas, y he aquí los resultados que se han obtenido.

El nivel del mar Rojo se eleva sobre el nivel del Mediterráneo 9m, 9 en alta mar y 8m, 12 en baja mar. Esta diferencia ha sido determinada durante la espedicion de Egipto, por una comision de ingenieros bajo la direccion de M. Le Pére.

El mar Mediterráneo en Barcelona, y el Océano en Dunkerque se hallan sensiblemente en el mismo nivel, segun las observaciones de Delambre.

El mar del Sud en el Callao parece 7m mas elevado, que el Océano en Cartagena, segun las determinaciones barométricas de M. de Humboldt.

63. La mezcla de las aguas de los rios con las del mar presenta tambien algunos fenómenos notables de hidrostática. Siendo el agua dulce mas ligera, debe quedarse en la superficie, mientras que el agua salada debe por su gravedad, formar las capas mas profundas. Esto es en efecto lo que M. Stevenson ha observado en 1816 en el puerto de Aberdeen en la embocadura del Dee, y tambien en el Támesis cerca de Lóndres y de Wolwich. Sacando agua de diferentes profundidades con un instrumento inventado para este objeto, M. Stevenson halló que á cierta distancia de la embocadura, el agua es dulce en toda la profundidad, aun cuando sube la marea; pero que si se desciende por el curso del rio, y se aproxima uno un poco mas al mar, se halla el agua dulce en la superficie, mientras que el agua del mar forma las capas del fondo. Segun estas observaciones, entre Lóndres y Wolwich empieza á ser sensible lo salobre del fondo del agua del Támesis. Así mas allá de Wolwich, este rio en lugar de correr sobre un fondo sólido, corre verdaderamente sobre un fondo líquido formado por las aguas del mar, con las que se mezcla sin duda mas ó menos. Con todo, M. Stevenson es de opinion que en la marea ascendente, las aguas dulces están elevadas, por decirlo así, en masa por las aguas saladas que arriban y suben por el lecho, mientras que el agua dulce continúa corriendo hácia el mar.

Estos esperimentos tienden á confirmar la opinion que Franklin habia emitido sobre esta materia desde el año de 1761. ,,Si algunos rios, dice, desaguan en lagos sin que éstos salgan jamas de sus bordes, es porque las aguas se esparcen por una superficie tan grande, que la evaporacion estrae diariamente una masa de líquido á poca diferencia igual á la que llega; pero hay rios que por la estension de su curso, y lo ancho de su desembocadura, pueden ser considerados como lagos.'' Para que la semejanza fuese perfecta, bastaria que un dique detuviese el curso de las aguas, y las impidiese reunirse al mar. Entonces se hallaria, segun las estaciones, alguna diferencia de nivel; pero se concibe en general, que bajo ciertas circunstancias, estas diferencias podrian estar circunscritas en límites muy estrechos. Aunque la comunicacion entre el rio y el mar esté abierta, se puede suponer que el dique de que se acaba de hablar, existe realmente en la superficie de union del agua dulce y del agua salada; solo si éste dique será móvil, subirá cierto número de leguas en la marea ascendente, y bajará despues; la amplitud de las escursiones podrá variar con el volúmen de las aguas. En algunos casos debe uno convencerse de que las aguas del mar y las del rio se mezclan al encontrarse, y en una estension mas ó menos considerable, por el doble efecto de sus movimientos y de la diferencia de sus gravedades específicas: pero á cierta distancia de la embocadura, el agua dulce, al principio arrastrada por la corriente y repelida despues por la marea, oscilará á poca diferencia, en los mismos límites, sin que jamas llegue al mar. El ignorante imaginaria que las aguas corren y se pierden en parte bajo algunas grietas de la tierra, cuando en realidad se escapan por el aire.

CAPITULO VI.

Del equilibrio de los gases y de la presion atmosférica.

64. El aire es un cuerpo que no afecta inmediatamente nuestros sentidos, como los cuerpos sólidos ó los líquidos, pero se nos manifiestan por tantos fenómenos sobre la tierra y sobre las aguas, que no es necesario buscar otras pruebas de su exi stencia. Hay vientos en todos los climas y tempestades sobre todos los mares: asi el aire cubre toda la superficie del globo, forma por todas partes una capa de un grande espesor; porque en todos los paises, sobre los montes, como en las llanuras, se ven flotar nubes que son llevadas por el viento, y encima de estas nubes se ve el color brillante del cielo, que es una prueba de la profundidad del aire, como el color del Océano es una prueba de la profundidad del agua. Si no hubiese aire, el cielo estaria sin brillantez y sin color; pareceria como una bóveda enteramente negra, en la que se verian brillar los astros durante el dia, del mismo modo que durante la noche. Esta grande masa de aire que está difundida por todo el rededor de la tierra, y cuyas capas sobrepuestas se elevan à mayor altura que las mas altas montañas, es lo que se llama *atmósfera*: el vértice mas elevado del Himalaya no llega á dos leguas de altura sobre el nivel del mar, y veremos que la atmósfera se eleva mas de doce ó quince leguas.

Los descubrimientos químicos del último siglo nos han hecho conocer muchos cuerpos, diferentes del aire por su naturaleza, pero análogos á él por su trasparencia, por su fluidez y por el conjunto de sus propiedades físicas. Todos estos cuerpos han recibido diferentes nombres: al principio se les llamaba *aires*, y se decia entonces *aire mefítico*, *aire inflamable*, *aire hepático*, *aire fijo*, *aire flogisticado*, *aire deflogisticado* etc., en el dia todos estos cuerpos se llaman *gases* ó *cuerpos gaseosos*, ò *fluidos elásticos*.

65. Los gases están sujetos á dos especies de fuerzas como los sólidos y los líquidos, á saber la fuerza de la gravedad y las fuerzas moleculares.

La gravedad del aire que se habia sospechado, aun antes de Aristòteles, no ha sido verdaderamente demostrada hasta 1640 por Galileo, y un poco despues fué confirmada por los bellos esperimentos de Torricelli, y por los de Pascal, aun mas admirables. Esta verdad fundamental puede demostrarse directamente por medio del esperimento que sigue: se hace el vacio en un grande globo por medio de la máquina pneumática, se suspende de uno de los brazos de la balanza, y en el otro se ponen pesas para establecer el equilibrio. Si despues de esto se abre por un instante la llave, para dejar entrar un poco de aire, el equilibrio se pierde, la balanza se inclina del lado del globo y es menester añadir pesas en el otro platillo; si se vuelve á abrir la llave durante otro instante, vuelve á suceder un nuevo aumento de peso; y en fin, si se deja entrar completamente el aire, se halla que para restablecer el equilibrio ha sido menester añadir una suma de pesas muy sensible, en el otro platillo. Para un globo de 10 litros, la diferencia de pesos es mas de 10 gramos; lo que prueba por una primera aproximacion, que un litro de aire en las circunstancias ordinarias, pesa mas de 1 gramo, es decir, que el agua no es mil veces mas pesada que el aire ordinario en Paris.

66. Las fuerzas moleculares obran en los gases de un modo mas diverso que en los sólidos y en los líquidos. Se ha visto que estas fuerzas mantienen las moléculas de los sólidos fuertemente apretadas las unas contra las otras y fijamente detenidas en su lugar, que retienen tambien las moléculas de los líquidos, dejándolas al mismo tiempo en grande libertad para moverse en todos sentidos: pero en los gases las fuerzas moleculares son repulsivas, y cediendo las moléculas à la accion de estas fuerzas, tienden sin cesar à alejarse las unas de las otras, y se alejan en efecto, hasta que encuentran obstáculos que las detengan. Así el aire que está encerrado en un vaso, hace sin cesar un esfuerzo contra las paredes, compriméndolas, para repelerlas mas lejos, y es necesario que sean bastante fuertes para resistirla; porque de lo contrario estallarán bajo esta presion. Esta consecuencia parece desde luego contraria á la esperiencia; porque si es verdadero que en un vaso cerrado, el aire haga tal esfuerzo contra las paredes, parece necesario que este aire se escape por la menor abertura, y que se escape con mas razon en el instante en que se abre el vaso, ó antes de que se haya tenido tiempo de cerrarlo. De esto se seguiria que todos los vasos están vacios de aire, al paso que se sabe bien que todos ellos están llenos de este fluido; á no ser, que se eche agua en ellos, ó algun otro líquido que tome su lugar. Para resolver esta dificultad, concibamos un vaso de un litro de capacidad, por ejemplo, y cerrado por todas partes; si estuviese vacio y se hiciese en él una abertura, el aire esterior se precipitaria al instante para llenarle; al contrario si estuviese lleno, si se taladrasen las paredes y no hubiese aire esterior co-

hallamos sobre la composicion interior del globo, del que, con todo nuestro poder, no podemos examinar mas que una superficie de una profundidad insensible, nos es del todo imposible determinar al presente, cuál debe ser en estado de reposo, la verdadera curvatura de la superficie de las aguas. Por este motivo se ha ensayado el determinarla por nivelaciones directas, y he aquí los resultados que se han obtenido.

El nivel del mar Rojo se eleva sobre el nivel del Mediterráneo 9^m, 9 en alta mar y 8^m, 12 en baja mar. Esta diferencia ha sido determinada durante la espedicion de Egipto, por una comision de ingenieros bajo la direccion de M. Le Pére.

El mar Mediterráneo en Barcelona, y el Océano en Dunkerque se hallan sensiblemente en el mismo nivel, segun las observaciones de Delambre.

El mar del Sud en el Callao parece 7^m mas elevado, que el Océano en Cartagena, segun las determinaciones barométricas de M. de Humboldt.

63. La mezcla de las aguas de los rios con las del mar presenta tambien algunos fenómenos notables de hidrostática. Siendo el agua dulce mas ligera, debe quedarse en la superficie, mientras que el agua salada debe por su gravedad, formar las capas mas profundas. Esto es en efecto lo que M. Stevenson ha observado en 1816 en el puerto de Aberdeen en la embocadura del Dee, y tambien en el Támesis cerca de Lóndres y de Wolwich. Sacando agua de diferentes profundidades con un instrumento inventado para este objeto, M. Stevenson halló que á cierta distancia de la embocadura, el agua es dulce en toda la profundidad, aun cuando sube la marea; pero que si se desciende por el curso del rio, y se aproxima uno un poco mas al mar, se halla el agua dulce en la superficie, mientras que el agua del mar forma las capas del fondo. Segun estas observaciones, entre Lóndres y Wolwich empieza á ser sensible lo salobre del fondo del agua del Támesis. Así mas allá de Wolwich, este rio en lugar de correr sobre un fondo sólido, corre verdaderamente sobre un fondo líquido formado por las aguas del mar, con las que se mezcla sin duda mas ó menos. Con todo, M. Stevenson es de opinion que en la marea ascendente, las aguas dulces están elevadas, por decirlo así, en masa por las aguas saladas que arriban y suben por el lecho, mientras que el agua dulce continúa corriendo hácia el mar.

Estos esperimentos tienden á confirmar la opinion que Franklin habia emitido sobre esta materia desde el año de 1761. ,,Si algunos rios, dice, desaguan en lagos sin que éstos salgan jamas de sus bordes, es porque las aguas se esparcen por una superficie tan grande, que la evaporacion estrae diariamente una masa de líquido á poca diferencia igual á la que llega; pero hay rios que por la estension de su curso, y lo ancho de su desembocadura, pueden ser considerados como lagos.'' Para que la semejanza fuese perfecta, bastaria que un dique detuviese el curso de las aguas, y las impidiese reunirse al mar. Entonces se hallaria, segun las estaciones, alguna diferencia de nivel; pero se concibe en general, que bajo ciertas circunstancias, estas diferencias podrian estar circunscritas en límites muy estrechos. Aunque la comunicacion entre el rio y el mar esté abierta, se puede suponer que el dique de que se acaba de hablar, existe realmente en la superficie de union del agua dulce y del agua salada; solo si éste dique será móvil, subirá cierto número de leguas en la marea ascendente, y bajará despues; la amplitud de las escursiones podrá variar con el volúmen de las aguas. En algunos casos debe uno convencerse de que las aguas del mar y las del rio se mezclan al encontrarse, y en una estension mas ó menos considerable, por el doble efecto de sus movimientos y de la diferencia de sus gravedades específicas: pero á cierta distancia de la embocadura, el agua dulce, al principio arrastrada por la corriente y repelida despues por la marea, oscilará á poca diferencia, en los mismos límites, sin que jamas llegue al mar. El ignorante imaginaria que las aguas corren y se pierden en parte bajo algunas grietas de la tierra, cuando en realidad se escapan por el aire.

CAPITULO VI.

Del equilibrio de los gases y de la presion atmosférica.

64. El aire es un cuerpo que no afecta inmediatamente nuestros sentidos, como los cuerpos sólidos ó los líquidos, pero se nos manifiestan por tantos fenómenos sobre la tierra y sobre las aguas, que no es necesario buscar otras pruebas de su exi stencia. Hay vientos en todos los cli-

mas y tempestades sobre todos los mares: asi el aire cubre toda la superficie del globo, forma por todas partes una capa de un grande espesor; porque en todos los paises, sobre los montes, como en las llanuras, se ven flotar nubes que son llevadas por el viento, y encima de estas nubes se ve el color brillante del cielo, que es una prueba de la profundidad del aire, como el color del Océano es una prueba de la profundidad del agua. Si no hubiese aire, el cielo estaria sin brillantez y sin color; pareceria como una bóveda enteramente negra, en la que se verian brillar los astros durante el dia, del mismo modo que durante la noche. Esta grande masa de aire que está difundida por todo el rededor de la tierra, y cuyas capas sobrepuestas se elevan á mayor altura que las mas altas montañas, es lo que se llama *atmósfera*: el vértice mas elevado del Himalaya no llega á dos leguas de altura sobre el nivel del mar, y veremos que la atmósfera se eleva mas de doce ó quince leguas.

Los descubrimientos químicos del último siglo nos han hecho conocer muchos cuerpos, diferentes del aire por su naturaleza, pero análogos á él por su trasparencia, por su fluidez y por el conjunto de sus propiedades físicas. Todos estos cuerpos han recibido diferentes nombres: al principio se les llamaba *aires*, y se decia entonces *aire mefítico*, *aire inflamable*, *aire hepático*, *aire fijo*, *aire flogisticado*, *aire deflogisticado* etc., en el dia todos estos cuerpos se llaman *gases* ó *cuerpos gaseosos*, ó *fluidos elásticos*.

65. Los gases están sujetos á dos especies de fuerzas como los sólidos y los líquidos, á saber la fuerza de la gravedad y las fuerzas moléculares.

La gravedad del aire que se habia sospechado, aun antes de Aristóteles, no ha sido verdaderamente demostrada hasta 1640 por Galileo, y un poco despues fué confirmada por los bellos esperimentos de Torricelli, y por los de Pascal, aun mas admirables. Esta verdad fundamental puede demostrarse directamente por medio del esperimento que sigue: se hace el vacio en un grande globo por medio de la máquina pneumática, se suspende de uno de los brazos de la balanza, y en el otro se ponen pesas para establecer el equilibrio. Si despues de esto se abre por un instante la llave, para dejar entrar un poco de aire, el equilibrio se pierde, la balanza se inclina del lado del globo y es menester añadir pesas en el otro platillo; si se vuelve á abrir la llave durante otro instante, vuelve á suceder un nuevo aumento de peso; y en fin, si se deja entrar completamente el aire, se halla que para restablecer el equilibrio ha sido menester añadir una suma de pesas muy sensible, en el otro platillo. Para un globo de 10 litros, la diferencia de pesos es mas de 10 gramos; lo que prueba por una primera aproximacion, que un litro de aire en las circunstancias ordinarias, pesa mas de 1 gramo, es decir, que el agua no es mil veces mas pesada que el aire ordinario en Paris.

66. Las fuerzas moleculares obran en los gases de un modo mas diverso que en los sólidos y en los líquidos. Se ha visto que estas fuerzas mantienen las moléculas de los sólidos fuertemente apretadas las unas contra las otras y fijamente detenidas en su lugar, que retienen tambien las moléculas de los líquidos, dejándolas al mismo tiempo en grande libertad para moverse en todos sentidos: pero en los gases las fuerzas moleculares son repulsivas, y cediendo las moléculas á la accion de estas fuerzas, tienden sin cesar á alejarse las unas de las otras, y se alejan en efecto, hasta que encuentran obstáculos que las detengan. Así el aire que está encerrado en un vaso, hace sin cesar un esfuerzo contra las paredes, comprimiéndolas, para repelerlas mas lejos, y es necesario que sean bastante fuertes para resistirla; porque de lo contrario estallarán bajo esta presion. Esta consecuencia parece desde luego contraria á la esperiencia; porque si es verdadero que en un vaso cerrado, el aire haga tal esfuerzo contra las paredes, parece necesario que este aire se escape por la menor abertura, y que se escape con mas razon en el instante en que se abre el vaso, ó antes de que se haya tenido tiempo de cerrarlo. De esto se seguiria que todos los vasos están vacíos de aire, al paso que se sabe bien que todos ellos están llenos de este fluido; á no ser, que se eche agua en ellos, ó algun otro líquido que tome su lugar. Para resolver esta dificultad, concibamos un vaso de un litro de capacidad, por ejemplo, y cerrado por todas partes; si estuviese vacio y se hiciese en él una abertura, el aire esterior se precipitaria al instante para llenarle; al contrario si estuviese lleno, si se taladrasen las paredes y no hubiese aire esterior co-

mo el interior, el esterior hace tanto esfuerzo para entrar en el vaso, como el interior para salir, y entre estas dos presiones iguales subsiste el equilibrio de los puntos en que el vaso está abierto, como en aquellos en donde está cerrado por las paredes. El aire esterior es, pues, el que contrarresta la fuerza repulsiva del aire interior.

Este equilibrio de las presiones es tan señalado, que es bueno demostrarle por un esperimento directo. Se pone bajo el recipiente de la máquina pneumática una vejiga medio llena de aire, se dan algunos golpes de émbolo, y se vé que la vejiga se va hinchando sucesivamente, hasta tomar todo el volúmen de que es susceptible; como si se inyectase aire en ella con grande fuerza. Se vé, pues, que el aire interior que contiene, hace un esfuerzo para repeler las paredes, y las repele en efecto, cuando por el juego de la máquina, se saca del recipiente el aire que contenia este esfuerzo. En lugar de una vejiga, se habria podido poner bajo el recipiente un vaso de vidrio muy delgado, cerrado con un tapon; haciendo entonces el vacío como antes, se veria saltar el tapon, ó tal vez romperse el vaso. Esta presion que el aire ejerce contra las paredes de los vasos que le contienen, es lo que se llama *su elasticidad*, y *su fuerza elástica*, ó *su tension*.

Un resorte no manifiesta ser elástico, sino cuando se le comprime, y pierde su tension luego que ha vuelto á su estado primitivo; pero el aire se halla siempre en un estado actual de tension; para él no hay volúmen primitivo, pues que tiende sin cesar á ocupar un volúmen mayor. Un litro de aire ordinario que fuese puesto en un espacio vacío, que tuviese muchos millares de metros cúbicos de capacidad, se difundiria por todo este espacio y comprimiria sus paredes en todos sentidos, haciendo un esfuerzo para ensancharse mas. Se concibe, segun esto, cuánto importa estudiar los efectos del aire atmosférico, porque su sola presencia es una fuerza activa en todos los fenómenos que observamos.

68. *Condiciones de equilibrio del aire.*— Para los gases no hay mas que una condicion de equilibrio, á saber, que su fuerza elástica sea la misma en toda la estension de una capa del mismo nivel. Esta condicion es análoga á la segunda condicion de equilibrio de los líquidos (94), y se deduce de los mismos principios, es á saber, de la movilidad de las moléculas, y de la accion de la gravedad, que se ejerce sobre ellas. En un vaso cualquiera (fig. 89), todos los puntos de la capa horizontal cd deben tener la misma elasticidad; porque es necesario que la fuerza repulsiva de las moléculas que se hallan en b, pueda detener la fuerza repulsiva de las moléculas que se hallan en b', y estas fuerzas no pueden contrarrestarse ni equilibrarse, sino siendo iguales en todos los puntos de la capa horizontal cd. Sucede lo mismo con todas las secciones de nivel que se puedan concebir, encima, ó debajo de cd: pero es evidente que la capa mp, por ejemplo, es mas comprimida que cd, pues que sostiene desde luego toda la presion que se ejerce en cd, que le es transmitida por el principio de igualdad de presion, y ademas sostiene tambien todo el peso del aire que está comprendido en la columna $cdmp$, que pesa libremente sobre ella, como una columna de agua pesa sobre el fondo de un vaso.

Las condiciones de la estabilidad é inestabilidad del equilibrio, son tambien las mismas que en los líquidos, y por las mismas razones: el equilibrio es estable, cuando la densidad del aire inferior es mayor que la del aire superior, y es inestable cuando sucede lo contrario. Pero el equilibrio inestable, aunque matemáticamente posible, es siempre físicamente imposible, por motivo de la grande movilidad de las moléculas de los gases.

Esta ley del equilibrio del aire es una ley universal para todas las masas gaseosas, por grandes ó pequeñas que puedan ser: se aplica al aire contenido en un grande edificio, como al que está contenido en un vaso de pequeñas dimensiones; á toda la columna de aire atmosférico que descansa sobre una vasta llanura, y en fin, á la masa entera del aire que constituye la atmósfera. Concíbase en una altura cualquiera, en la del Mont-Blanc por ejemplo, una capa atmosférica que rodee la tierra, y que sea paralela á la superficie de las aguas; para el equilibrio será necesario que todos los puntos de esta capa sostengan por todas partes la misma presion en Paris, como en los antípodas, sobre los continentes, como sobre los mares, y en las regiones de los polos, como en las del ecuador. Una segunda capa paralela á ésta, pero que estuviese á cien metros debajo, deberia por la misma razon, tener todos sus puntos igualmente comprimidos entre sí, y todos se hallarian mas comprimidos que los de la primera capa, por el peso entero de la columna de aire de cien metros, que sostienen de mas. Asi

en altura igual, la presion debe ser igual; pero disminuye á medida que uno se eleva. La necesidad de una presion uniforme en una estension tan grande, hace comprender bastante que en el océano del aire es imposible todo equilibrio. Una calma universal es incompatible con tanta movilidad, pues que un solo punto que se conmueve agita toda la masa.

Los gases no pueden, como los líquidos, tener una superficie libre sobre la que no se ejerza presion alguna; porque se ha dicho que es menester un obstáculo para detener su fuerza espansiva, que es indefinida. Segun esto, se podria deducir que la atmósfera no está limitada á doce ó quince leguas, como se dice comunmente: las moléculas del aire siempre impelidas por su fuerza elástica, y no hallando cosa que las detenga, se precipitarian en el vacío y se disiparian mas y mas hasta llenar en fin, toda la inmensa estension de los cielos. Así el aire estaria por todas partes, envolveria á la luna como á la tierra, al sol y á los planetas, y formaria alrededor de estos astros atmósferas análogas á la terrestre. Demostraremos en óptica que los fenómenos observados no justifican estas conclusiones; y sin esplicar al presente las causas probables que retienen las moléculas del aire, adoptaremos la opinion de que nuestra atmósfera es limitada, y que no tiene en efecto, mas que doce ó quince leguas de altura. Mas allá está el vacío: la última capa de la atmósfera es el último límite de la masa ponderable de la tierra.

68. *De la presion del aire.*—Una vez puestas las condiciones generales del equilibrio, podemos demostrar por esperimentos directos, que todas las capas inferiores del aire son en efecto comprimidas por las capas superiores, y que lo son diferentemente segun la altura á la que uno se eleva sobre el nivel del mar.

Esperimento de la vejiga. Se pone sobre la platina de la máquina pneumática, una especie de manguito de vidrio (fig. 90), cuyas paredes son de bastante espesor, que está tapado por su parte superior con un pedazo de vejiga muy tendido y fuertemente atado por sus bordes. Esta membrana esperimenta por una parte la presion del aire esterior, que tiende á hacerla bajar, y por la otra la presion del aire interior, que tiende á levantarla; de este modo queda en equilibrio entre estas dos presiones opuestas. Si por algun medio se inyectase en el vaso una nueva cantidad de aire, la presion interior pasaria á ser mas fuerte y la membrana se hincharia hácia afuera, al contrario si se quitase aire, la presion interior seria mas débil, y cediendo la membrana á la presion esterior, se doblará y hundirá hácia dentro. Esto es lo que se obtiene por medio de la máquina pneumática, que aspira poco á poco todo el aire contenido en el vaso: desde los primeros golpes de émbolo se vé que la membrana se dobla por la presion esterior, lo que va aumentando: en fin, cuando el vacío está hecho, se vé que está muy estendida y por consiguiente muy comprimida. Se puede juzgar que un peso de 100 kilógramos que se pusiese encima de ella, no la comprimiria tanto. Entonces si se dá con el dedo un golpe aunque sea muy ligero en medio de la membrana, revienta en mil pedazos y se oye una esplosion mas fuerte que un tiro de pistola; tan grande es el esfuerzo que hace el aire en virtud de su presion, para volver á entrar en el vaso; porque la impetuosidad con que entra es la que produce el estallido.

En lugar de una presion de arriba abajo, se tendria una presion lateral, si el manguito estuviese inclinado, ó una presion de abajo arriba, si estuviese invertido: todas estas presiones no producirian menor efecto que la primera, lo que prueba bien que el aire comprime en todas direcciones, ó que las presiones se trasmiten y pasan á ser presiones de abajo arriba, como sucede en los líquidos.

Este esperimento parece desde luego muy sorprendente: no se comprende á primera vista, cómo el aire de un cuarto puede ejercer una presion tan prodigiosa. Seria menester que fuese muy pesado, si solo obrase por su gravedad; porque una columna de agua que tuviese toda la altura del cuarto, estaria bien lejos de producir tal efecto. Es que tambien hay otra causa. Supongamos por un momento que el esperimento se ha hecho al aire libre: en este caso segun los principios de la hidrostática, la presion seria igual al peso de la columna de aire, que tuviese por base la anchura de la membrana, y por altura, no uno, ni diez, ni cien metros; sino toda la altura atmosférica, diez leguas si la atmósfera tiene diez leguas, ciento si la atmósfera tiene ciento. Por ser iguales las presiones sobre una misma capa de nivel, se vé que en una sala, la presion que se ejerce sobre la vejiga, es tambien toda la presion atmosférica.

Midiendo esta presion, que rompe con tanto ruido la membrana del manguito, se obtendria todo el peso de una columna de aire que se eleve á tanta altura, como la atmósfera pueda estenderse; del mismo modo que un físico podria, en el fondo del mar, con un aparato semejante, hallar el peso total de la columna de agua que se elevase sobre su cabeza.

69. *Medida de la presion atmosférica.*— Puesto que la atmósfera rodea la tierra, comprime todos sus puntos como comprime la membrana del manguito: comprime igualmente toda la superficie de los continentes y la de las aguas, sea en la inmensa estension de los mares, en los lagos ó en los vasos que sirven para nuestros esperimentos.

Supongamos que un tubo se sumerge por una de sus estremidades en un vaso lleno de agua (fig. 91); el líquido se pone al mismo nivel en el tubo y en el vaso, porque la presion atmosférica es la misma en lo interior del tubo en cd y en lo esterior sobre la superficie ab. Pero si se aspira una porcion del aire contenido en el tubo, el líquido sube como si el mismo fuera aspirado; sube mas y mas, á medida que la aspiracion continúa; se detiene cuando ésta cesa, y la columna elevada queda suspendida en lo interior del tubo. Este esperimento que no es mas que un juego de niños, va á darnos el medio de medir la presion atmosférica y de hallar el peso total del aire, como si pudiésemos poner toda la atmósfera en una balanza. Aspirando el aire, se disminuye la presion que se ejerce en lo interior del tubo, sin cambiar nada de la presion esterior: entonces siendo ésta la mas fuerte, obliga al líquido á subir, hasta que la condicion de equilibrio se haya cumplido, es decir, hasta que la presion sea la misma sobre toda la capa de nivel, así en lo interior en cd, como en lo esterior ab. En el momento en que estas presiones son iguales, el líquido deja de subir; pero la presion interior que se ejerce sobre cd, se compone de dos partes; de la presion debida al peso de la columna elevada y de la presion debida á la elasticidad del aire, que queda encima del vértice de esta columna. Asi disminuyendo sucesivamente la elasticidad del aire, el agua interior debe elevarse mas y mas, y en fin, si se desaloja completamente el aire, necesariamente se elevará hasta tal punto, que ella sola cargue sobre cd tanto como la atmósfera cargue por afuera sobre ab; se seguirá pues, que el peso de esta columna de agua será igual al peso de una columna de aire de la misma base, y que tenga por altura toda la altura de la atmósfera; porque sobre cada centímetro cuadrado de superficie, el aire y el agua no comprimen sino por razon de su peso. Hé aquí, pues, el medio de pesar una columna de aire atmosférico, cualquiera que sea la altura á que pueda elevarse. Todo se reduce á hallar un tubo bastante largo y estraer de él completamente el aire. Pascal hizo este esperimento en Rouen en 1646: su tubo tenia 46 piés de longitud, y para evitarse la pena de estraerle el aire poco á poco, lo que habria sido imposible en aquellos tiempos, le hizo cerrar por un estremo, le llenó de vino y cerró el otro estremo con un tapon. Entonces por medio de cuerdas y de poleas, el tubo fué levantado verticalmente y se sumergió la estremidad inferior en un vaso de agua; en el momento en que se quitó el tapon con que estaba cerrado, bajó toda la columna líquida, hasta que su parte superior se halló á 32 piés sobre el nivel del agua del vaso. En los 14 piés que quedaron arriba no habia aire, esto era el vacío: así la columna líquida formaba por sí sola equilibrio con la presion atmosférica; de que se sigue que una columna de agua ó de vino de 32 piés de altura, pesa tanto como una columna de aire de la misma base. Así cada punto de la superficie de la tierra es comprimido como si estuviese cubierto de una capa de agua de 32 piés de altura; y nosotros que vivimos en el fondo del océano del aire, somos comprimidos por todas partes, como si estuviésemos en el fondo de un lago con 32 piés de agua sobre nuestras cabezas.

Debemos el primer gérmen de este descubrimiento á unos fontaneros italianos. Habiéndoseles ofrecido la ocasion de construir un cuerpo de bomba de mas de 32 piés de altura, vieron con sorpresa que el agua no queria subir hasta su parte superior. En esta época se esplicaba el ascenso de los líquidos, diciendo que la naturaleza tenia *horror al vacío*, y que impelia los líquidos para llenarlo. Las esplicaciones por las *causas ocultas* no eran tales que pudiesen contentar á Galileo: así, pues, desde que tuvo conocimiento del hecho observado por los fontaneros, supuso que la gravedad del aire era su verdadera causa.

Torricelli, su discípulo, diò una prueba mas decisiva: hé aquí con poca diferencia su raciocinio. Para que las columnas líquidas ejerzan presiones iguales, es menester que estén en razon inversa de su densidad; luego un líquido que pesase una vez mas que el agua, se equilibraria con la atmósfera por medio de una columna de 16 piés de altura, y el mercurio que pesa, á poca diferencia catorce veces mas que el agua, debe equilibrarse con una columna que sea la décimacuarta parte de 32 piés, ó cerca de 28 pulgadas. Esta es una consecuencia fácil de verificar: se toma un tubo de vidrio de treinta pulgadas de longitud, cerrado por un estremo; se llena de mercurio, y despues cerrándole con el dedo, se vuelve verticalmente para sumergir su estremidad en una cubeta llena del mismo líquido (fig. 92). Asi que se saca el dedo, la columna interior baja algunas pulgadas, despues se detiene: el equilibrio queda establecido, y el pequeño hilo de mercurio que queda suspendido en el tubo, es una balanza que da el peso de la atmósfera. Este aparato es el ***barómetro:*** la columna de agua de Pascal, era un verdadero barómetro de agua. El vacío que está encima de la columna barométrica, se llama *barométrico, ó vacío de Torricelli.*

En el dia podemos fijar nuestros resultados con mucha exactitud. La *altura* del barómetro es la altura vertical del estremo s (fig. 92) encima del nivel ab; esta no es la misma en todos los lugares; pero en las orillas del mar es ordinariamente de 76 centímetros. Esta altura es la que se adopta, como altura normal, á la que se refieren las demas. Admitamos. pues, por un instante, que el aire está en calma en toda la estension de la atmósfera; que el equilibrio se halla perfectamente establecido, y que el barómetro en el nivel del mar, señala exactamente $0^{m},76.^{c}$ de altura; será fácil encontrar, en este caso, la verdadera medida de la presion atmosférica, y espresarla en kilógramos. En efecto, la altura total de la columna de aire es desconocida; pero la presion que ejerce sobre su base, es justamente igual á la ejercida por la columna de mercurio de $0,76^{c}$ de altura, con la que se equilibra. Ahora bien, la presion de ésta, sobre la unidad de superficie, es, como lo hemos visto (59), igual á su peso, es decir, á su volúmen multiplicado por el peso de la unidad de este, ò en fin, á

$$1.76.\pi d$$

siendo π el peso de un centímetro cúbico de agua, ó $0^{k},001$, y d la densidad del mercurio, ó $13,598$; lo que da haciendo el cálculo, $1^{k},033$ por la presion atmosférica sobre un centímetro cuadrado. Pero esta presion tiene por única causa la gravedad del aire; porque resulta de la suma de los pesos de todas las moléculas, que componen la columna entera, cuya base es un centímetro, y su altura la de la atmósfera; luego esta columna de altura desconocida, pesa exactamente $1^{k}033$. Sobre un decímetro cuadrado, la presion seria cien veces mayor, puesto que en un decímetro cuadrado hay cien centímetros cuadrados; seria, pues, la presion $103^{k},3$, y sobre un metro cuadrado seria por la misma razon, 10330^{k}. En fin, representando por s la superficie entera de la tierra, computada en metros cuadrados, la presion de toda la atmósfera sobre el globo, será $10330^{k}\times s$; y representará en kilógramos el peso total del aire y de los vapores que constituyen la atmósfera. Por repetidas observaciones barométricas, se puede, pues, reconocer, si esta masa esperimenta variaciones repentinas ó seculares, y si ha cambiado sensiblemente desde que Pascal y Torricelli la pesaron por primera vez.

Si las capas de aire fuesen homogéneas en todas las alturas, podria deducirse de lo anterior, la verdadera altura de la atmósfera; porque esta altura x, y la altura 76 del barómetro, estarian entre sí en razon inversa de las densidades del aire y del mercurio, y se tendria

$$\frac{x}{76}=\frac{13,598}{d}, \quad ó \quad x=\frac{76.13.598}{d};$$

siendo d la densidad del aire respecto del agua. Ahora bien, hemos dicho ya (46), que un metro cúbico de aire, en las condiciones normales de temperatura y presion, pesa $1^{k},2991$: por consiguiente, la densidad del aire es $0,0012991$, y la altura de la atmósfera seria de

$$795510^{\text{cent.}} \quad ó \text{ de } 7955^{\text{metros}},$$

poco menos de dos leguas. Pero es falso que el aire sea homogéneo; su densidad disminuye á medida que aumenta la altura, y esta ley de diminucion es la que determina la verdadera altura total de la atmósfera (1).

(1) Sea p el peso de toda la columna de la atmósfera de aire que comprime la superficie de la tierra, p' el peso que carga sobre la primera capa, suponiendo á la atmósfera distribuida en capas, p'' el que pasa sobre

Supuesto que el barómetro de mercurio tiene una altura normal de 76 centímetros, el barómetro de columna de agua tendria exactamente una altura x dada,

$$\frac{x}{76}=\frac{13,598}{1},$$

puesto que la densidad 13, 598 del mercurio es referida á la del agua, tomada por unidad, resulta $x=1033^{cent}$ ó $10^{m},33$.

Se puede, pues, decir indefectiblemente, que la presion atmosférica es representada por una columna de mercurio de 76 centímetros, ó por una columna de agua de $10^{m},33$; pero esta presion no puede ser espresada verdaderamente, mas que en peso, y es igual á $1^{k}\,033$.

70. *Construccion del barómetro.*--Se dan á este instrumento formas diferentes segun el uso á que se le destina; pero hay ciertas condiciones generales de exactitud, que es menester llenar en todos los casos, cualquiera que sea la forma que se adopte.

1.° Es menester que el mercurio sea muy puro, porque su densidad se altera con su pureza.

2.° Cuando la columna sube ó baja en lo interior del tubo, la superficie esterior baja ó sube, y es menester disponer el aparato de modo que se pueda á cada instante, medir la altura del barómetro, es decir, la altura vertical del nivel interior sobre el esterior.

3.° Es menester que el vacío sea perfecto encima de la columna barométrica, porque si quedase un poco de aire en este espacio, si hubiese algunos vapores, esto seria una fuerza elástica que obraria sin cesar para repeler el mercurio, y le impediria subir á su verdadero nivel. Para obtener el vacío tan exacto como es posible, se hace hervir el mercurio del modo que sigue (fig. 88); se llena el tubo hasta el tercio de su longitud, y se hace hervir por partes en toda esta estension: despues se echa una nueva cantidad de mercurio que esté un poco caliente, á fin de no romper el tubo, y se vuelve á empezar la ebullicion en toda la longitud de esta nueva columna; se van añadiendo así nuevas cantidades de mercurio que se hacen hervir sucesivamente, hasta que la ebullicion haya recorrido toda la longitud del tubo, ó casi toda; y despues de haberse enfriado, se voltea. No obstante, es útil asegurarse de si por la vuelta que se ha dado, se ha dejado entrar alguna burbuja de aire: es menester para esto, inclinar el tubo con alguna velocidad, á fin de que el mercurio venga á dar en la parte superior: si da un golpe seco, se puede suponer que el vacío está bastante bien hecho, si no, la operacion no ha sido exacta.

Cuando están llenadas todas estas condiciones, quedan por lo general dos correcciones que hacer para obtener la altura del barómetro; la una es relativa á la *capilaridad*, y la otra *á la temperatura* en que se encuentran la escala de las divisiones, y el mercurio mismo en el momento de la observacion. Daremos en la meteorologia las tablas necesarias, para hacer las correcciones que dependen de estas causas.

Se distinguen dos especies de barómetros; los

———

la segunda capa $p'''\ p''''$ etc., las de las otras sucesivamente. Sean $d, d,' d''$ sus densidades, será $p-p'$ el peso de la primera capa inferior $p'-p''$ el de la segunda, $p''-p'''$ el de la tercera etc.: y pues que los pesos están como las densidades en igualdad de volúmenes, será $p-p' : p'-p'' :: d : d' :: p : p'$: luego $p-p' : p'-p'' :: p' : p''$; de donde $pp''-p'p''=p'p'-p'p''$; $pp''=p'p'$ y $p : p' :: p' : p''$. Por lo mismo $p' : p'' :: p'' : p'''$. Luego $\div p, p', p'', p'''$, etc. . . . Luego creciendo las alturas de la atmósfera en progresion aritmética, las densidades decrecen en progresion geométrica. Así tomando las presiones atmosféricas con el barómetro, se podrá sacar con el auxilio de los logaritmos la verdadera altura de la atmósfera.

Para concebir la limitacion de la atmósfera, es menester se tenga presente, que si el aire es elástico, es tambien pesado, resulta que ahí debe tener su término la atmósfera donde haya equilibrio entre el peso de la última capa y la elasticidad de las inferiores; contando ademas con la atraccion que la tierra ejerce sobre el aire, en sentido contrario á su dilatacion de este hácia las regiones superiores.

Con el auxilio de las matemáticas sublimes, puede sacarse la altura de un punto, de la manera siguente: sean z y $(z+dz)$ dos secciones horizontales situadas en alturas contiguas, estarán sometidas á las presiones p y $p+dp$; sea g la intensidad de la gravedad, y ρ la densidad del aire proporcional á la presion p; la diferencia $-dp$ será$=g\rho dz$; sea P la presion en la superficie de la tierra, y m un coeficiente constante; será $\rho=\frac{p}{m}$, $-dp=g\rho dz=\frac{g}{m}pdz$, $\frac{dp}{p}=-\frac{g}{m}dz$, integrando: $p=(Pe)^{-\frac{gz}{m}}$, ó $z=\frac{m}{g}\ \text{Log}\ \frac{P}{p}$. Bastará, pues, observar las presiones barométricas en la superficie de la tierra y en el punto cuya altura se quiere conocer. Pero debe corregirse la fórmula: primero, porque la temperatura disminuye segun uno se eleva; segundo, porque g no es constante variando z.

barómetros de sifon, y los *barómetros de cubeta*. Los primeros son aquellos cuyo tubo es curvo en su parte inferior en forma de sifon (fig. 93), al paso que en los últimos, el tubo es del todo recto y sumergido por su estremo en una cubeta mas ó menos ancha (fig. 92 y 101).

71 El *barómetro ordinario* es un barómetro de sifon (fig. 93), puesto sobre una montura de madera: la *escala de las alturas* es comunmente de metal: el cero de su division es fijo, y se halla en el nivel del mercurio del brazo pequeño; mudando este nivel cuando cambia la altura, resultan errores tanto mayores, cuanto el brazo pequeño es mas estrecho. Algunas veces el codo del sifon es de hierro, y lleva una llave del mismo metal; en este caso para transportar este instrumento, se inclina de modo que el brazo cerrado se llene completamente de mercurio: despues se cierra la llave, y así no hay que temer que el aire entre en lo interior del tubo, por los sacudimientos del viage.

72. *El barómetro de cuadrante de Jecker*, es al mismo tiempo mas cómodo y mas exacto que el barómetro ordinario; está representado en las figuras 98 y 100. El brazo abierto del sifon lleva un flotante de hierro armado de un registro muy fino, el que engrana con una rueda dentada b, cuyo eje muy móvil lleva la aguja c, que recorre las divisiones del cuadrante d; es muy fácil graduar este instrumento, de modo que la verdadera altura del barómetro en un instante dado se halle escrita en el punto en que se detiene el estremo de la aguja. Este mismo barómetro dispuesto y suspendido convenientemente (fig. 99), pasa á ser un *barómetro marino*, que da buenas observaciones á bordo, no obstante las oscilaciones del bajel.

73. *El barómetro de M. Gay-Lussac* tal como en el dia está construido por M. Bunten, es exclusivamente adoptado por los viageros, por ser perfetamente exacto, fácil de observar, y sobre todo de fácil transporte: está representado en las figuras 94 y 95: El brazo abierto no está taladrado sino por un agujero capilar a, bastante grande para dejar entrar libremente el aire, pero muy pequeño para dejar salir el mercurio: de esto resulta, el poderle voltear sin temor de que el mercurio se escape. Cuando despues de haberle dado vuelta para transportarle, se le vuelve para alguna observacion, no hay que temer que el aire penetre en el brazo cerrado y llegue á lo alto de la columna de mercurio para deprimirla: M. Bunten ha prevenido esto por medio de una disposicion ingeniosa, representada en la figura 96, en donde se ve sobre una escala mayor el brazo abierto, y solamente la parte inferior del brazo cerrado. Se nota en la base de éste, un ensanchamiento b, en el que entra una punta c; con un poco de destreza se hace fácilmente esta soldadura al fuego. Cuando un barómetro está construido de esta manera, si se presenta el aire para subir al vacío, no puede penetrar por la punta c, sino que va á alojarse en b, hácia la altura del ensanchamiento; y cuando se nota haberse reunido aquí una cantidad considerable, se le hace salir volteando el barómetro, á fin de que la punta c, esté siempre metida en el mercurio.

En los barómetros de Bunten, las divisiones están trazadas con diamante sobre los dos brazos, y no hay que hacer correccion alguna por la capilaridad, porque sus dos brazos son iguales. Este barómetro se guarda en una canal ó estuche de hoja de lata (fig. 97).

74 *Barómetro de Fortin*. El barómetro de Fortin (fig. 101, 102, 103, y 104), es un barómetro de cubeta; lo que le distingue es ser de escala fija; las divisiones de ésta, se cuentan, partiendo de la estremidad de una punta de marfil que entra en el mercurio y que se ve (fig. 102). Cuando se quiere hacer una observacion, estando el barómetro bien vertical, es necesario antes de todo, poner el nivel del mercurio de la cubeta, exactamente en contacto con la estremidad de esta punta de marfil, lo que se consigue fácilmente por medio del fondo móvil fm (fig. 102), porque el mercurio sube ó baja, segun que se dan vueltas al tornillo v en uno ú otro sentido.

El tubo de metal que cubre el tubo de vidrio, está hendido por sus dos lados hacia la parte superior, y lleva divisiones que se cuentan de la misma estremidad de la punta, de modo que basta dirigir por las dos hendiduras un rayo visual, que pase por la superficie de la columna y se verá qué division corresponde. Para evitar los errores que se podrian cometer apartándose algo de la línea horizontal, hay una corredera c que resbala sobre el tubo de metal, la que no está hendida mas que en una pequeña parte de su longitud; la hendidura que está delante y la que está detras, terminan por dos plomos del mismo nivel, perpendicularmente á la longitud del tubo. Se baja la corredera hasta que el rayo visual que pasa por estos planos, pase tambien por el vértice de la columna: entonces basta ver á que division del tubo corresponden los planos, lo que es muy fácil, porque forman el *cero* del *vernier* de la corredera. De este modo se puede obtener la altura del barómetro á menos de $\frac{1}{20}$ de milímetro.

75. *Variaciones del barómetro.*—Nada sabemos de lo que pasa en las altas regiones de aire: aqui en la superficie de la tierra, observamos variaciones de temperatura unas veces periódicas, otras bruscas é inesperadas. Observamos los vientos y las tempestades, pero no podemos juzgar de los sacudimientos atmosféricos, sino hasta la altura que la agitacion de las nubes nos permite observar. Por medio del barómetro sabemos lo que pasa en toda la altura de la atmósfera; porque cada instante nos da el peso de la columna de aire; y es exactamente, como si tuviésemos toda esta columna en equilibrio en una balanza.

Se presume bien segun esto, que en un mismo lugar el barómetro no queda estacionario en el curso de un año, y que esperimenta variaciones mas ó menos considerables: en efecto, en Paris por ejemplo, casi no hay dia en que no cambie muchos milímetros. En general, se distinguen dos clases de variaciones en el barómetro; las variaciones *accidentales*, y las variaciones *horarias*. Estas se reproducen muy regularmente, en horas señaladas, y son de una magnitud constante; las otras sobrevienen irregularmente; sin que se pueda prever su época, ni estension; pero para apreciarlas es necesario saber desde luego lo que se llama altura media del barómetro.

76. *Alturas medias.* Como las variaciones nunca son muy prontas, si se observase el barómetro de hora en hora, veinte y cuatro veces al dia, si se sumasen las observaciones de las veinte y cuatro horas y se tomase la vigésima cuarta parte, se tendria la *altura media del dia* con mucha exactitud; porque se tendria el mismo resultado que si se hubiese observado cada media hora ó aun de minuto en minuto. Pero se concibe que si fuesen esencialmente necesarias las veinte y cuatro observaciones, para tener la altura media del dia, desesperariamos de llegar á obtenerla, por grande que fuera su importancia. ¿Qué observador podria sujetarse durante años enteros á una regularidad tan minuciosa y mecánica?

Felizmente M. Ramond ha hecho ver, por una larga série de esperiencias, que existe una hora del dia en que la altura del barómetro es sensiblemente, la altura media del dia: esta hora es en nuestros climas, la del medio dia. Asi no es preciso hacer veinte y cuatro observaciones en el dia; hágase una sola con exactitud en la hora del medio dia, y se tendrá la altura que se busca. Se concibe que sumando las treinta alturas medias de los treinta dias del mes, y tomando la trigésima parte de la suma, se tendrá la *altura media del mes;* y haciendo lo mismo con las doce medias de los doce meses, se obtendrá en fin la *altura media del año.*

M. Ramond, ha demostrado aún que en nuestros climas, el curioso fenómeno de las variaciones horarias no puede conocerse, ni medirse exactamente, á no ser que se determinen tambien las medias mensuales y anuales, que corresponden á ciertas horas del dia. Por este motivo los observadores que q. van concurrir de un modo útil al progreso de la ciencia, deben observar regularmente el barómetro cuatro veces al dia, y en las horas precisas de 9 de la mañana, medio dia, 3 de la tarde, y 9 de la noche.

En Paris la altura media, no es la misma todos los años; pero las variaciones que esperimenta son muy limitadas; desde 1816 hasta 1835, la mayor diferencia no pasa de cuatro milímetros, y la altura media, en general, es poco mas ó menos 756 milímetros.

77. *Variaciones accidentales.*—En nuestros climas y particularmente en las regiones septentrionales, el barómetro está en oscilacion continua pasando ó bajando de la altura media del año, y algunas veces esperimenta sacudimientos casi súbitos que le hacen subir ó bajar muchos centímetros. En Paris en su mayor elevacion, ha llegado una vez á 781 milímetros, y en su mayor depresion ha bajado una vez á 719; y cosa digna de notarse, estos *maximum* de elevacion y depresion, han tenido lugar en el mismo año, en Febrero y en Diciembre de 1821.

Las variaciones del barómetro indican una mutacion presente en la atmósfera; muchas personas juzgan que anuncian una mutacion futura, y que basta saber consultar bien el barómetro, para pronosticar con seguridad la lluvia ó el buen tiempo muchos dias antes: esta es una cuestion de meteorologia que examinaremos despues. Pero por ahora, daremos la medida de otro efecto, es decir, de la diferencia de presiones que esperimentamos por las variaciones barométricas. Estas presiones se deducen del cuadro que sigue.

Altura del Barómetro en milímetros.	Presion sobre un metro cuadrado en kilógramos.	Altura del Barómetro en milímetros.	Presion sobre un metro cuadrado en kilógramos.	Altura del Barómetro en milímetros.	Presion sobre un metro cuadrado en kilógramos.
500^{mm}	6792^{k}	600^{mm}	8152^{k}	700^{mm}	9510^{k}
510	6929	610	8287	710	9646
520	7065	620	8423	720	9782
530	7201	630	8559	730	9918
540	7336	640	8905	740	10054
550	7472	650	8831	750	10189
560	7608	660	8967	760	10325
570	7744	670	9105	770	10461
580	7880	680	9638	780	10597
590	8016	690	9734	790	10733

Se ve que estando el barómetro en 780 milímetros, una superficie de un metro cuadrado sostiene 10597 kilógramos, cuando el barómetro baja hasta 720. Así siendo á poca diferencia, la superficie entera de nuestro cuerpo de un metro cuadrado, nos hemos descargado en estas circunstancias del peso de 815 kilógramos. Una causa tan poderosa, ejerce necesariamente un influjo sobre las funciones fisiológicas, y particularmente sobre los fenómenos de la respiracion y de la circulacion, pero estos efectos son en general tan complicados, que serán menester sin duda largas esperiencias, para llegar á deducirlos.

La altura de 609 milímetros es á poca diferencia, la que tiene el Monte de oro y la parada de posta del Monte-cenis. Un viagero que sale del nivel del mar para elevarse sobre estos montes; y está descargado de un peso de 2173 kilógramos, lo está, de 3339 kilógramos, cuando llega á un lugar en que el barómetro señale solo 500 milímetros. Esta es á poca diferencia la altura ordinaria en la cúspide del Etna, y en el Monte-Líbano. Se sabe todo lo que los viageros cuentan de las sensaciones estraordinarias que se esperimentan en las altas montañas, en que el barómetro no señala mas que 400 ó 500 milímetros. Se ve por todas partes un inmenso horizonte, parece que nos descargamos de un pesado fardo, no respiramos mas que un aire puro y ligero, y parece en efecto, que ya no se toca la tierra.

Las variaciones accidentales del barómetro no tienen la misma estension en todos los climas, ni en todas las alturas; los límites dentro de los que se efectúan están en general tanto mas apartados el uno del otro, cuanto la latitud es mayor. Desde 1690 el Padre De Béze habia reconocido que en Pondicheri y en Batabia el barómetro queda inmóvil, cualesquiera que sean las tempestades que se esperimenten. Legentil habia confirmado estas observaciones, y en el dia está bien demostrado, que en toda la zona ecuatoral, el barómetro es en efecto insensible á los sacudimientos atmosféricos, pero que esperimenta no obstante, variaciones periódicas y regulares, que se llaman variaciones horarias.

78. *Variaciones horarias.* En el año de 1722 las *variaciones horarias* del barómetro fueron confirmadas de un modo positivo, por las observaciones de un Holandés cuyo nombre queda incógnito. Despues de esta época muchos observadores han procurado determinar su estension y sus periodos en diferentes lugares de la tierra. M. de Humboldt ha demostrado por una larga série de observaciones muy preciosas, que en el ecuador el *máximum* de altura corresponde á las nueve de la mañana: pasadas las 9 el barómetro desciende

hasta las 4 ó 4 y media de la tarde, horas en que llega á su *minimum*, despues vuelve á subir hasta las 11 de la noche en que llega á un segundo *máximum*, y vuelve en fin á bajar hasta las 4 de la mañana. Así cada dia pasa por los dos *minimum* de las 4 de la mañana y 4 de la tarde, y por los dos *máximum* de las 9 de la mañana y 11 de la noche. Los movimientos de presion y de ascension son tan regulares, que podrian servir para señalar las horas, como los movimientos del relox: solo sí, tienen poca amplitud; porque se efectuan en una longitud que M. Humboldt valúa en dos milímetros, desde el punto mas elevado de la mañana, hasta el mas bajo de la tarde.

En nuestros climas, estas variaciones horarias están de tal modo disimuladas por las variaciones accidentales, que seria menester para descubrirlas y para medirlas, toda la sagacidad y precision de un observador como M. Ramond. Solo por medio de muchos meses de observaciones hechas con mucha exactitud y en horas convenientes, se pueden hallar los periodos horarios. M. Ramond ha reconocido que sus épocas varian con las estaciones. En invierno el *máximum* es á las 9 de la mañana, el *minimum* á las 3 de la tarde y el segundo *máximum* á las 9 de la noche.

En verano, el *máximum* sucede antes de las 8 de la mañana, el *minimum* á las 4 de la tarde, el segundo *máximum* á las 11 de la noche.

En primavera y en otoño las horas *críticas* son intermediarias, y aproximándose mas ó menos las del verano ó á las del invierno. La estension absoluta de las variaciones es un poco menor que en el ecuador. En las latitudes mas elevadas es menester comparar y discutir un mayor número de observaciones, para poner en claro los periodos horarios, y sobre este punto tiene aun la ciencia mucho que desear.

79. Ley de *Mariotte*.—La ley de Mariotte es la ley de la compresibilidad de los fluidos elásticos; pueden enunciarse así: *Los volúmenes de los gases están en razon inversa de las presiones que sostienen.* Para demostrar esperimentalmente esta verdad fundamental, se toma un tubo curvo (fig. 105) cuyo brazo pequeño es cilíndrico y cerrado, por su estremo superior, mientras que el brazo largo queda abierto para recibir la presion atmosférica. Se echa en él mercurio al principio en poca cantidad, despues inclinando un poco el tubo para hacer salir un poco de aire del brazo corto, se llega fácilmente á poner el mercurio al mismo nivel en los dos lados. Entonces el aire encerrado en el espacio ab se halla exactamente la presion atmosférica; y si partiendo de este punto se le obliga á encerrarse en la mitad, el tercio ú el cuarto de la longitud ab, se habrá reducido su volúmen á la mitad al tercio ó al cuarto; porque el tubo es cilíndrico. Para reducir así el volúmen, se echa mercurio en el brazo abierto hasta que el vértice de la pequeña columna haya llegado al punto m, mitad de la longitud ab; este punto m y el punto n que le corresponde en el brazo grande, sostiene la misma presion; pues que están en el mismo nivel: esta presion es de dos atmósferas porque se compone del peso de la columna ns, que se halla siempre igual en altura á la columna barométrica, y de la misma presion atmosférica, que se ejerce aun sobre el vértice de la columna. Luego ha sido necesaria una presion doble, para reducir á la mitad el volúmen del aire, contenida en el brazo pequeño. Dando al aparato un brazo abierto mucho mas largo, se demuestra del mismo modo, que es menester una presion de tres atmósferas para reducirle al cuarto de lo que era bajo una sola presion atmosférica. En estos límites esta ley se aplica á todos los gases. Pero MM. Arago y Dulong han demostrado que se aplica al aire, sin variacion alguna hasta 27 atmósferas. He aquí los medios que han empleado para confirmar esta verdad.

Los aparatos estaban establecidos en el colegio de Enrique IV, en una torre vieja cuadrada, en cuyo centro se pudo elevar fácilmente un mástil de madera, de mas de treinta metros de altura. En el pié del mástil habia un vaso de bronce con un manómetro y una bomba compresiva, y junto al mástil un tubo vertical de vidrio de 26 metros de longitud, (éste se componia de 13 tubos de 2 metros unidos por sus estremos).

Se puede formar idea de esta disposicion atendiendo á las *figuras* 111, 112, y 113, lámina 2.ª

v es el vaso de bronce vaciado.

p la bomba comprimente.

mn el manómetro, cerrado por su parte superior.

t el tubo vertical abierto por arriba.

a el mástil junto al que el tubo se eleva.

Si se supone 1.° que el vaso de hierro fundido contiene mercurio; 2.° que el tubo del manómetro esté graduado y contenga aire seco; 3.°, que el mercurio se eleve á la misma altura en el tubo del manómetro, y en el tubo vertical t, es evidente que el aire estará encerrado bajo la presion atmosférica, y se conocerá el volúmen que ocupa bajo esta presion. Entre tanto, si partiendo de este punto se hace obrar la bomba compresiva para introducir agua sobre la superficie superior del mercurio en el vaso de hierro fundido, se ejercerán así presiones siempre crecientes sobre el aire seco del manómetro y al mismo tiempo el mercurio se elevará sucesivamente en el tubo vertical. En fin, para obtener en cada instante el volúmen de aire comprimido, bastará observar exactamente la longitud que ocupa aun el tubo del manómetro, partiendo del estremo cerrado; y para obtener la presion correspondiente, bastará medir la diferencia de niveles del mercurio, en el tubo del manómetro y en el tubo vertical.

Se concibe fácilmente que esperimentos de esta naturaleza, exigen toda la habilidad de que MM. Arago y Dulong han dado tantas pruebas, por sus bellos descubrimientos en todos los ramos de la física. Nos seria imposible el describir aquí con todas sus circunstancias, la perfeccion con que las diferentes piezas del aparato fueron coordinadas y todas las ingeniosas precauciones que se tomaron para asegurar la exactitud de los resultados. Se indicarán solo algunas de las disposiciones mas esenciales de la bomba comprimente, del tubo vertical y del manómetro.

Bomba comprimente. No era solo necesario que la bomba comprimente estuviese muy bien hecha para inyectar el agua, bajo una presion de 27 atmósferas; era ademas preciso que pudiese mantenerla una vez inyectada, para que los vértices de las columnas de mercurio estuviesen perfectamente fijos en el manómetro y en el tubo vertical. Esta condicion estaba satisfecha por medio de la válvula b que se halla debajo del espacio que recorre el émbolo (fig. 113.)

Tubo vertical.—Este se componia de 13 tubos de cristal que tenian dos metros de longitud, 5 milímetros de diámetro interior, y 5 milímetros de espesor. Estos tubos estaban reunidos por fuertes birolas, como se ve en c, (fig. 113) y mas circunstanciadamente en la *figura* 111. La plancha horizontal h sirve de señal, hay otra semejante en la parte interior de cada tubo y se mide la distancia de las dos señales consecutivas, poniendo una regla dividida r sobre la señal inferior é impeliendo una pequeña lengüeta l, hasta que se halle igual con la señal superior. Para que los tubos inferiores no estuviesen demasiado cargados, y como comprimidos por el peso de los tubos superiores, se tuvo cuidado de atar en el estremo superior de cada tubo, cordones que bajaban verticalmente despues de pasar por unas poleas, los que eran tirados hácia abajo por pesos iguales al del tubo (fig. 113). Así la columna no ejercia presion alguna sobre su base.

Manómetro.—El tubo manométrico era parecido á los tubos de la columna vertical; solo sí habia sido afilado en su estremo superior, graduado con cuidado, sin señalar nada con el diamante en su superficie, á fin de no debilitar su resistencia, y en seguida ajustado sobre la platina e del vaso de bronce, entonces se hizo pasar por él durante mucho tiempo, una corriente de aire seco, y en fin se cerró en la lámpara su cúspide afilada, sin hacer esperimentar alteracion sensible á su graduacion. Se ve en la *figura* 112 cómo el estremo inferior del tubo manométrico está ajustado sobre la platina e del vaso de hierro fundido: se ha de notar que la birola se encorva bajo el espesor del tubo á fin de que la presion no tienda á levantarla. A fin de que el aire del manómetro se conservase en la misma temperatura, se le puso una cubierta de vidrio k por la que pasaba continuamente una corriente de agua. En fin, para ver con mucha exactitud la posicion del vértice de la columna de mercurio, se puso dentro de la cubierta k un mirador x con una lente; esta pieza debia subir y bajar, y se le daban estos movimientos, por medio de un torniquete q, en que estaba envuelto un hilo de seda que iba á pasar por las poleas superiores y, por la polea inferior z, y que venia á unirse al mirador.

Termómetros convenientemente dispuestos daban cada instante la temperatura de las diferentes partes del aparato, y dos barómetros el uno superior y el otro inferior, daban asimismo la presion atmosférica en lo alto y en la base de la columna vertical.

Tales son los medios que sirvieron para demostrar en el aire la ley de Mariotte hasta 27 atmóseras, y no se puede dudar que se estienda á lo menos hasta 30 atmósferas, sin alteracion sensible. No habiendo podido MM. Arago y Dulong esperimentar los otros gases, yo he construido un aparato para comparar su compresibilidad con la del aire, hasta 100 atmósferas (fig. 147. bis).

Estando la densidad de un cuerpo en razon inversa del volúmen que ocupa, se puede aun espresar la ley de Mariotte diciendo, que *las densidades de los gases son proporcionales á las presiones que sostienen*. Siendo la densidad del aire, bajo una sola presion atmosférica, poco mas ó menos la 770ª parte de le densidad del agua, resulta que bajo una presion de 770 atmósferas, el aire es tan denso como el agua. Así en el fondo del mar á una profundidad de 770 veces 10 metros, ó 7700 que son cerca de dos leguas, el aire seria mas pesado que el agua, y aunque en estado gaseoso, no podria elevarse para venir á la superficie.

Los dos volúmenes sucesivos ocupados por un gas, y las dos presiones correspondientes, forman cuatro cantidades que están en proporcion inversa, de tal modo que dadas tres de ellas, se puede hallar la cuarta. Sucederia lo mismo con dos densidades sucesivas ó los dos volúmenes ó las dos presiones correspondientes.

De la máquina pneumática. La máquina *pneumática* está destinada á hacer el vacío. Se compone de dos cuerpos cilíndricos de bomba, semejantes al que está representado en a (figura 106).

b es un èmbolo que sube y baja por medio de la varilla c, pero en todas posiciones *mantiene el vacío*, es decir, que nada puede pasar entre su contorno y las paredes del cuerpo de bomba.

s es la válvula del èmbolo, es muy ligera y se abre de abajo arriba; se eleva cuando la presion inferior es un poco mayor que la presion superior, y en el caso contrario queda herméticamente cerrada.

La larga espiga ed es la válvula del cuerpo de bomba; el èmbolo la abre y cierra; cuando éste sube la levanta; la parte gruesa d de su varilla viene á apoyar contra la plancha superior del cuerpo de bomba, y el èmbolo resbala con rozamiento duro, sobre toda la longitud de la espiga: cuando desciende, la trae consigo; el tronco del cono e, cae en la abertura cónica que está debajo; su base no hace mas que un solo plano con el fondo del cuerpo de bomba, y el èmbolo viene á aplicarse exactamente sobre este plano.

En el fondo de la abertura cònica tiene su origen el *conducto* de la máquina: este se estiende en seguida hasta v; en este estremo lleva un paso de tornillo propio para recibir globos, recipientes y otros vasos en los que se quiera hacer el vacío.

p es la *platina* de la máquina pneumàtica; se compone de una fuerte plancha de metal encima de la que se pega un disco de vidrio grueso, cuya superficie superior está nivelada con cuidado y ligeramente pulida.

h es una *campana* en la que se hace el vacío; su borde inferior está tambien nivelado y pulido, á fin de que pueda aplicarse exactamente sobre la platina. Una capa ligera de sebo acaba de establecer la adherencia; porque es necesario que el aire esterior no pueda entrar por entre la campana y la platina.

Supongamos que el èmbolo esté en medio de su camino, que las válvulas estén abiertas, y que el aire esté bajo la presion atmosférica en la campana, en el conducto, y en el cuerpo de bomba: si se baja el èmbolo, la segunda válvula se cierra y el aire no puede volver á pasar del cuerpo de bomba á la campana; se escapa por la primera válvula, y no queda nada, cuando el èmbolo ha llegado á aplicarse sobre el fondo del cuerpo de bomba. Entonces levantándose el èmbolo, se haria el vacío, si las válvulas quedasen cerradas; pero la segunda válvula se abre, el aire de la campana entra para llenar el vacío, y la primera válvula queda cerrada à medida que el èmbolo se eleva; porque la presion interior es siempre menor que la esterior. Si la capacidad del cuerpo de bomba es, por ejemplo, la décima parte de la capacidad de la campana, y del conducto, entrará en el cuerpo de bomba $\frac{1}{11}$ del aire que es menester quitar para obtener el vacío. Se vuelve á bajar el èmbolo, se cierra la segunda válvula, y el aire se comprime mas y mas; bien pronto su elasticidad se aventaja á la del aire esterior, levanta la primera vàlvula y se escapa en la atmósfera.

Otro golpe de èmbolo hace salir aun $\frac{1}{11}$ del aire que queda, despues continuando en juego alternativo, se hace salir cada golpe $\frac{1}{11}$ de lo que queda, despues $\frac{1}{11}$ del resto, y así sucesivamente, por lo que se ve que jamas se podrá hacer el vacío; porque tomando la undécima parte de una cantidad y la undécima parte de los resíduos sucesivos, no se puede jamas llegar á tomar esta cantidad por entero. Pero, con todo, se puede llegar á reducir el aire de la campana á una elasticidad mas y mas débil, que puede llegar á no ser mas que de dos milímetros. La rapidez de la operacion depende de la relacion que hay entre la capacidad del cuerpo de bomba y la de la campana. Dada esta relacion se puede calcular fácilmente cuàntos golpes de èmbolo se necesitan para reducir el aire á una tension dada; y despues se puede por la ley de Mariotte, calcular el peso del aire que queda, cuando se conoce el peso del volúmen primitivo.

Para completar la máquina pneumática que acabamos de describir, y que es, en cierto modo, la máquina reducida á sus mas simples elementos, se vé que es necesario agregar un medio de medir la presion del aire que queda en la campana, y un modo de hacerle entrar de nuevo, sin lo cual la campana no podria separarse de la platina. Se obtienen estos dos resultados ajustando á la máquina la probeta y la llave.

La probeta v (fig. 106) se compone de un tubo curvo de vidrio en forma de U, y de una pequeña campana en que está contenido. El tubo está representado aparte (fig. 115); está abierto por una sola estremidad; se le fija sobre una escala dividida en milímetros, y la campana bajo la que está encerrado, tiene una llave r (fig. 106), por medio de la cual puede ponerse en comunicacion con los conductos de la máquina. Cuando se halla establecida esta comunicacion, el aire se enrarece uniformemente bajo la campana de la platina y la de la probeta. El tubo en forma de U viene á ser un barómetro de sifon, cuyo brazo abierto es tan largo, como el cerrado; luego que el aire está un poco enrarecido, el barómetro desciende, es decir, que el mercurio baja en el brazo cerrado, y se eleva en el brazo abierto; la diferencia de niveles mide como siempre, la elasticidad del gas. Si se llegara á hacer completamente el vacío, los dos vértices de las columnas de mercurio en el brazo cerrado y en el abierto, estarian exactamente al mismo nivel; si en un brazo se eleva un milímetro sobre el segundo, el vacío se hace á un milímetro, es decir, que la elasticidad del gas que ha quedado es de un milímetro de mercurio etc.

Se concibe que si el barómetro, que constituye la probeta, no estuviera absolutamente purgado de aire, el nivel del mercurio en el brazo cerrado, hecho el vacío, estaria mas bajo que el del brazo abierto, y todas las indicaciones de la probeta serian falsas desde el principio de la esperiencia.

En lugar de tomar por probeta un barómetro entero, se toma ordinariamente un *barómetro truncado*, como el de la fig. 106; pero siempre se pueden aplicar exactamente los mismos raciocinios que acabamos de hacer, solo que en este caso, la probeta no comienza á descender hasta que la elasticidad del aire de la campana es menor, que la distancia que hay entre el vértice del brazo cerrado y el nivel del mercurio en el brazo abierto.

Cuando se hace entrar de nuevo el aire, como vamos á ver, el mercurio vuelve á subir en el brazo cerrado de la probeta, y para que no la rompa chocando contra el vértice con violencia, se hace en la parte superior una pequeña cintura que retarde la velocidad.

La *llave* sirve para hacer entrar el aire; y ademas para establecer ó suprimir la comunicacion entre el cuerpo de bomba y la campana, se coloca en y (fig. 106), y está representada aparte un poco mas arriba de la campana. Esta llave se distingue de las ordinarias, en que no solo tiene una abertura *transversal*, sino tambien otra *longitudinal*, que parte de la estremidad misma y asoma sobre la zona de la primera. Esta abertura se cierra con el tapon cónico b. Cuando se quiere conservar el vacío bajo la campana, se voltea la llave, para que la abertura transversal quede vertical, y la longitudinal, del lado del cuerpo de bomba. Toda comunicacion queda interceptada de este modo. Cuando se quiere hacer entrar el aire, se da media vuelta á la llave, se quita el tapon b, y el aire se precipita en el conducto y en la campana.

La máquina pneumática, tal cual se habia construido por Fortin, está representada (fig. 107); segun lo que acabamos de decir, á primera vista se puede comprender su disposicion. Debe notarse solamente, que de lo alto del conducto vertical que sostiene la plancha p, nace un conducto horizontal que comunica con un tubo barométrico t sumergido por su estremo inferior en la cubeta v. Este tubo sirve de probeta; en los esperimentos delicados debe ser preferido á la probeta ordinaria de que hemos hablado mas arriba; porque es de temerse siempre, que no esté bien purgada de aire.

Los dos émbolos dentados movidos á vaiven, por la manecilla m, ofrecen tambien una ventaja: para levantar un émbolo de un decímetro de rádio, cuando está hecho el vacío, seria menester un esfuerzo de $314 \times 1^{k}, 033 = 324^{k}$; pero por medio de dos émbolos, asegurados por el piñon, que engrana en las dos láminas dentadas, desaparece este esfuerzo, puesto que el uno baja mientras que el otro sube, y ya no hay que vencer mas que los rozamientos.

Se debe á M. Babinet una perfeccion ingeniosa de esta máquina, representada (fig. 108) con que puede hacerse el vacío á menos de un milímetro. La llave r colocada entre los dos cuerpos de bomba y un poco abajo de su fondo, tiene cuatro agujeros s, t, v, u. El primero y el segundo pasan de un lado á otro y son perpendiculares entre sí; el tercero v no atraviesa mas que la mitad de la llave, y el cuarto u que está en sentido de su longitud, comunica con los agujeros t y v. En el fondo del cuerpo de bomba a, está un conducto curvo que nace del agujero de la válvula cónica, y que llega hasta b y c en la cavidad de la llave r; en el fondo del cuerpo de bomba d, se encuentran dos conductos uno que nace del agujero de la válvula cónica y llega hasta e, el otro que nace del fondo del cuerpo de bomba y llega hasta g. En la posicion que representa la figura, levantando el émbolo a, se hace el vacío á la vez bajo la campana, por medio del conducto ux, y bajo el émbolo d, por medio del conducto gsc; por consiguiente el equilibrio de tension se establece entre el cuerpo de bomba d y la campana; pero si se da un cuarto de vuelta á la llave r, los agujeros c y g se cierran, el conducto t se presenta delante de los agujeros b y c, y la máquina funciona como de ordinario. Así dando á la llave r la primera posicion, cuando el émbolo de a se eleva, y la segunda, cuando desciende, se ha de hacer el vacío mas perfecto que con la máquina ordinaria.

La máquina pneumática fué inventada hácia 1650 por Otto de Guericke, burgomaestre de Magdebourg: poco tiempo despues fué mudada y perfeccionada por un gran número de físicos. Hook colocó el cuerpo de bomba verticalmente; Papin añadió la platina, Hawksbee puso dos cuerpos de bomba en lugar de uno, y despues fueron modificadas las válvulas de una infinidad de modos.

Otto de Guericke hizo con su máquina el esperimento curioso de los *Hemisferios de Magdebourg*, que consiste en hacer el vacío en un globo de metal, cuyas dos mitades están simplemente *juxta-puestas*. Antes que el vacío esté hecho, los dos *hemisferios* se separan fácilmente; pero cuando ya no tienen aire interior para contrarrestar la presion esterior, la adherencia es tan fuerte, que toda la fuerza de un hombre es insuficiente para separarles. En efecto, si la seccion de los hemisferios tiene solo 1 decímetro de rádio ó cerca de 300 centímetros cuadrados de superficie, la presion esterior que les une, equivale á mas de 300 kilógramos. Se pone un cerco de cuero en la juntura de los hemisferios, para favorecer el contacto, y hay una llave que se abre para hacer el vacío, y se cierra para impedir que el aire vuelva á entrar (fig. 122).

Nos servimos de la máquina pneumática para hacer una multitud de esperimentos sobre las presiones y sobre las propiedades de los cuerpos orgánicos é inorgánicos.

Se demuestra, por ejemplo, que los cuerpos en combustion se apagan en el vacío, que el humo cae como una masa pesada, que hay aire en disolucion en el agua, que queda una capa de aire entre los líquidos y las paredes de los vasos que les contienen; porque esta capa interpuesta se manifiesta por una multitud de pequeñas burbujas de aire, que van engrosando á medida que la presion disminuye; que el agua fria entra en ebullicion, que ciertos insectos viven muchos dias en el vacío mas perfecto de la máquina; que las substancias fermentables se conservan sin alteracion, etc. etc. En esta propiedad estriba el procedimiento de M. Appert para conservar las substancias alimenticias. Este procedimiento que se ejecuta en grande en la mayor parte de los puertos de Francia y de Inglaterra, presta los mayores servicios á la marina; hemos abierto cajas cerradas 16 años antes, que contenian alimentos tan frescos como el primer dia.

81. *Máquina de compresion.*—La máquina de compresion (fig. 109), está destinada á comprimir el aire: se compone de dos cuerpos de bomba semejantes á los de la máquina pneumática; la única diferencia consiste en las válvulas, que se abren en sentido contrario, es decir, de *arriba á abajo*. Cuando se baja el émbolo, comprime el aire y le hace pasar al recipiente: cuando se levanta, el aire esterior abre la primera válvula y entra en el cuerpo de bomba, mientras que el aire comprimido en el recipiente, aprieta la segunda válvula y la mantiene cerrada: en fin, cuando se vuelve á bajar el émbolo, la primera válvula se cierra, el aire se comprime mas y mas, adquiere fuerza para abrir la segunda válvula, y pasa aun al recipiente, y así sucesivamente.

La *probeta* de la máquina de compresion es un tubo recto, cerrado en su vértice, lleno de aire y sumergido por su parte inferior en una cubeta de mercurio. Al principio del esperimento, el aire del tubo se halla bajo una presion atmosférica, y el mercurio está al mismo nivel en el interior y el esterior; á medida que la presion aumenta, el mercurio sube en el tubo, el volúmen del aire se reduce sucesivamente á la mitad, al tercio, ó al cuarto de lo que era, y segun la ley de Mariotte, se juzga que se halla bajo una presion de dos, tres ó cuatro atmósferas. En el recipiente la presion del aire es tanto mayor que en el tubo, cuanto es la altura de la columna de mercurio que está encima del nivel esterior.

82. *Hay bombas de compresion* propias para atornillarse en diferentes aparatos, y comprimir en ellos el aire; en este caso se componen simplemente de un cuerpo de bomba y de un émbolo sin válvula. La figura 116, representa una de estas disposiciones; con este aparato se pueden hacer en pequeña cantidad, las aguas de Seltz: v es el receptáculo lleno, casi todo de agua, en donde se debe echar ácido carbónico; en la parte superior tiene una llave con la que se cierra un tubo sumergido casi hasta el fondo del receptáculo; sobre la llave está un paso de tornillo para recibir la bomba de compresion. El cuerpo de esta bomba tiene en su parte inferior, una válvula que se abre de arriba abajo, y al lado tiene otra, que se abre de fuera adentro. Este tubo lateral es el que se pone en comunicacion con el receptáculo del gas, ó simplemente con una vejiga que se llena sucesivamente. Cuando el émbolo se levanta, aspira el gas; cuando desciende, le comprime; y si la bomba está bien hecha, lo hace forzar la válvula del fondo para pasar al receptáculo inferior.

83. *Medida de las presiones del gas contenido en diferentes aparatos.*—Se miden en general las presiones de los gases por dos medios; por columnas líquidas, ó por válvulas. Los aparatos de columna líquida se llaman *manómetros*, las válvulas se llaman en general, *válvulas de presion*, y *válvulas de seguridad*, cuando están destinadas á impedir las esplosiones.

Válvulas de presion.—Estas válvulas son indefinidamente variables en sus formas, y en sus dimensiones. Unas veces tienen la forma de un cono truncado (fig. 10 a y b); otras son un simple plano, que se adapta exactamente sobre las paredes de la abertura (fig. c). En todos casos, deben cerrar herméticamente hasta el instante en que son elevadas. Para estimar la elasticidad del gas que es capaz de levantarlas, es menester conocer dos cosas: 1.° el peso total que carga sobre la válvula; 2.° la estension de la superficie, que está espuesta á la presion vertical del gas. Supongamos que el peso esté valuado en kilógramos, y que la estension de la superficie comprimida, esté valuada en centímetros cuadrados. Si el peso es, por ejemplo, de 100 kilógramos, y la superficie de 25 centímetros, cada centímetro cuadrado soportará 4 kilógramos: luego conforme á lo que se ha visto, (69) el número de atmósferas es igual á $\frac{4}{1{,}033}$ ó $3^{at}, 87$ mas la presion atmosférica ordinaria, que se ejerce tambien sobre la válvula. Este mismo medio se aplica á los líquidos, como á los gases; es el que se emplea para probar los tubos de conduccion, y las calderas de las máquinas de vapor.

Si en general, se representa por s, la superficie de la válvula, en que se ejerce la presion, por p el peso que carga sobre ella, comprendido su propio peso, la presion sobre la unidad de superficie es $\frac{p}{s}$, y el número de atmósferas es,

$$\frac{p}{s.1^{k},033},$$

con tal que p, se esprese en kilógramos y s, en centímetros cuadrados.

Algunas veces, en lugar de espresar esta presion en atmósferas, se puede espresar en columna líquida: entonces se la obtiene por medio de la fórmula (68)

$$\frac{p}{s} = h.\pi.d, \text{ de donde, } h = \frac{p}{s.\pi.d}.$$

Si p se espresa en kilógramos, y s en centímetros cuadrados, se tendrá $\pi = 0^{k}.001$, y el valor de h se espresará en centímetros; d es siempre la densidad del líquido, con respecto al agua.

La incertidumbre que puede haber en las determinaciones de esta especie, resulta principalmente de las dificultades que se presentan, para obtener el verdadero valor de s. En efecto, cuando la válvula es cónica, si está mal redondeada la superficie que recibe la presion, no es la de la base menor del cono, y acaso ni la de la base mayor, y es necesario tomar por s una superficie intermediaria, cuya magnitud se determine aproximativamente.

En cuanto al valor de p, se obtiene fácilmente si el peso está puesto sobre la misma válvula; pero si, como sucede frecuentemente, su esfuerzo se ejerce á la estremidad de una palanca, (fig. 110. a), se determina por esta proporcion.

$$\frac{x}{p}=\frac{b}{b'},$$

siendo b y b' los brazos de palanca del peso p y de la válvula, es decir, las perpendiculares bajadas del punto fijo sobre la vertical del punto de que está suspendido el peso, y sobre la del punto que carga sobre la cabeza de la válvula.

Manómetros.—El nombre de manómetro se habia dado por Varignon á un aparato que él destinaba á medir el enrarecimiento del aire. En el dia se llama *manómetro* todo aparato de columna líquida, propio para medir presiones. El barómetro mide la presion libre de la atmósfera; el *manómetro* mide la presion de los fluidos contenidos en espacios cerrados. La probeta de la máquina pneumática, y la de la máquina de compresion, son verdaderos manómetros. No obstante se pueden establecer algunas distinciones en los aparatos de esta especie.

La figura 124 representa un manómetro, por medio del cual se mide la tension de los gases contenidos en el globo b. Ha sido empleado por Saussurre, y despues por Berthollet en las importantes indagaciones que han hecho ámbos sobre la vegetacion, y sobre los fenómenos de los cuerpos vivientes. Los animales y las plantas estaban encerrados en el recipiente b.

Los tubos de seguridad son manómetros que indican la tension de los gases contenidos en los aparatos á que están adaptados. Cuando la tension es igual á la presion atmosférica, el líquido se halla en el mismo nivel en los dos brazos. (fig. 114); y en general la diferencia de niveles mide la diferencia de presiones. Basta conocer la densidad del líquido contenido en el tubo, para valuar esta diferencia de presion en milímetros de mercurio.

Los tubos de seguridad han sido inventados por Welter, son de grande uso en química, porque impiden las *esplosiones* y la *absorcion*. Cuando la presion interior llega á ser demasiado débil, el aire atmosférico rechaza el líquido á la esfera y penetra el aparato; al contrario cuando es demasiado fuerte, repele la columna líquida, y halla salida por el tubo. Cuando las presiones han de ser muy fuertes se emplea un manómetro análogo al de la máquina de compresion.

84. *Escopeta de viento* (fig. 117, 118, 119 y 120). Basta nombrar este aparato para que se acierte con su mecanismo. La culata contiene un receptáculo con válvula, en el que el aire se comprime hasta ocho ó diez atmósferas; por medio de la bomba representada (fig. 120), esta bomba de compresion es un simple tubo con un émbolo, que se atornilla sobre el receptáculo, y que tiene en la otra estremidad uno ó dos agujeros a, que el émbolo cierra, cuando se aproxima al fondo. Poniendo los piés sobre el atravesaño del cabo del émbolo, es fácil la maniobra: por la resistencia que el émbolo esperimenta cuando va llegando al fondo, se juzga del grado de tension, con que el aire interior repele la válvula. Cuando el receptáculo está cargado, se le añade un cañon que recibe el proyectil y dirige su movimiento. Se mueve un fiador que comprime la válvula; sale el aire con violencia, arroja la bala, y la válvula se cierra al instante. Se pueden disparar sucesivamente mas ó menos tiros, segun que el receptáculo es mayor ó menor. La escopeta de viento puede arrojar la bala con tanta velocidad, como el fusil de pólvora. Este efecto no se produce sin ruido, y sin luz. El aire comprimido quedando libre súbitamente, hace una esplosion semejante á la del rompe-vejiga; y en la estremidad del cañon se ve salir una llama producida por la frotacion del polvo menudo y sólido que el aire encuentra, ó que lleva consigo; porque parece que en un aire muy puro no hay llama perceptible.

CAPITULO VII.

Del equilibrio de los cuerpos flotantes y de los cuerpos sumergidos en los fluidos.

85. Se ven cuerpos pesados que se mueven en sentido contrario de su gravedad: el corcho, la madera, y otros muchos cuerpos, suben cuando están sumergidos en el agua; el hierro sube del mismo modo cuando está sumergido en mercurio;

el humo se eleva en el aire, las nubes quedan suspendidas en la atmósfera, á poca diferencia como los barcos quedan flotantes en la superficie de las aguas. Todos estos fenómenos, así como los de la aereostática y de la ascension de los globos, dependen de un solo principio que se llama el *principio de Arquímedes;* porque Arquímedes es su inventor. Con motivo de este descubrimiento, se dice que se apoderó de él una alegría tal, que salió del baño y corrió las calles de Syracusa gritando: *lo he hallado, lo he hallado.*

86. El principio de Arquímedes puede enunciarse del modo siguiente: *un cuerpo sumergido en un fluido, pierde en él una parte de su peso igual al peso del fluido desalojado.*

Para tener una idea de este principio general, concibamos un grande vaso lleno de agua, y dentro del agua un cubo cuyas caras, superior é inferior, sean horizontales. Es evidente, conforme á los principios de hidrostática: 1.°, que las presiones laterales son iguales y contrarias, y que se destruyen mútuamente; 2.°, que la cara superior sostiene de *arriba abajo* una presion igual al peso de la columna líquida que descansa en ella; 3.°, que la cara inferior sostiene de *abajo arriba* una presion igual al peso de la columna líquida, que descansaria en ella, si el mismo cubo fuese de agua. Esta segunda presion es mayor que la primera, tanto cuanto es el peso de la columna líquida que desaloja el cubo, por lo que el cubo es repelido hácia arriba, con una fuerza igual á este exceso de presion: luego al fin pierde una parte de su peso, igual al peso del volúmen de líquido que ha desalojado. La presion de abajo arriba menos la de arriba abajo, es lo que se llama el *impulso del fluido.* Así un cuerpo sumergido, está sujeto á dos fuerzas contrarias; á su peso que tiende á hacerle descender, y al impulso del fluido que tiende á hacerle subir. Si estas dos fuerzas son iguales, el cuerpo queda en equilibrio; ha perdido todo su peso. Si el impulso del fluido es mayor, el cuerpo es repelido hasta la superficie: en fin, si es menor, el cuerpo cae al fondo del vaso. Esta proposicion puede demostrarse directamente por medio de la *balanza hidrostática*, que no es otra cosa, que la balanza ordinaria destinada á pesar los cuerpos, primero en el aire, y despues sumergiéndoles en el fluido; c (fig. 123), es un cilindro hueco de cobre, cuya capacidad puede llenar exactamente el cilindro macizo p. Se ponen juntos en uno de los platillos de la balanza, suspendiéndolos por unos ganchos, quedando abajo el cilindro macizo; y en el otro platillo, se ponen pesos d para establecer el equilibrio. Hecho esto, se pone la balanza en reposo, despues por medio de dos tornillos $b\,b'$, que están en el pié de la balanza, y de una dentadura interior, se hace descender el fiel y todo el sistema, hasta que el cilindro macizo p se sumerge completamente en el vaso de agua v, que está abajo. Entonces dejando libre el fiel, se vé que no hay equilibrio entre los dos platillos; el cilindro macizo no es ya tan pesado; sumergido en el líquido ha perdido ya parte de su peso. Para demostrar ahora, que la parte de peso perdida es exactamente igual al peso del líquido desalojado, se echa agua en el cilindro hueco, cuya capacidad es igual á la del líquido desalojado, y el equilibrio se restablece perfectamente.

Hé aquí otra demostracion del principio de Arquímedes, que es del todo independiente de la forma del cuerpo sumergido.

En el interior de la masa fluida concibamos un volúmen cualquiera, una esfera, por ejemplo, que tenga un metro de rádio. Imaginemos que las moléculas de agua que se hallan actualmente comprendidas en este volúmen, se hielen por un momento, es decir, que formen una esfera sólida, en lugar de una esfera líquida; pero que en el acto de la congelacion, no sean alejadas ni aproximadas la una á la otra, y que conserven exactamente sus posiciones y sus distancias. Es evidente que la esfera sólida que resulta, quedará suspendida y en reposo, como lo estaba la esfera líquida; porque la adherencia que acabamos de establecer entre las diferentes moléculas, no puede sostenerlas ni hacerlas caer; nada cambia en las presiones ni en la gravedad. Esta esfera sólida y pesada, ha perdido su peso, pues que no cae, y lo ha perdido, porque está rodeada de un fluido que la comprime por todas partes. Por lo que de la suma de presiones desiguales, que se ejercen en todos los puntos de su superficie, resulta una fuerza única que obra de abajo arriba, y precisamente igual al peso de la esfera entera: este raciocinio se aplica á un cuerpo de cualquiera forma.

Ademas, cualquiera que sea la forma de un cuerpo que se congela, como lo suponemos, una vez helado, se le podria volver de un modo cualquiera alrededor de su centro de gravedad, y en mente de las dificultades que se presentan, para obtener el verdadero valor de s. En efecto, cuando la válvula es cónica, si está mal redondeada la superficie que recibe la presion, no es la de la base menor del cono, y acaso ni la de la base mayor, y es necesario tomar por s una superficie intermediaria, cuya magnitud se determine aproximativamente.

En cuanto al valor de p, se obtiene fácilmente si el peso está puesto sobre la misma válvula; pero si, como sucede frecuentemente, su esfuerzo se ejerce á la estremidad de una palanca, (fig. 110. a), se determina por esta proporcion.

$$\frac{x}{p}=\frac{b}{b'},$$

siendo b y b' los brazos de palanca del peso p y de la válvula, es decir, las perpendiculares bajadas del punto fijo sobre la vertical del punto de que está suspendido el peso, y sobre la del punto que carga sobre la cabeza de la válvula.

Manómetros.—El nombre de manómetro se habia dado por Varignon á un aparato que él destinaba á medir el enrarecimiento del aire. En el dia se llama *manómetro* todo aparato de columna líquida, propio para medir presiones. El barómetro mide la presion libre de la atmósfera; el *manómetro* mide la presion de los fluidos contenidos en espacios cerrados. La probeta de la máquina pneumática, y la de la máquina de compresion, son verdaderos manómetros. No obstante se pueden establecer algunas distinciones en los aparatos de esta especie.

La figura 124 representa un manómetro, por medio del cual se mide la tension de los gases contenidos en el globo b. Ha sido empleado por Saussurre, y despues por Berthollet en las importantes indagaciones que han hecho ámbos sobre la vegetacion, y sobre los fenómenos de los cuerpos vivientes. Los animales y las plantas estaban encerrados en el recipiente b.

Los tubos de seguridad son manómetros que indican la tension de los gases contenidos en los aparatos á que están adaptados. Cuando la tension es igual á la presion atmosférica, el líquido se halla en el mismo nivel en los dos brazos. (fig. 114); y en general la diferencia de niveles mide la diferencia de presiones. Basta conocer la densidad del líquido contenido en el tubo, para valuar esta diferencia de presion en milímetros de mercurio.

Los tubos de seguridad han sido inventados por Welter, son de grande uso en química, porque impiden las *esplosiones* y la *absorcion*. Cuando la presion interior llega á ser demasiado débil, el aire atmosférico rechaza el líquido á la esfera y penetra el aparato: al contrario cuando es demasiado fuerte, repele la columna líquida, y halla salida por el tubo. Cuando las presiones han de ser muy fuertes se emplea un manómetro análogo al de la máquina de compresion.

84. *Escopeta de viento* (fig. 117, 118, 119 y 120). Basta nombrar este aparato para que se acierte con su mecanismo. La culata contiene un receptáculo con válvula, en el que el aire se comprime hasta ocho ó diez atmósferas; por medio de la bomba representada (fig. 120), esta bomba de compresion es un simple tubo con un émbolo, que se atornilla sobre el receptáculo, y que tiene en la otra estremidad uno ó dos agujeros a, que el émbolo cierra, cuando se aproxima al fondo. Poniendo los piés sobre el atravesaño del cabo del émbolo, es fácil la maniobra: por la resistencia que el émbolo esperimenta cuando va llegando al fondo, se juzga del grado de tension, con que el aire interior repele la válvula. Cuando el receptáculo está cargado, se le añade un cañon que recibe el proyectil y dirige su movimiento. Se mueve un fiador que comprime la válvula; sale el aire con violencia, arroja la bala, y la válvula se cierra al instante. Se pueden disparar sucesivamente mas ó menos tiros, segun que el receptáculo es mayor ó menor. La escopeta de viento puede arrojar la bala con tanta velocidad, como el fusil de pólvora. Este efecto no se produce sin ruido, y sin luz. El aire comprimido quedando libre súbitamente, hace una esplosion semejante á la del rompe-vejiga; y en la estremidad del cañon se ve salir una llama producida por la frotacion del polvo menudo y sólido que el aire encuentra, ó que lleva consigo; porque parece que en un aire muy puro no hay llama perceptible.

CAPITULO VII.

Del equilibrio de los cuerpos flotantes y de los cuerpos sumergidos en los fluidos.

85. Se ven cuerpos pesados que se mueven en sentido contrario de su gravedad: el corcho, la madera, y otros muchos cuerpos, suben cuando están sumergidos en el agua; el hierro sube del mismo modo cuando está sumergido en mercurio; el humo se eleva en el aire, las nubes quedan suspendidas en la atmósfera, á poca diferencia como los barcos quedan flotantes en la superficie de las aguas. Todos estos fenómenos, así como los de la aereostática y de la ascension de los globos, dependen de un solo principio que se llama el *principio de Arquímedes;* porque Arquímedes es su inventor. Con motivo de este descubrimiento, se dice que se apoderó de él una alegría tal, que salió del baño y corrió las calles de Syracusa gritando: *lo he hallado, lo he hallado.*

86. El principio de Arquímedes puede enunciarse del modo siguiente: *un cuerpo sumergido en un fluido, pierde en él una parte de su peso igual al peso del fluido desalojado.*

Para tener una idea de este principio general, concibamos un grande vaso lleno de agua, y dentro del agua un cubo cuyas caras, superior é inferior, sean horizontales. Es evidente, conforme á los principios de hidrostática: 1.°, que las presiones laterales son iguales y contrarias, y que se destruyen mútuamente; 2.°, que la cara superior sostiene de *arriba abajo* una presion igual al peso de la columna líquida que descansa en ella; 3.°, que la cara inferior sostiene de *abajo arriba* una presion igual al peso de la columna líquida, que descansaria en ella, si el mismo cubo fuese de agua. Esta segunda presion es mayor que la primera, tanto cuanto es el peso de la columna líquida que desaloja el cubo, por lo que el cubo es repelido hácia arriba, con una fuerza igual á este exceso de presion: luego al fin pierde una parte de su peso, igual al peso del volúmen de líquido que ha desalojado. La presion de abajo arriba menos la de arriba abajo, es lo que se llama el *impulso del fluido*. Así un cuerpo sumergido, está sujeto á dos fuerzas contrarias; á su peso que tiende á hacerle descender, y al impulso del fluido que tiende á hacerle subir. Si estas dos fuerzas son iguales, el cuerpo queda en equilibrio; ha perdido todo su peso. Si el impulso del fluido es mayor, el cuerpo es repelido hasta la superficie: en fin, si es menor, el cuerpo cae al fondo del vaso. Esta proposicion puede demostrarse directamente por medio de la *balanza hidrostática*, que no es otra cosa, que la balanza ordinaria destinada á pesar los cuerpos, primero en el aire, y despues sumergiéndoles en el fluido; c (fig. 123), es un cilindro hueco de cobre, cuya capacidad puede llenar exactamente el cilindro macizo p. Se ponen juntos en uno de los platillos de la balanza, suspendiéndolos por unos ganchos, quedando abajo el cilindro macizo; y en el otro platillo, se ponen pesos d para establecer el equilibrio. Hecho esto, se pone la balanza en reposo, despues por medio de dos tornillos $b\ b'$, que están en el pié de la balanza, y de una dentadura interior, se hace descender el fiel y todo el sistema, hasta que el cilindro macizo p se sumerge completamente en el vaso de agua v, que está abajo. Entonces dejando libre el fiel, se vé que no hay equilibrio entre los dos platillos; el cilindro macizo no es ya tan pesado; sumergido en el líquido ha perdido ya parte de su peso. Para demostrar ahora, que la parte de peso perdida es exactamente igual al peso del líquido desalojado, se echa agua en el cilindro hueco, cuya capacidad es igual á la del líquido desalojado, y el equilibrio se restablece perfectamente.

Hé aquí otra demostracion del principio de Arquímedes, que es del todo independiente de la forma del cuerpo sumergido.

En el interior de la masa fluida concibamos un volúmen cualquiera, una esfera, por ejemplo, que tenga un metro de rádio. Imaginemos que las moléculas de agua que se hallan actualmente comprendidas en este volúmen, se hielen por un momento, es decir, que formen una esfera sólida, en lugar de una esfera líquida; pero que en el acto de la congelacion, no sean alejadas ni aproximadas la una á la otra, y que conserven exactamente sus posiciones y sus distancias. Es evidente que la esfera sólida que resulta, quedará suspendida y en reposo, como lo estaba la esfera líquida; por que la adherencia que acabamos de establecer entre las diferentes moléculas, no puede sostenerlas ni hacerlas caer; nada cambia en las presiones ni en la gravedad. Esta esfera sólida y pesada, ha perdido su peso, pues que no cae, y lo ha perdido, porque está rodeada de un fluido que la comprime por todas partes. Por lo que de la suma de presiones desiguales, que se ejercen en todos los puntos de su superficie, resulta una fuerza única que obra de abajo arriba, y precisamente igual al peso de la esfera entera: este raciocinio se aplica á un cuerpo de cualquiera forma.

Ademas, cualquiera que sea la forma de un cuerpo que se congela, como lo suponemos, una vez helado, se le podria volver de un modo cualquiera alrededor de su centro de gravedad, y en todas las posiciones quedaria en equilibrio. Luego la fuerza de abajo arriba, ó el empuje del fluido, es una fuerza que tiene su punto de aplicacion en el centro de gravedad del fluido congelado; este punto se llama *centro de presion*.

Si en lugar de la misma substancia fluida, que suponemos congelada, imaginamos en lo interior del fluido un cuerpo estraño de cualquiera substancia, de corcho, de mármol ó de hierro, es evidente que soportaria de parte del fluido que le rodea, las mismas presiones que una masa helada, que tuviese la misma figura que él. Luego el empuje del fluido y el centro de presion, no dependen sino de la cantidad y figura del líquido desalojado, sin depender en manera alguna, de la substancia que desaloja el líquido.

Así un cuerpo sumergido en un fluido, está siempre sometido á dos fuerzas, cuyas magnitudes, direcciones y puntos de aplicacion, conocemos. La primera de estas fuerzas es el peso del cuerpo, obra de arriba abajo, y está aplicada en el centro de gravedad de su masa; la segunda es el empuje del fluido, que obra de abajo arriba, y está aplicado en el centro de gravedad del fluido desalojado: de aquí resultan condiciones de las de equilibrio, su estabilidad ó inestabilidad, que vamos á determinar.

87. *Condiciones de equilibrio de los cuerpos sumergidos.* Hay dos condiciones que deben llenarse, para que un cuerpo esté en equilibrio en medio de un fluido; es menester: 1.°, que el peso del cuerpo sea igual al peso del fluido desalojado: 2.°, que el centro de gravedad del cuerpo y del fluido desalojado, se hallen en una misma vertical. Estas condiciones se deducen de lo que precede; pero las podemos hacer aun mas sensibles por medio de un ejemplo; *lspn* (fig. 123, *a*) es una esfera compuesta de dos partes, la una *lsn* de corcho, y la otra *spn* de plomo. Su centro de gravedad se halla en *g*, y su peso es precisamente igual al peso del agua que puede desalojar. Si se pone en el agua de modo que su seccion *sn* esté vertical (fig. *b*), quedará sujeta á dos fuerzas paralelas, iguales y contrarias que formarán *un par*, á saber: á su peso *gu* y al empuje del fluido *cf*, y el equilibrio no tendrá lugar, sino cuando el par se haya volteado, con el centro de gravedad *g* hácia abajo, como en la fig. *a*, ó hácia arriba, como en la fig. *c*. En el primer caso, el equilibrio es estable, y es inestable en el segundo.

Cuando el cuerpo es homogéneo, su centro de gravedad coincide con el de presion, y solo falta que llenar la primera condicion de equilibrio. Puédese tambien espresar de otra manera, diciendo que el cuerpo y el fluido que le rodea, deben tener la misma densidad. Una bola de cera queda suspendida en medio del agua; cae en el alcohol, y sobrenada en el mercurio, porque su densidad es á poca diferencia, igual á la del agua, mayor que la del alcohol, y mucho menor que la del mercurio.

Los peces parecen hallarse en equilibrio en el agua en que viven; porque pueden sostenerse en reposo en ella, sin ser arrastrados por su peso, ni repelidos por el empuje del líquido. Así un pescado pesa precisamente, tanto como el agua que desaloja; pesa un kilógramo, si desaloja un litro, y mil kilógramos, si desaloja mil litros, ó un metro cúbico. Una ballena de 20 metros de longitud, desaloja cerca de 300 metros cúbicos, y pesa por consiguiente 300 mil kilógramos y aun un poco mas; porque el agua del mar pesa un poco mas que el agua dulce.

Si es necesario que los peces estén en equilibrio, para no estar condenados á sostenerse por un movimiento continuo encima de las profundidades del mar, es tambien necesario que su equilibrio no sea inestable ni indiferente, y satisface á esta condicion un órgano particular, que sirve tambien para otros usos; porque en la organizacion de los séres, no hay una sola pieza que sirva solo para un fin. Este órgano es la vejiga natatoria. Tiene diferentes formas en las diversas especies; pero está siempre colocada para aligerar las partes que están encima de él, y para dejar mas peso á las inferiores. De este modo el centro de gravedad del cuerpo, está mas bajo que el centro de presion, y la condicion de estabilidad se ha llenado. Segun las curiosas observaciones de M. Biot, el gas de la vejiga natatoria no es aire atmosférico; es azote casi puro en los individuos que viven cerca de la superficie, y se compone de cerca de 0.3 de oxígeno, y 0,1 de azote en los que viven en las profundidades de 1000 ó 1200 metros. A 8 ó 9000 metros de profundidad, estos gases serian tan densos como el agua, y las vejigas natatorias serian inútiles para el equilibrio.

Parece que los peces se sirven tambien de su vejiga natatoria para ejecutar movimientos de arriba abajo, ó de abajo arriba, que no ejecutan,

sino con muchísima dificultad por medio de sus aletas. Basta para esto que puedan contraerla, ó hincharla arbitrariamente: en el primer caso quedando el peso el mismo y haciéndose menor su volúmen, se hacen mas densas que el agua y bajan; al contrario, en el segundo caso suben como el corcho.

Con todo, este fenómeno no es tan simple como se imagina al principio. Un pescado en medio del agua no puede hincharse, como un mamífero que detiene su aliento. Aquel no encuentra aire que aspirar ó arrojar; estos movimientos los debe ejecutar con la misma cantidad de gas. Es menester, pues, que por una accion voluntaria, el gas sea siempre mas comprimido, de lo que lo seria por el fluido que le rodea; y que una energía, mayor ó menor en la accion comprimente, le dé siempre un mayor ó menor volúmen. Este efecto se ha hecho sensible por medio del aparato de la *figura* 121 que se llama un *ludion*. El ludion *l* sube ó baja segun que se levanta, ó se comprime la membrana *ab* que cierra el vaso, porque el aire que contiene, recibe la presion del líquido que le rodea, por medio de un agujero *v*; cuando se comprime la membrana *ab*, todo el líquido del vaso se comprime algo mas, entra el ludion y disminuye el volúmen del aire; al contrario, cuando se levanta la membrana, el líquido está menos comprimido, la fuerza espansiva del aire del ludion, arroja el líquido, le hace salir en parte por la abertura *v*, el aire adquiere mayor volúmen, y el ludion sube porque se hace mas ligero.

En los peces que se cogen en la profundidad de mil metros, el gas de la vejiga natatoria se halla en una presion de agua, igual á cien atmósferas; llegado á la superficie, tiende á tomar un volúmen cien veces mayor; así se observa que todo el esfuerzo muscular no basta para contenerle, se escapa impeliendo todos los órganos vecinos, y particularmente la membrana del estómago, la que está entonces de tal modo tendida y dilatada, que viene á formar fuera del cuello una especie de bolsa muy singular. De aquí se puede inferir, que las regiones del mar tienen sus pueblos diferentes, no solo segun los climas, sino tambien segun las profundidades.

87. *bis. Condiciones del equilibrio en los cuerpos flotantes.*—Hay dos condiciones de equilibrio para los cuerpos flotantes, como para los cuerpos sumergidos; y estas condiciones son las mismas, y solo la condicion de estabilidad es diferente. Un navío, por ejemplo, que pesa un millon de kilógramos, no se halla en equilibrio, sino cuando desaloja mil metros cúbicos de agua que pesan como él un millon de kilógramos, y cuando su centro de gravedad y el centro de presion del agua se hallen en la misma vertical. Pero para la estabilidad no es necesario que el centro de gravedad se halle debajo del centro de presion, basta solo que se halle debajo de otro punto que se llama *metacentro*, cuya determinacion pertenece á la mecánica. La posicion del metacentro depende de la forma del bajel; la del centro de gravedad depende de la distribucion de la carga, y de su distancia relativa depende la rapidez de las oscilaciones. Por esta y otras muchas razones: en la carga de los buques hay un arte particular, en distribuir convenientemente los pesos.

88. *De los aerostatas.* El principio de Arquimedes es tan verdadero para los gases, como para los líquidos. Los cuerpos sumergidos en los gases pierden una parte de su peso, igual al peso del volúmen del gas que desalojan. Si el aire atmosférico fuere muy pesado; si pesase, por ejemplo, dos ó tres veces tanto como el agua, la mayor parte de los cuerpos terrestres serian levantados por el empuje del fluido; y nosotros mismos seriamos llevados por el aire, como el corcho es llevado por el agua. Pero el aire es tan ligero, hace perder á los cuerpos tan poco peso, que fué menester un grande atrevimiento de ingenio para concebir la posibilidad de elevarse en la atmósfera, de sostenerse en ella en equilibrio, y de navegar libremente, como se navega por el mar.

Este maravilloso descubrimiento se debe á los hermanos Montgolfier. Habian anunciado que una grande máquina de su invencion habia de recorrer la atmósfera: se hizo la esperiencia en Annonay el 5 de Junio de 1783, en presencia de los estados generales y de un concurso inmenso de pueblo: se vió entonces efectivamente un espectáculo nuevo en la tierra, y muy digno de excitar el entusiasmo. Un globo inmenso que se elevaba magestuosamente por los aires, y que parecia sostenerse en ellos por algun poder invisible. Esta especie de prodigio es no obstante muy fácil de comprender. La *Montgolfiere*, porque así es como se llama esta especie de aparatos, la Montgolfiere se compone de un globo de papel barnizado, ó de tafetan, que tiene en su parte inferior una abertura de algunos piés cuadrados. Debajo de esta abertura, y á alguna distancia, está suspendida una cesta ligera de hilo de metal, que contiene un cuerpo combustible, paja picada, lana, papel, ó una esponja empapada en el alcohol. Este combustible una vez inflamado, calienta el aire que sube por sí mismo, penetra el globo, y llena luego toda su capacidad. En igualdad de volúmen, el aire caliente pesa menos que el aire frio; así el peso del globo es menor que el peso del aire que desaloja, y debe elevarse por el exceso de fuerza del empuje del fluido. Se eleva llevando consigo el combustible inflamado que produce su poder ascensional, y para que se detenga, es menester que llegue á capas de aire bastante enrarecidas, para que la diferencia de los pesos del aire frio desalojado, y del aire caliente interior, sea cabalmente igual al peso del globo, del cesto y del combustible que contiene.

Un físico célebre, Charles, entonces jóven y profesor en Paris, tuvo la feliz idea de reemplazar el aire caliente con el gas inflamable, que se llama en el dia *hidrógeno;* cuya estrema ligereza habia dado á conocer Cavendish desde el año de 1766. El hidrógeno es mas de catorce veces mas ligero que el aire; porque su densidad es 0,0688, tomando la del aire por unidad. Un centímetro cúbico de aire pesa $0^k,001299075$, y $1000^{m.c.}$ pesan $1299^k,075$, al paso que $1000^{m.c.}$ de hidrógeno no pesan mas que 89^k760. La diferencia es $1209^k,699$. Así un globo de 1000 metros cúbicos, lleno de hidrógeno, puede levantar un peso de 1209^k699. Un globo de 500 metros cúbicos no podria levantar mas que $604^k,849$ (1). Un globo de esta magnitud hizo construir Charles, y para demostrar la confianza que debia inspirar su descubrimiento, emprendió con Robert aquel famoso viage en que se elevó en pocos minutos á la altura de mas de 1000 metros, y corrió en esta region de la atmósfera, mas de nueve leguas en el espacio de dos horas. Charles hizo su ascension en medio de las Tullerías; toda la poblacion de Paris estaba en movimiento las plazas públicas, los altos de los edificios y todos los lugares elevados estaban cubiertos de espectadores; un tiro de cañon fué la señal de la partida y luego se vió subir el globo, como un meteoro que se eleva sobre el horizonte: en lo mas alto de los aires se distinguian aun las banderolas flotantes iluminadas por el sol, y los navegantes tranquilos que saludaban la tierra. Jamas una esperiencia de física excitó tanta admiracion, ni tal concierto de aplausos.

Charles no podia dejar de tener imitadores, y los tuvo en efecto en todos los paises sábios. Pero entre todos los viages aerostáticos, que se emprendieron para indagaciones científicas, se distinguen los que se hicieron en Francia en 1804 por MM. Gay-Lussac, y Biot. En la primera ascension estos dos físicos habiendo llegado á la altura de 4000 metros, hicieron esperimentos importantes sobre el estado eléctrico, y la temperatura de las altas regiones. En la segunda ascen-

---

(1) El cálculo aproximativo para la elevacion de los globos en la atmósfera, es el siguiente. Sea U el volúmen del globo inflado, v el de la barquilla, D, D' las densidades del hidrógeno y del aire bajo la presion barométrica $0,^m 76$, H la presion barométrica correspondiente á la altura Z; y P el peso de la cubierta v de la barquilla. Supongamos ademas que la temperatura no varia sensiblemente en el tránsito del aeróstato, será $UD.\frac{H}{0,76}$ el peso del hidrógeno que inflama el globo, y $(U+v.)\frac{D'H}{0,76}$, el de aire desalojado por el aparato á la altura Z. En caso de equilibrio á la altura Z, será $UD.\frac{H}{0,76}=P+(U+v)D'.\frac{H}{0,76}$, y $vD'.\frac{H}{0,76}+U.\frac{H}{0,76}\left(D'-D\right)-P=0$. Esta fórmula dará H; Z se deducirá por la fórmula dada para encontrar la altura de un punto, al fin de la nota sobre la altura de la atmósfera. Si se dá Z, se inferirá H, y $\frac{HU}{0,76}$ será la cantidad de hidrógeno, que es menester introducir en el globo en el momento de partir, suponiendo la presion á 0,76. En cualquiera parte de la atmósfera, fuera de la capa en que pudiera quedar en equilibrio, tendrá el globo que subir ó bajar con movimiento acelerado: sea h la altura barométrica correspondiente á una altura cualquiera z; el volúmen del globo será en esta altura $\frac{HU}{h}$: el hidrógeno dijimos que pesaba $UD.\frac{H}{0,76}$; el peso del aire desalojado, será en el caso presente $\left(\frac{UH}{h}+v\right)\frac{D'h}{0,76}$. Segun esto haciendo lo que en el caso anterior, será $\left(U.\frac{H}{h}+v.\right)\frac{D'h}{0,76}-DU.\frac{H}{0,76}-P$, ó $\frac{HU.}{0,76}\left(D'-D\right)-P+vD'\frac{H}{0,76}=$ á la fuerza motriz ascensional F, que será igual á $\frac{D}{0,76}\left(h-H\right)$; si h es mayor que H, $z<Z$; si $h>H$, $z>Z$ y descenderá el globo. Dijimos que el globo debe subir y bajar con movimiento acelerado; pero la resistencia del aire obrando como una fuerza retardatriz, puede hacerlo visiblemente uniforme.

sion, M. Gay-Lussac solo, se elevó á la altura de 7000 metros, la mayor á que el hombre haya jamas llegado. Los Sres. de Humboldt, y Romplant se han elevado á 6100 metros sobre el Chimborazo, mas arriba del volcan de Cotopaxi. En esta grande altura se esperimenta un frio muy vivo, el termómetro de M. Gay-Lussac descendió 10° bajo el hielo, al paso que en la superficie de la tierra señalaba 30° de calor. La sequedad del aire es tan grande, y los cuerpos higrométicos pierden tan rápidamente su humedad, que se les ve destorcerse, y doblarse en todos sentidos. El cielo se ve de un azul muy obscuro y mezclado de un tinte negro. Suspendido en medio de estos espacios en un aire tan enrarecido á una tan grande distancia de la tierra y de todos los cuerpos resistentes, ningun ruido viene á herir al oido, ningun objeto se presenta á la vista, y se esperimenta entonces un sentimiento de soledad, que solo M. Gay-Lussac puede describir. Despues de una navegacion de seis horas, en la que habia corrido mas de 30 leguas en línea horizontal, M. Gay-Lussac, descendió lentamente y volvió á hallar la tierra en las inmediaciones de Rouen. En su lugar se dirán los resultados con que se ha enriquecido la ciencia, por este memorable viage.

CAPITULO VIII.

Principios de Hidrodinámica.

89. La *hidrodinámica* considerada de un modo general, abraza todo lo que es relativo al movimiento de los fluidos, y forma por consiguiente, uno de los ramos mas importantes de la mecánica racional. Pero en algunos casos particulares, los movimientos de los líquidos están sujetos á leyes bastante simples para ser directamente verificadas por esperimentos, y solo bajo este punto de vista, puramente esperimental vamos á indicar los principios de la hidrodinámica, y la construccion de algunas máquinas que dependen de ella.

90 *Condicion del derrame de los líquidos, y Teorema de Torricelli.*—Las paredes de los vasos que contienen líquidos, soportan generalmente dos presiones opuestas (fig. 130): la una que se ejerce de dentro á fuera y que repele la pared, la otra que se ejerce de fuera á dentro, que tiende á hundirla. La primera es la suma de las presiones debidas á la columna líquida, que se eleva encima del punto de la pared que se considera, y al peso que esta misma columna puede soportar en su parte superior: la segunda es la presion atmosférica, ó mas generalmente, la presion del medio que rodea el vaso. Cuando se hace una abertura en el fondo, ó en la pared lateral, el líquido contenido en esta abertura soporta la misma presion que la pared cuyo lugar ocupa; por consiguiente la sola condicion necesaria para que mane, es que la presion interior que tiende á producir el derrame, sea mayor que la presion esterior que tiende á impedirlo. Esta verdad, puede, por otra parte, ser demostrada por medio del esperimento que sigue. Llénese una probeta (fig. 126) de agua, cúbrase su orificio con un disco de papel, vuélvase boca abajo, y la columna líquida queda suspendida; porque la presion de arriba abajo que se debe al peso del líquido, es menor que la presion de abajo arriba debida al peso de la atmósfera. Si el orificio de la probeta no tuviese mas que dos ó tres milímetros de diámetro, no seria necesario el disco de papel; pero para orificios mayores, el disco de papel impide que la columna se divida, es decir, que el agua se derrame por un lado, mientras el aire entre por el otro.

Cuando el líquido se derrama por un orificio en fuerza del exceso de presion de que se acaba de hablar, la *pérdida*, es decir, el volúmen que mana en un tiempo dado, depende evidentemente de la seccion del orificio, y de la velocidad de que las moléculas líquidas están animadas, en el momento en que pasan por el orificio. Esta velocidad depende á su vez, de la densidad del líquido, del exceso de presion que se ejerce en el orificio, y del rozamiento que el líquido puede esperimentar, en las paredes del vaso, contra los bordes del orificio. Para disminuir el rozamiento, que no es aquí mas que una fuerza perturbatriz, se indagan desde luego las leyes del derrame por orificios en *paredes delgadas*, es decir por orificios hechos en planchas muy delgadas, y ajustadas en vasos de grande dimension, á fin de que el líquido no tenga mas que una velocidad muy corta junto á las paredes del vaso.

Bajo estas condiciones, las leyes del derrame están comprendidas en el teorema siguiente, que se conoce bajo el nombre de Teorema de Torricelli. *Las moléculas, saliendo del orificio, tienen la misma velocidad que si hubiesen cai-*

fiere se compone de un globo de papel barnizado, ó de tafetan, que tiene en su parte inferior una abertura de algunos piés cuadrados. Debajo de esta abertura, y á alguna distancia, está suspendida una cesta ligera de hilo de metal, que contiene un cuerpo combustible, paja picada, lana, papel, ó una esponja empapada en el alcohol. Este combustible una vez inflamado, calienta el aire que sube por sí mismo, penetra el globo, y llena luego toda su capacidad. En igualdad de volúmen, el aire caliente pesa menos que el aire frio; así el peso del globo es menor que el peso del aire que desaloja, y debe elevarse por el exceso de fuerza del empuje del fluido. Se eleva llevando consigo el combustible inflamado que produce su poder ascensional, y para que se detenga, es menester que llegue á capas de aire bastante enrarecidas, para que la diferencia de los pesos del aire frio desalojado, y del aire caliente interior, sea cabalmente igual al peso del globo, del cesto y del combustible que contiene.

Un físico célebre, Charles, entonces jóven y profesor en Paris, tuvo la feliz idea de reemplazar el aire caliente con el gas inflamable, que se llama en el dia *hidrógeno;* cuya estrema ligereza habia dado á conocer Cavendish desde el año de 1766. El hidrógeno es mas de catorce veces mas ligero que el aire; porque su densidad es 0,0688, tomando la del aire por unidad. Un centímetro cúbico de aire pesa $0^{k},001299075$, y $1000^{m.c.}$ pesan $1299^{k},075$, al paso que $1000^{m.c.}$ de hidrógeno no pesan mas que $89^{k}760$. La diferencia es $1209^{k},699$. Así un globo de 1000 metros cúbicos, lleno de hidrógeno, puede levantar un peso de $1209^{k}699$. Un globo de 500 metros cúbicos no podria levantar mas que $604^{k},849$ (1). Un globo de esta magnitud hizo construir Charles, y para demostrar la confianza que debia inspirar su descubrimiento, emprendió con Robert aquel famoso viage en que se elevó en pocos minutos á la altura de mas de 1000 metros, y corrió en esta region de la atmósfera, mas de nueve leguas en el espacio de dos horas. Charles hizo su ascension en medio de las Tullerías; toda la poblacion de Paris estaba en movimiento las plazas públicas, los altos de los edificios y todos los lugares elevados estaban cubiertos de espectadores; un tiro de cañon fué la señal de la partida y luego se vió subir el globo, como un meteoro que se eleva sobre el horizonte: en lo mas alto de los aires se distinguian aun las banderolas flotantes iluminadas por el sol, y los navegantes tranquilos que saludaban la tierra. Jamas una esperiencia de física excitó tanta admiracion, ni tal concierto de aplausos.

Charles no podia dejar de tener imitadores, y los tuvo en efecto en todos los paises sábios. Pero entre todos los viages aerostáticos, que se emprendieron para indagaciones científicas, se distinguen los que se hicieron en Francia en 1804 por MM. Gay-Lussac, y Biot. En la primera ascension estos dos físicos habiendo llegado á la altura de 4000 metros, hicieron esperimentos importantes sobre el estado eléctrico, y la temperatura de las altas regiones. En la segunda ascen-

(1) El cálculo aproximativo para la elevacion de los globos en la atmósfera, es el siguiente. Sea U el volúmen del globo inflado, v el de la barquilla, D, D' las densidades del hidrógeno y del aire bajo la presion barométrica $0,^{m}76$, H la presion barométrica correspondiente á la altura Z; y P el peso de la cubierta v de la barquilla. Supongamos ademas que la temperatura no varia sensiblemente en el tránsito del aeróstato, será $UD.\frac{H}{0,76}$ el peso del hidrógeno que inflama el globo, y $(U+v.)\frac{D'H}{0,76}$, el de aire desalojado por el aparato á la altura Z. En caso de equilibrio á la altura Z, será $UD.\frac{H}{0,76}=P+(U+v)D.'\frac{H}{0,76}$, y $vD.'\frac{H}{0,76}+U.\frac{H}{0,76}\left(D'-D\right)-P=0$. Esta fórmula dará H; Z se deducirá por la fórmula dada para encontrar la altura de un punto, al fin de la nota sobre la altura de la atmósfera. Si se dá Z, se inferirá H, y $\frac{HU}{0,76}$ será la cantidad de hidrógeno, que es menester introducir en el globo en el momento de partir, suponiendo la presion á 0,76. En cualquiera parte de la atmósfera, fuera de la capa en que pudiera quedar en equilibrio, tendrá el globo que subir ó bajar con movimiento acelerado: sea h la altura barométrica correspondiente á una altura cualquiera z; el volúmen del globo será en esta altura $\frac{HU}{h}$: el hidrógeno dijimos que pesaba $UD.\frac{H}{0,76}$; el peso del aire desalojado, será en el caso presente $\left(\frac{UH}{h}+v\right)\frac{D'h}{0,76}$. Segun esto haciendo lo que en el caso anterior, será $\left(U.\frac{H}{h}+v.\right)\frac{D'h}{0,76}-DU.\frac{H}{0,76}-P$, ó $\frac{HU.}{0,76}\left(D'-D\right)-P+vD'\frac{H}{0,76}=$ á la fuerza motriz ascensional F, que será igual á $\frac{D}{0,76}\left(h-H\right)$; si h es mayor que H, $z<Z$; si $h>H$, $z>Z$ y descenderá el globo. Dijimos que el globo debe subir y bajar con movimiento acelerado; pero la resistencia del aire obrando como una fuerza retardatriz, puede hacerlo visiblemente uniforme.

sion, M. Gay-Lussac solo, se elevó á la altura de 7000 metros, la mayor á que el hombre haya jamas llegado. Los Sres. de Humboldt, y Romplant se han elevado á 6100 metros sobre el Chimborazo, mas arriba del volcan de Cotopaxi. En esta grande altura se esperimenta un frio muy vivo, el termómetro de M. Gay-Lussac descendió 10° bajo el hielo, al paso que en la superficie de la tierra señalaba 30° de calor. La sequedad del aire es tan grande, y los cuerpos higrométicos pierden tan rápidamente su humedad, que se les ve destorcerse, y doblarse en todos sentidos. El cielo se ve de un azul muy obscuro y mezclado de un tinte negro. Suspendido en medio de estos espacios en un aire tan enrarecido á una tan grande distancia de la tierra y de todos los cuerpos resistentes, ningun ruido viene á herir al oido, ningun objeto se presenta á la vista, y se esperimenta entonces un sentimiento de soledad, que solo M. Gay-Lussac puede describir. Despues de una navegacion de seis horas, en la que habia corrido mas de 30 leguas en línea horizontal, M. Gay-Lussac, descendió lentamente y volvió á hallar la tierra en las inmediaciones de Rouen. En su lugar se dirán los resultados con que se ha enriquecido la ciencia, por este memorable viage.

CAPITULO VIII.

Principios de Hidrodinámica.

89. La *hidrodinámica* considerada de un modo general, abraza todo lo que es relativo al movimiento de los fluidos, y forma por consiguiente, uno de los ramos mas importantes de la mecánica racional. Pero en algunos casos particulares, los movimientos de los líquidos están sujetos á leyes bastante simples para ser directamente verificadas por esperimentos, y solo bajo este punto de vista, puramente esperimental vamos á indicar los principios de la hidrodinámica, y la construccion de algunas máquinas que dependen de ella.

90 *Condicion del derrame de los líquidos, y Teorema de Torricelli.*—Las paredes de los vasos que contienen líquidos, soportan generalmente dos presiones opuestas (fig. 130): la una que se ejerce de dentro á fuera y que repele la pared, la otra que se ejerce de fuera á dentro, que tiende á hundirla. La primera es la suma de las presiones debidas á la columna liquida, que se eleva encima del punto de la pared que se considera, y al peso que esta misma columna puede soportar en su parte superior: la segunda es la presion atmosférica, ó mas generalmente, la presion del medio que rodea el vaso. Cuando se hace una abertura en el fondo, ó en la pared lateral, el líquido contenido en esta abertura soporta la misma presion que la pared cuyo lugar ocupa; por consiguiente la sola condicion necesaria para que mane, es que la presion interior que tiende á producir el derrame, sea mayor que la presion esterior que tiende á impedirlo. Esta verdad, puede, por otra parte, ser demostrada por medio del esperimento que sigue. Llénese una probeta (fig. 126) de agua, cúbrase su orificio con un disco de papel, vuélvase boca abajo, y la columna líquida queda suspendida; porque la presion de arriba abajo que se debe al peso del líquido, es menor que la presion de abajo arriba debida al peso de la atmósfera. Si el orificio de la probeta no tuviese mas que dos ó tres milímetros de diámetro, no seria necesario el disco de papel; pero para orificios mayores, el disco de papel impide que la columna se divida, es decir, que el agua se derrame por un lado, mientras el aire entre por el otro.

Cuando el líquido se derrama por un orificio en fuerza del exceso de presion de que se acaba de hablar, la *pérdida*, es decir, el volúmen que mana en un tiempo dado, depende evidentemente de la seccion del orificio, y de la velocidad de que las moléculas líquidas están animadas, en el momento en que pasan por el orificio. Esta velocidad depende á su vez, de la densidad del líquido, del exceso de presion que se ejerce en el orificio, y del rozamiento que el líquido puede esperimentar, en las paredes del vaso, contra los bordes del orificio. Para disminuir el rozamiento, que no es aquí mas que una fuerza perturbatriz, se indagan desde luego las leyes del derrame por orificios en *paredes delgadas*, es decir por orificios hechos en planchas muy delgadas, y ajustadas en vasos de grande dimension, á fin de que el líquido no tenga mas que una velocidad muy corta junto á las paredes del vaso.

Bajo estas condiciones, las leyes del derrame están comprendidas en el teorema siguiente, que se conoce bajo el nombre de Teorema de Torricelli. *Las moléculas, saliendo del orificio, tienen la misma velocidad que si hubiesen cai-*

do libremente en el vacio, de una altura igual á la del nivel sobre el centro del orificio. Luego veremos cómo la esperiencia puede verificar esta ley fundamental, y cómo puede verificar tambien las tres consecuencias siguientes, que se deducen de ella.

Primeramente. *La velocidad del derrame no depende mas que de la profundidad del orificio encima del nivel, y de ningun modo de la naturaleza del líquido;* porque todos los cuerpos cayendo de la misma altura en el vacio, adquieren la misma velocidad. Con todo, el mercurio es impelido por una presion mucho mayor que el agua. Siendo la profundidad del orificio, por ejemplo, de (10^m,50), el agua no seria impelida, sino por la presion de una atmósfera, al paso que el mercurio seria impelido por una presion de 13 atmósferas y media.

En segundo lugar. *En un mismo líquido las velocidades del derrame están como las raices cuadradas de las profundidades de los orificios debajo del nivel*; porque las velocidades de los cuerpos pesados están entre sí como las raices cuadradas de las alturas de que han caido. Así en un vaso que tuviese, por ejemplo, 100 metros de altura, si se abriesen dos orificios el uno á 1 metro de profundidad, y el otro en el fondo á 100 metros, la velocidad del líquido que saliese por este último seria solo diez veces mayor, que la del que saliese por el primero. Con todo, la segunda presion seria 100 veces mayor que la primera.

En tercer lugar. *Si la presion que se ejerce en la parte superior de la columna líquida, fuese mayor que la presion esterior que se opone al derrame, este exceso de presion seria equivalente al peso de una columna del mismo líquido de cierta altura; y entonces la velocidad de las moléculas que se derraman, seria la misma que si hubiesen caido del vertice de esta segunda columna, que es menester concebir como añadida encima de la primera.* Sucederia al contrario, si la presion esterior fuese mayor que la presion que se ejerce encima del líquido.

91 *Diferentes modos de obtener una presion constante.* Para verificar las leyes que preceden, de un modo simple y rigoroso, es necesario obtener una velocidad constante en el orificio, y por consiguiente mantener una presion constante sobre el líquido que va manando. Se obtiene esto de diferentes modos; pero indicaremos solo los tres que siguen: el *lleno permanente, el flotante de M. de Prony, y el vaso de Mariotte.*

Lleno permanente. (fig. 127) *r* es un receptáculo alimenticio, *s* una válvula, *t* un tubo, *v* el vaso que contiene el líquido á un nivel permanente ó el orificio, *c* una caja taladrada con pequeños agujeros, y *d* la vertiente por donde sale el agua sobrante. Por la válvula *s* que se levanta mas ó menos, se hace llegar al vaso *r* un poco mas de agua de la que vierte el orificio *o*; la vertiente *d* sirve para evacuar el exceso, el tubo *t* y su caja *c* están destinados á impedir la agitacion que podria producir el agua por su caida; porque los mas ligeros movimientos, aun en la superficie superior, pueden tener influjo sobre la velocidad del orificio.

Flotante de M. Prony. (fig. 132) Este aparato se compone de un vaso de derrame *v*, de una caja flotante *c*, de una caja inferior *c'*, de diferentes varillas *t*, que reunen las dos cajas, y de un embudo *n* destinado á conducir á la caja inferior, todo el líquido que se escapa por el orificio *o*. Si se toman del vaso *v*, por ejemplo, diez litros de agua, y se vierten en la caja *c*, el nivel no se mudará en el vaso *v*; porque habiendo la caja aumentado 10 kilógramos de peso, desaloja 10 litros mas de agua en el vaso *v*. Así el aumento de agua en la caja, hace subir el nivel, tanto como su diminucion lo hace bajar. Pero si se echa agua en la caja inferior *c* se obtendrá el mismo resultado, porque se producirá el mismo peso en el sistema; por lo que para obtener un nivel constante durante el derrame, basta añadir delante del orificio *o* un embudo *n* que lleve á la caja *c* todo el líquido, que se derrame por el orificio *o*.

Vaso de Mariotte. Este aparato está representado (fig. 133 y 184): *t* es un tubo que se puede deslizar por el tapon de la abertura *b*, cuya estremidad inferior es sucesivamente ó bajada al punto *p* debajo del nivel *nv* de la abertura lateral, ó levantando al punto *h* encima del mismo nivel: la abertura lateral es bastante estrecha, á fin de que la columna líquida no pueda dividirse. Hallándose el tubo en *p* (fig. 133), y completamente lleno de agua, asi como el frasco, es claro que el líquido debe vaciarse por el orificio lateral *v*, porque la presion interior se compone de la presion atmosférica que se ejerce en el vértice del

tubo, y de la presion debida al peso de la columna líquida *sn*; mientras que la presion esterior no es mas que la presion atmosférica. Sale el líquido en efecto, y el nivel baja rápidamente en lo interior del tubo, desde el punto *s* hasta el punto *n*, aquí para, y cesa el derrame. El vaso queda lleno, el orificio *v* queda abierto y con todo, no se escapa una gota de líquido. Siendo una misma la presion en el punto *n* que en toda la estension de la capa horizontal *n'nv*, es decir, la presion atmosférica, no hay ya razon para que el líquido se derrame. Sobre otra capa tal como *c' c* la presion no se debe solo al peso de la columna superior, sino que es igual á la presion atmosférica disminuida de la columna *c' n'*. Hágase entre tanto resbalar el tubo para elevarlo hasta el punto *h*; en el mismo instante empieza de nuevo el derrame, se forman burbujas de aire en lo inferior del tubo, se hinchan, se desprenden y suben en hilera á la parte superior del vaso. El derrame continúa de esta suerte con una velocidad constante por todo el tiempo que el nivel del líquido desciende desde lo alto del vaso hasta *h*, porque la presion sobre la capa *n*, *nv* se compone entonces de la presion atmósferica que se ejerce en *h*, y de la presion que se debe al peso de la columna *hn*, presiones que se mantienen constantes una y otra todo el tiempo que tarda en bajar el nivel hasta *h*; desde este instante la velocidad del derrame, disminuye mas y mas, hasta todo el tiempo en que tarda en bajar el nivel del todo nula, cuando el nivel se ha puesto en *n*. El vaso de Mariotte puede presentarse bajo una gran variedad de formas, sea con un orificio lateral para el derrame ó con un orificio horizontal, como lo indica la figura 134.

92. *Verificacion esperimental del Teorema de Torricelli.*—La velocidad *v* de las moléculas que han caido libremente en el vacio, de una altura *h*, está espresada por la fórmula (1)

$$v=\sqrt{2gh},$$

que se deduce de las fórmulas generales del movimiento de los cuerpos pesados (40). Se ha visto ademas (30) que en Paris se tiene $g=9^m,8088$. Así,

$$v=4^m,428\sqrt{h}$$

Tal es pues segun el Teorema de Torricelli, la velocidad que deben tomar las moléculas en el momento en que atraviesan un orificio, cuyo centro está situado á una profundidad *h* debajo del nivel, hallándose *h* espresada en metros. Esta se llama *velocidad teórica*. Para verificar este resultado, basta, pues, disponer un aparato de nivel constante, del que el líquido se derrame por un orificio hecho en pared delgada, de una seccion conocida *s*, y cuyo centro esté á una profundidad conocida *h* bajo el nivel; despues observar la cantidad ó el número de litros que se vacian en un tiempo determinado, por ejemplo en 8' ó 10'. Entonces es fácil deducir la pérdida *d'* en 1'', espresada en metros cúbicos: esta cantidad, ó mas bien este volúmen; puede ser considerado como un cilindro que ha pasado por el orificio, á la manera que un hilo pasa por la hilera: designando pues por *v'* la longitud no conocida de este cilindro, se tendrá.

$$sv'=d, \text{ ó } v'=\frac{d}{s},$$

estando tambien la seccion *s* del orificio, espresada en metros cuadrados, y es evidente que *v'* representa la *velocidad efectiva* de las moléculas líquidas; porque representa el número de metros que estas moléculas corren realmente en 1''. Es, pues, fácil ver si la velocidad efectiva dada por la fórmula

$$v'=\frac{d}{s}$$

es igual á la velocidad teórica dada por la fórmula

$$v=4^m,429\sqrt{h}.$$

Se han hecho esperimentos comparativos sobre este objeto por un gran número de observadores, y todos los resultados conducen á esta consecuencia, que en el mismo orificio, la velocidad efectiva es solamente cerca de los dos tercios de la velocidad teórica. Así el Teorema de Torricelli, fundado por otra parte en consideraciones mecánicas muy simples, pareceria á primera vista que no es confirmado por la esperiencia. Pero se llega no obstante, á conciliar los resultados: basta para esto tener cuidado en la *contraccion de la vena fluida*. Se observa en efecto, que la vena se contrae desde el instante en que sale del orificio, es

(1) Véase la nota del § 49 no lejos del principio donde dejamos demostrado que en el movimiento uniformemente acelerado $v=\sqrt{2eg}$; pero en el caso $e=h$; luego $v=\sqrt{2hg}$.

decir, que su seccion disminuye rápidamente; de suerte que á una distancia igual con poca diferencia, al diámetro del orificio, su seccion no es ya, sino cerca de dos tercios de la seccion del mismo orificio. Se ha creido por mucho tiempo, que mas allá de este límite la vena volvia á tomar mayor seccion, y que tenia por consiguiente un *máximum de contraccion;* pero M. Savart ha demostrado (*Ann. de fisic. y de quimic. t.* 38, *p.* 337) que no hay máximum de contraccion, sino para las venas lanzadas de abajo arriba, y que en todos los demas casos, la seccion de la vena va siempre disminuyendo desde el orificio hasta el instante en que se desordena y se divide como lo veremos luego; solo sí, la contraccion que es al principio muy rápida, se va haciendo muy débil, desde una distancia igual, poco mas ó menos al diámetro del orificio.

Si pues en lugar de considerar la velocidad de las moléculas fluidas en el mismo orificio, se la considera en la seccion de la vena que se halla á una pequeña distancia, en el punto en que la rápida contraccion se verifica, es evidente que es tanto mayor, cuanto la seccion es mas pequeña, ó en otros términos, que las velocidades están en razon inversa de las secciones; porque es una misma la cantidad de líquido que pasa en el mismo tiempo. Para la seccion de que se trata, es por consiguiente la velocidad efectiva igual á la velocidad teórica.

Una vez demostrado el Teorema de Torricelli, es fácil ver cómo se han de disponer los aparatos para demostrar las tres consecuencias que de él se han deducido, y para hacer ver tambien que el chorro toma una *curvatura parabólica* cuando sale por una abertura lateral, bajo diversas inclinaciones.

93. *Constitucion de la vena fluida.*—Se habia observado mucho tiempo hácia, que una vena fluida se compone siempre de dos partes distintas; la una inmediata al orificio, que es tranquila, trasparente y semejante á una varilla de cristal, la otra mas lejana, que es turbia y como compuesta de gotas interrumpidas; pero se debe á M. Savart un análisis completo y sobre manera notable, de la verdadera constitucion de la vena y de las diferentes apariencias que presenta. Sentimos no poder dar aquí mas que un muy sucinto resúmen de sus bellas observaciones.

La figura 142 representa una vena fluida arrojada de arriba abajo, tal como parece ser cuando se la mira; *an* es la parte fija, *nvv'* es el principio de la parte turbia, que parece componerse de vientres y de nudos alternativos. La figura 143 representa la vena fluida precedente, tal como es en realidad: toda la parte turbia está compuesta de gotas distintas y separadas la una de la otra, siendo los vientres formados por anchas gotas aplastadas horizontalmente, mientras que los nudos están formados por gotas prolongadas en sentido vertical. Como por otra parte, sucede que los vientres y los nudos ocupan posiciones fijas, es indispensable que la misma gota *g* que está aplastada en los vientres, se prolongue cuando llega al punto en que parece el primer nudo *n'*; que de nuevo sea aplastada en el segundo vientre, prolongada en el segundo nudo, etc., es menester por consiguiente, que esperimente vibraciones periódicas perfectamente regulares, que la hagan pasar de la una á la otra de estas formas. Todas las gotas parecen tener el mismo diámetro, y esperimentar las mismas variaciones: parece que entre dos gotas consecutivas existe otra gota mucho mas pequeña, la que por un efecto de la vision, dá á los vientres la apariencia tubular que se observa.

M. Savart ha comprobado tambien que cada gota es producida por una hinchazon anular, que empieza muy cerca del orificio, y que se propaga sobre la parte trasparente de la vena aumentando de volúmen, hasta el momento en que se separa de ella; que hay por consiguiente en el orificio mismo, una sucesion periódica de pulsaciones, y que su número está en razon directa de la velocidad del derrame, y en razon inversa del diámetro del orificio.

Las pulsaciones de que se trata, son bastante rápidas y regulares para dar orígen á un sonido bien caracterizado; y si con una campanilla ú otro instrumento músico, se produce á alguna distancia el mismo sonido, ó un sonido inmediato, se observa una modificacion notable en la vena, aun cuando sea arrojada de abajo arriba (fig. 136, 137); los vientres y los nudos toman mas regularidad, se estienden hasta la parte trasparente, la que se reduce casi á nada; con todo, la pérdida queda constante.

La presencia del aire no tiene influjo alguno sobre la forma y dimensiones de las venas, como tampoco sobre el número de pulsaciones.

Estos resultados se aplican á los chorros lanzados horizontal ú oblicuamente de abajo arriba, con tal que la inclinacion no exceda de 45°; porque en este límite la vena empieza á tener un máximum de contraccion, que se hace mas y mas notable, á medida que el chorro se aproxima á ser vertical.

Cuando los orificios no son circulares, la vena presenta variaciones de forma muy notables, que han sido particularmente estudiadas por MM. Poncelet y Lesbros. Por ejemplo, para un orificio cuadrado de 20 centímetros de lado, las secciones de la vena hechas á distancia de 20, 30 y 40 centímetros, están representadas en la figura 139; el número 1 es el orificio, y los números 2, 3 y 4, son las secciones á 20, 30 y 40 centímetros del orificio. Siendo la pared vertical, la direccion primitiva de la vena era horizontal. El punto *h* designa en todos los casos su parte superior; es fácil coger las formas intermediarias, y representarse el singular relieve de esta vena parabólica.

94. *De los tubos de adicion y de su influjo en el derrame.* Se llaman *tubos de adicion* unos tubos de diversas formas, ó planchas corvas taladradas de diferentes maneras, que se ajustan á los orificios en paredes delgadas, para dar paso al líquido que se derrama.

El tubo de adicion mas simple es el que tiene la forma exacta de la vena, desde el orificio hasta la seccion contraida. Cuando està trabajada con cuidado, y su superficie interior es bien pulida, no ejerce influencia alguna sobre la pérdida.

Una pared curva agujerada, no dà la misma pérdida que una pared plana con un orificio del mismo tamaño que el de la pared curva: dà una pérdida mayor, cuando su concavidad està vuelta hàcia lo interior (fig. 140), y una pérdida menor, cuando està vuelta hàcia lo esterior (fig. 141) (1).

En los *tubos de adicion cilíndricos*, del mismo diámetro que los orificios en paredes delgadas, en que se ajustan, se produce un fenómeno singular. Unas veces la vena fluida queda *libre* y pasa el tubo de adicion sin tocarle, otras se *adhiere* á él y el derrame se hace á *boca llena*, es decir, á *tubo lleno*. En el primer caso, la presencia del tubo de adicion no tiene influjo alguno sobre la velocidad, ni sobre la pérdida; no puede producir efecto alguno, porque no tiene punto alguno de contacto con el líquido. En el segundo caso, la adherencia que se establece entre la superficie de la vena y las paredes del tubo, determina un aumento de velocidad y de pérdida. Esta en el primer caso es á la del segundo, como 100 es á 133, con tal que el diámetro del tubo adicional sea á poca diferencia el cuarto de su longitud. Este fenómeno depende de muchas causas, y particularmente de la presion: bajo débiles cargas, la vena es siempre adherente aunque los tubos de adicion sean muy cortos: bajo grandes presiones, la vena queda libre; y bajo presiones intermedias se puede al arbitrio producir el derrame, quedando la vena libre ó adherente: basta un pequeño obstáculo para producir la adherencia, y algunas veces el menor choque, para que la vena se despegue de las paredes del tubo y corra libremente.

Cuando la adherencia està establecida, la vena fluida se contrae en el tubo de adicion cerca de la pared, como lo haria en el aire libre (fig. 128); puede uno asegurarse, haciendo el esperimento con un tubo de vidrio, y tambien dando al tubo de adicion la misma forma de la vena contraida (fig. 129); con esta cintura la pérdida es aun 133, como era antes.

Un *tubo de adicion* cónico, puede causar una pérdida mayor que un tubo cilíndrico.

Si hay tubos de adicion que aumentan la pérdida, es muy fácil construir otros que la disminuyan en una relacion muy grande. Todo ensanche en un tubo cónico ó cilíndrico, produce una disminucion de velocidad; las *reflexiones*, los *remolinos*, los choques de las moléculas animadas de movimientos contrarios, producen una grande complicacion de fenómenos, y por último resultado, una grande disminucion en la pérdida.

En tubos muy finos, los líquidos dejan de manar, á veces aun bajo presiones considerables; así el mercurio deja de derramarse bajo una presion de 9^{mm}, en un tubo de 337 milímetros de longitud y de 1^{mm}, 12 de diámetro.

95. *De la unidad de medida en la distribucion de las aguas.*—La unidad de medida para las aguas corrientes, es conocida bajo el nombre de *pulgada de fontanero* ó *pulgada de agua*. Esta es la cantidad de agua que mana

(1) Es fácil de percibir la razon de este hecho singular, con solo atender á que en el primer caso, las fuerzas de todos los filamentos del líquido son conspirantes hácia el orificio; y en el segundo, son por el contrario divergentes: el fenómeno, pues, se entenderá fácilmente, por la descomposicion de fuerzas.

en un minuto por un orificio circular, de una pulgada de diámetro, hecho en una pared vertical, con una carga de agua de siete líneas sobre el centro del orificio, ó de una línea encima de su punto culminante. El volúmen de agua que se derrama en tales circunstancias, es de catorce pintas antiguas de Paris, ó 672 pulgadas cúbicas por minuto; lo que viene á ser 19, 2 met. cub. en 24 horas. Una *media pulgada de agua*, es la cantidad de agua que se derrama por un orificio de media pulgada de diámetro, cuyo centro soporta igualmente una presion de 7 líneas, de que resulta que en volúmen ó en peso, la media pulgada es verdaderamente el cuarto de pulgada: porque bajo la misma presion, un orificio cuyos diàmetros estàn como uno à una mitad, dan pérdidas, como uno à un cuarto. Una *línea de agua* no es por la misma razon, mas que la 144 parte de pulgada, ó $\frac{19,2^{m.c.}}{144}$ en 24 horas.

Parece que en Paris el gasto diario es de cerca de 10.000 metros cúbicos, lo que hace cerca de 15 litros por cabeza.

96. *De las presiones laterales que ejercen los líquidos en movimiento.* Un líquido que corre por tubos de adicion, ó en general, por cualquiera tubos, ejerce siempre contra sus paredes una presion menor, que si estuviese en reposo. Daniel Bernouilli espresa esta presion que tiene lugar durante el movimiento, por $h-h'$.

Para comprender esta fórmula, consideremos la velocidad efectiva que anima las moléculas líquidas en la seccion perpendicular al eje del tubo, en que se quiera calcular la presion. Esta velocidad es debida, segun el Teorema de Torricelli, á cierta altura de nivel, que es el valor de h'. Concibamos en seguida, que el tubo esté cortado segun esta misma seccion, de tal modo que quede abierta, y ella misma sea el orificio de derramamiento: entonces el líquido tomaria cierta velocidad, y el valor de h designa la altura de la columna líquida, que seria capaz de producirla. Este valor de h no es necesariamente igual á la altura real del nivel sobre el centro de la seccion: puede ser un poco mas pequeña, por el efecto de la contraccion, ó un poco mayor, por el influjo de las piezas adicionales. Si h' se halla igual á h, la presion es nula, y las paredes no esperimentan absolutamente esfuerzo alguno. Si h' es mayor que h la presion es negativa, es decir, que en lugar de una presion sobre la pared del tubo, se ejerce una verdadera *succion*.

Los esperimentos, por los que se ha verificado hasta el presente la fórmula de Bernouilli, no son bastante numerosos, ni muy exactos para que se puedan emplear con bastante confianza. Con todo, el fenómeno de succion que indica, es un hecho notable sobre el que no puede recaer duda alguna: comprobado por el mismo Bernouilli, despues ha sido estudiado mas particularmente por Venturi y por M. Hachet.

Véanse aquí las circunstancias en las que se produce.

Se ha visto que por una adicion cilíndrica, cuando la vena es adherente, la pérdida es mayor, que por un orificio en pared delgada del mismo diámetro: por lo que la velocidad efectiva es mayor que la velocidad teórica, y por consiguiente h' es mayor que h; lo que debe producir el fenómeno de succion.

En efecto, si al tubo de adicion se hace una pequeña abertura lateral, para poner en ella un tubo curvo, como xy (fig. 127 y 128) el líquido sube en lo interior de este tubo y la altura de la columna levantada, dá la medida de la fuerza de aparicion. Siendo mayor la diferencia por un tubo de doble cono, la aspiracion debe de ser tambien mayor, lo que está completamente verificado por los esperimentos de Venturi.

97. *De la reaccion producida por el derrame de los fluidos.*—Concibamos un vaso de forma cúbica, sobre ruedecillas muy movibles, y puesto sobre un plano horizontal que ofrezca muy poco rozamiento. El vaso lleno de líquido quedará en reposo; porque todas las presiones laterales son iguales y contrarias. Pero si se taladra la pared para que el líquido salga lateralmente, el vaso será repelido en sentido contrario, habrá por consiguiente un retroceso parecido al de las armas de fuego ó al de las escopetas de viento (30). Esta reaccion se ha hecho sensible por un aparato que se llama *torniquete hidráulico* (fig. 134 *bis*). Compónese de un receptáculo v móvil al rededor de un eje vertical, que lleva en su parte superior una llave r, la que basta que se abra para poner el aparato en movimiento. En efecto, ejerciéndose la presion atmosférica sobre el líquido interior, el derrame se hace por los tubos t y t'; pero teniendo estos sus estremidades encorvadas horizontalmente y en sentido contrario en forma de z, los chorros que salen, se encuentran dirigidos tangencialmente á los círculos que tienden á describir los orificios del derrame, y su reaccion sobre

los tubos, forma un par que imprime al aparato un movimiento de rotacion muy rápido.

Se ha creido por mucho tiempo, sobre la autoridad de Newton, que el retroceso de esta especie era igual al peso de una columna líquida, que tuviese por base la seccion contraida de la vena que corre, y por altura, la del nivel. Pero Daniel Bernouilli ha demostrado que en todos los casos de derrame, la fuerza de reaccion es igual al peso de una columna líquida, que tenga por base la seccion contraida de la vena que corre, y por altura el *duplo* de la altura del nivel. En este principio está fundada la rueda hidráulica, conocida bajo el nombre de *Turbine*, de la que se hace uso con grande ventaja, desde las últimas perfecciones que M. Fourneyron ha llegado á darla.

98. *Chorros de agua.*—Hay chorros de agua que se elevan verticalmente de abajo arriba, y hay otros que se elevan en hacecillos formando parábolas de diferentes amplitudes. Los orificios que dan orígen á los chorros verticales, están hechos en paredes horizontales, y los que producen los chorros parabólicos, están hechos en paredes diversamente inclinadas. En todos los casos, la direccion del chorro es producida por la gravedad que es siempre vertical, y por la presion, ó la fuerza impulsiva, que es siempre perpendicular á la pared. Segun el Teorema de Torricelli, teniendo las moléculas líquidas en el orificio, la misma velocidad que si hubiesen caido de una altura igual á la del nivel del líquido en el receptáculo, se ve que esta velocidad dirigida de abajo arriba, seria capaz de hacer subir todas las moléculas hasta la altura del nivel, de donde se supone que descienden. Así la altura del chorro vertical, seria siempre igual á la elevacion del nivel encima del orificio. Pero hay muchas causas que impiden á las aguas llegar á esta altura teórica; esperimentan rozamientos contra las paredes de los tubos, que las conducen desde el receptáculo hasta el orificio, en cuyas paredes rozan con grande velocidad, esperimentan ademas la resistencia del aire atmosférico, y en fin, las aguas que vuelven á caer del punto mas elevado del chorro, caen sobre las aguas ascendentes y les quitan parte de su movimiento. Para reducir todas estas resistencias á sus menores valores, se acostumbra en la práctica observar las reglas siguientes:

1.° Se da á los tubos de conduccion un diámetro que depende de sus longitudes, de la magnitud del orificio, y de la altura del depósito, de tal manera que la velocidad del agua en los tubos, sea á lo mas de 2 ó 3 decímetros por segundo.

2.° Se hace el orificio circular y en pared delgada, en una plancha que se llama la *platina*; esta es plana ó curva, en forma de casquete convexo, segun que se quiere tener un chorro vertical ó un hacecillo con muchos chorros parabólicos.

Toda pieza de adicion, sea cilíndrica ó cónica, da un chorro menos elevado, que los orificios en paredes delgadas.

99. *Del choque de una vena fluida contra un cuerpo sólido.* M. Savart ha publicado sobre este objeto un grande trabajo, (*Ann. de phi. y de Chim. t.* 54) del que vamos á estraer los resultados mas elementales.

Concibamos un tubo de dos metros de altura, un decímetro de diámetro, dispuesto verticalmente, y que tenga en su parte inferior un orificio en pared delgada, circular y de 10 á 12 milímetros de diámetro: supongamos que despues de haberle llenado de agua se destapa el orificio, pero que en lugar de dejar caer libremente la vena, se la recibe á 20^{mm} del orificio sobre un disco de metal de 27^{mm} de diámetro, cuya superficie sea plana y pulida y cuyo centro caiga directamente bajo el centro del orificio (fig. 144). Entonces la vena fluida presenta los fenómenos siguientes.

1.° Se esparce por el disco, toma la apariencia de una red casi cónica, cuya parte central ab es delgada, unida y trasparente, mientras que la zona esterior $aa'bb'$, números 1 y 2, es turbia, surcada de estrías, las unas circulares, las otras á manera de ràdios, que arrojan por el derredor una multitud de pequeños chorros, ó gotas que caen en forma de lluvia. Esta zona es como la *aureola* de la cascada trasparente, y todo junto se llama una *cascada aureolada*. Las cascadas de esta especie esperimentan pulsaciones periódicas, es decir, que se elevan y bajan un poco, y que al mismo tiempo, aumentan ó disminuyen de diámetro; las pulsaciones son bastante rápidas para producir un sonido.

2.° Disminuyendo la presion á medida que el nivel baja en el tubo, aumenta el diámetro total de la cascada, pero la aureola disminuye, de tal modo que bajo la presion de 60 á 62 centímetros desaparece; y la cascada llega á la vez, á una trasparencia completa, y al máximum de diámetro, núm. 3.

3.° Partiendo de este máximum, el diámetro disminuye y al mismo tiempo la cascada se encorva, se redondea y bajo la presion de 32 ó 33 centímetros, se cierra enteramente, núm. 4, y su diámetro es entonces de 40 á 45 centímetros.

4.° Disminuyendo la presion cada vez mas, la cascada queda cerrada; pero su diámetro continúa en disminuir gradualmente hasta la presion de 10 ó 12 centímetros; entonces cambia bruscamente de aspecto, vuelve á elevarse sobre el disco, núm. 5; un instante despues, vuelve á su forma primitiva, núm. 6, se eleva de nuevo y pasa asi 7 ú 8 veces de una forma á otra, disminuyendo de volúmen, hasta que al fin, desaparece enteramente.

No pudiendo estudiarse este fenómeno notable, sino de un modo pasagero, por medio de un simple tubo en que el nivel disminuye sin cesar, M. Savart imaginó el aparato que sigue, para mantener una presion dada, tan largo tiempo, como lo exija la esperiencia.

tt' (fig. 138) es el tubo en cuya estremidad inferior se adaptan las piezas adicionales en pared delgada, representadas sobre una escala mayor, abajo de la figura 138, números 2 y 3. Este tubo tiene $4^m,5$ de altura, y 54^{mm} de diámetro. Su estremo superior se une al fondo de un depósito, en que el nivel se mantiene constante, por medio de un sifon con llave, que vierte el líquido en la caja c, y por medio de la vertiente d. Una grande llave r con una varilla s, sirve para moderar convenientemente la cantidad de agua, que da el depósito al tubo; en fin, para graduar la presion, el tubo tt' lleva una especie de manómetro $m\,n\,o\,p\,q$, construido del modo siguiente: las partes $m\,n$ y $o\,p\,q$, son de vidrio, la parte intermedia $n\,o$, es de cobre: un agujero h practicado lateralmente en lo inferior de esta parte, y que se cierra con una clavija, sirve para establecer ó suprimir al arbitrio, la comunicacion con el aire esterior; se echa mercurio hasta casi la mitad de la altura de los dos brazos $o\,p$ y $p\,q$. Hecho esto y estando abierto el agujero h, el mercurio queda en el mismo nivel en los dos brazos del manómetro, y la presion atmosférica se ejerce sobre el vértice de la columna líquida, contenida en el tubo tt', y en el brazo mn, que comunica con ella sin cesar; pero cuando se cierra el agujero, es evidente que por el derramamiento que se verifica por debajo del tubo tt', el mercurio cae en el brazo op y desciende en el brazo pq, y que al mismo tiempo, el nivel del agua baja en el tubo mn. Sea z la diferencia de niveles del mercurio en los dos brazos, y p la presion atmosférica: el aire interior se halla entonces bajo una presion espresada por una columna de mercurio $p-z$:, ó por una columna de agua $(p-z)\,d$, siendo d la densidad del mercurio; y por consiguiente, en el estado de reposo, la presion de arriba abajo que se ejerce sobre el orificio, excede á la presion atmosférica en $h-dz$, siendo h la altura del agua en el tubo tt'; en virtud de este exceso de presion, el líquido se derramaria, si el tubo tt', fuese bastante ancho, para que las velocidades fuesen muy pequeñas; y como se puede, abriendo convenientemente la llave r, mantener el mismo exceso de presion por mucho tiempo, se llegan á producir fenómenos durables, fáciles de observar, y de medir.

Los números 4 y 5 de la misma figura 138, representan las barras en cuyas estremidades están perfectamente ajustados los planos que reciben la vena y la estienden.

Por medio de este aparato, M. Savart ha podido comprobar los resultados siguientes para la temperatura 0°.

1.° Las cascadas abiertas y unidas se hacen por todos los orificios, á una presion casi doble de la que es necesaria para hacer la cascada cerrada. 2.° Los diámetros de las cascadas cerradas son poco mas ó menos, proporcionales á los diámetros de los orificios. 3.° Las cascadas se cierran bajo presiones tanto mayores, cuanto menor es el diámetro de los orificios. M. Savart ha descubierto tambien, que partiendo de 10 ó 12 milímetros, el aumento de la distancia del disco al orificio, da lugar á fenómenos análogos á los de un aumento de presion, ó recíprocamente; que la temperatura del líquido tiene sobre el diámetro máximum de las cascadas una influencia tal, que en 1 ó 2° es mucho mas pequeño que en 0°, y particularmente mucho mas pequeño que en 4°; que la naturaleza del líquido tiene un influjo mas marcado aun, como se ve en el alcohol, el aceite, el éter, el mercurio, y particularmente en la misma agua, pues que la adicion de una pequeña cantidad de ácido, impide completamente la formacion de las cascadas.

Las figuras 146 y 147, representan las cascadas que resultan de la espansion de una vena vertical, que hiere al plano, con un movimiento de abajo arriba, mas ó menos rápido; y la figura 145, las cascadas de una vena horizontal.

M. Savart ha estudiado tambien los efectos del

choque de la vena sobre otros cuerpos, y particularmente sobre un cilindro de vidrio de 27 milímetros de diámetro; las figuras 148, 149, 150, 151 y 152, representan los resultados que se obtuvieron en este caso con un orificio de 3 milímetros, bajo una presion de 132 centímetros, segun que la vena, siempre horizontal y perpendicular al cilindro, viene á chocarle mas arriba ó mas abajo: al lado de cada figura se ha representado el corte del cilindro sobre una escala mayor, y el punto en que le hiere el chorro.

100. *Del choque de dos venas fluidas opuestas.* Tambien se debe á M. Savart, el conocimiento de los muy importantes fenómenos que presenta el choque de dos venas fluidas opuestas (*Ann. de phi. de Chim. t.* 55). En el estracto que vamos á hacer de este trabajo, apenas podremos dar una idea de los resultados mas generales y notables que contiene. El principal aparato que ha servido para estos esperimentos, está representado en la figura 153. Se compone de dos depósitos cilíndricos a, a' de 1^m37 de altura, y de 0^m22 de diámetro, dispuestos frente el uno del otro, á la distancia de 35 á 40 centímetros. En los cubos b, b' se adaptan los tubos cilíndricos c, c', en cuya estremidad se atornillan los orificios: el ajuste con hilo de cáñamo de estos tubos, permite dar á los ejes de los orificios direcciones exactamente coincidentes, ó ligeramente inclinadas hácia arriba.

Vasos del mismo diámetro, orificios iguales. Siendo las presiones iguales, se descubren los orificios, que pueden tener de 3 á 6 milímetros de diámetro, y al instante en que las venas se chocan, se forma una hermosa cascada plana en medio del espacio que separa los orificios; esta es aureolada ó unida, segun la presion, y adquiere su máximum de diámetro, bajo una presion determinada, hallándose entonces unida y trasparente en toda su estension. Las presiones que dan el diámetro máximum, están en razon inversa de los diámetros de los orificios; asi para los orificios de 6^{mm} y de 3^{mm} las presiones son de 55 á 65 centímetros y 105 á 120. Mas allá del máximum, los diámetros son proporcionales á la presion, para un mismo orificio, y proporcionales á las áreas de los orificios, cuando estos son diferentes.

Si la presion se mantiene constante por un lado, mientras puede bajar del otro, se observan los fenómenos siguientes:

En el momento en que se descubren los orificios, siendo las presiones iguales, la cascada se forma en medio de su intervalo, pero luego esta cascada es impelida contra el orificio del vaso, cuyo nivel ha bajado, se aplica contra la pared, y toma entonces todos los caracteres de una vena que choca un plano: es decir, que es cónica y aureolada bajo una fuerte presion; curva, unida, y abierta bajo una presion menor, y finalmente unida y cerrada bajo presiones muy débiles. Se observa al mismo tiempo, que el vaso que no recibe líquido, se halla sensiblemente en el mismo nivel que el otro, asi la cascada le cierra herméticamente y presenta entonces el fenómeno singular de una columna en reposo, que hace equilibrio con una columna en movimiento, de la misma altura. Esta consecuencia se estiende aun al caso en que la vena tiene una seccion un poco menor, que la de la columna que se halla en reposo; y tambien al caso en que el líquido en reposo es mas ó menos denso que el líquido en movimiento; solo es menester entonces que las alturas de las columnas estén en razon inversa de sus densidades, como para el equilibrio estático.

Orificios iguales, vasos desiguales. Cuando los dos vasos tienen diámetros diferentes, la corriente libre, es decir, la que se hace sin añadir de nuevo líquido en los vasos, presenta alternativas cuya razon es fácil dar; el pequeño vaso se vacia entonces con una velocidad periódicamente variable.

Orificios desiguales, vasos iguales. Comunicando los dos vasos entre sí para que se mantengan exactamente en el mismo nivel, se observa que para el caso en que el diámetro del grande orificio no es mas que el triplo del pequeño, la cascada presenta los fenómenos indicados por la figura 145, números 1, 2 y 3; es decir, que si la cascada es cónica por las fuertes presiones número 1, pasa despues á ser unida y curva, número 2, por presiones menores; en fin, se cierra del todo, número 3, por presiones, aun mas pequeñas.

M. Savart, ha llegado aun á las consecuencias que siguen por otra série de esperimentos sobre la presion de las venas líquidas, y sobre la rapidez con que el equilibrio se establece entre dos vasos, el uno lleno y el otro vacio, cuando es una vena líquida la que establece la comunicacion.

1.° La velocidad de todas las moléculas que componen una seccion normal al eje de una vena, es exactamente la misma.

2.° La presion ejercida por una vena arrojada de arriba abajo contra un plano que le es normal, y cuyo diámetro es igual al de la vena en el punto de contacto, es medida por el peso de una columna de agua, cuya altura fuese igual á la distancia comprendida entre el plano chocado, y el nivel del líquido en el depósito, y cuyo diámetro fuese igual al de la vena en el punto en que encuentra al plano.

3.° La presion ejercida por la vena llega á ser igual al triplo de esta cantidad, cuando tiene lugar sobre un plano horizontal, cuyo diámetro es el mismo que el de la cascada delgada, que resulta de la espansion del chorro; y solo es igual al doble de esta cantidad, cuando se quita de la presion total, el peso propio de la cascada delgada.

4.° Cuando la presion se ejerce sobre una superficie cóncava hemisférica, puede llegar á ser igual al cuádruplo de la columna líquida, que tiene por diámetro el diámetro de la vena en el contacto del cuerpo chocado, y por altura la distancia de este punto á la superficie del nivel.

5.° Cuando dos vasos del mismo diámetro con orificios iguales, están dispuestos de modo que la vena arrojada por el uno pueda penetrar al traves del orificio del otro, si uno de estos vasos está lleno y el otro vacío, la carga del líquido se parte igualmente entre los dos, y el tiempo necesario para que las dos columnas lleguen á igualdad de altura, no es mas que los dos tercios del que es preciso para el mismo repartimiento, cuando los vasos comunican directamente entre sí, por un orificio del mismo diámetro que el que arroja la vena. Si el vaso que al principio es el solo que contiene líquido, se mantiene en un nivel constante, el vaso que recibe la vena llega tambien á la igualdad de presion, en los dos tercios del tiempo que es necesario para que esta igualdad se establezca, cuando los vasos comunican directamente entre sí.

101. *Diferentes aparatos para el movimiento de los líquidos.*—Como aplicacion de los principios precedentes y del juego de las presiones atmosféricas, ensayaremos dar á conocer algunas máquinas usuales. Su descripcion la hemos puesto al fin del capítulo para no interrumpir la esposicion general.

102. *Del sifon.*—El sifon es un tubo curvo *bsb'* (fig. 153): *bs* es el *brazo corto*, *sb'* el *brazo largo*, *at* es el tubo de aspiracion, cuyo uso veremos despues; pero por ahora supondremos que no esté. Estando llenos de líquido, los dos brazos, la presion es la misma en el punto *b* y en el punto *n*, que se hallan en el mismo nivel; asi en *b'* es mayor, cuanto es el peso de la columna *nb'*. El líquido corre por el brazo grande en virtud de este exceso de presion, y su velocidad es la misma que si hubiese caido de la altura *nb'*.

La misma causa hace continuar el derrame, mientras haya líquido en *b*. Si esta estremidad del brazo corto se sumerge en un vaso, éste se vacia, y la velocidad del chorro es siempre producida por la diferencia de altura de los dos brazos, tomando por altura de cada una de ellas, la distancia del vértice *s* al nivel del líquido, en el que se sumerge. El tubo de aspiracion está destinado para *cargar* el sifon, es decir, para llenarle de líquido á fin de ponerle en actividad. Las figuras 154 y 155, representan sifones de otra especie, cuyo objeto se comprende fácilmente: cuando se echa agua en estos vasos, que se llaman *vasos de Tántalo*, sucede lo mismo que en un vaso comun, mientras que no llega á la altura *nn'*, pero habiendo llegado aquí, si se echa una gota deagua mas, el sifon la absuerve, y el vaso se vacia completamente.

El sifon no solo es de un uso ordinario en las artes, sino que en algunas circunstancias, se ha empleado con ventaja para desviar el curso de los rios y ejecutar grandes obras hidraúlicas.

103. *Fuente de compresion.* *v* (fig. 156) es un vaso de cobre de paredes bastante fuertes, *t* un tubo que hace cuerpo con la llave *r*; estas dos piezas están soldadas y su conjunto se atornilla en el cuello del vaso *v*; *j* es la pieza que se añade para el derrame, se atornilla sobre la llave *r*; de la magnitud del orificio depende el diámetro del chorro: *nn'* es el nivel del agua en el vaso. Por medio de una bomba comprimente, que se adapta en el lugar de la pieza de adicion, encima de la llave *r*, se comprime el aire en el espacio *nan'*. Entonces la fuente está cargada, se quita la bomba, se tornilla la pieza de adicion, se da vuelta á la llave, y el líquido salta á una grande altura, á 10, y aun 10 metros, si el aire está comprimido á dos atmósferas ó á 5 ó 6.

104. *Fuentes intermitentes.*—*r* (fig. 157) es el recipiente del agua, *gg'* son las piezas de adicion para el derrame, la figura no representa mas que dos; *t* es el *tubo de presion*, su estremo superior se eleva sobre el nivel del agua del recipiente; *p* es el pie de la fuente, en el que se halla el secreto de las intermitencias; hay una escotadura *e* en la estremidad inferior del tubo, y una abertura *v*, por la que el agua pasa del primer fondo al segundo. Cuando la escotadura está á descubierto, el aire pasa al tubo y viene á ejercer una presion atmosférica en la superficie *nn'* del recipiente; cuando la escotadura está bañada por el agua, que se acumula sobre el primer fondo, el aire no puede entrar ya por el tubo, y disminuyendo la presion mas y mas en el recipiente, cesa el chorro, hasta que la escotadura esté desembarazada, y el aire pueda de nuevo pasar al tubo.

Asi la duracion de las intermitencias depende de las magnitudes relativas de la abertura *v*, y de las piezas de adicion, de la altura de la escotadura, y de la distancia de las piezas de adicion al nivel del agua del recipiente.

105. *Fuente de Heron.*—Este aparato (figura 160) se compone de tres vasos, un vaso superior *a*, un vaso medio *b*, y un vaso inferior *c*; y de tres tubos; el primero *x* que baja del fondo del vaso superior al fondo del vaso inferior, el segundo *y* que sube de lo alto del vaso inferior á lo alto del vaso medio, y el tercero *z* que se eleva del fondo del vaso medio hasta 2 ó 3 decímetros encima del vaso superior; este es el que forma el chorro de la fuente de Heron. Se pone agua en el vaso *b* por medio del agujero *p* que se cierra luego: se pone igualmente agua en el vaso *a*, se abre la llave *r*, y el líquido es lanzado hasta un punto, tanto mas elevado sobre el nivel del vaso medio, cuanto el nivel del vaso superior lo está sobre el del vaso inferior. Esta presion es en efecto, la que soporta el aire que está encerrado en el vaso inferior y en el vaso medio.

La figura 159 representa otra fuente de Heron, cuya disposicion se conoce fácilmente; bastan algunos tubos de vidrio para construirla.

106. *Lámpara de gas hidrógeno.*—Este aparato se compone de un globo de cuello largo *b* vuelto sobre un vaso mas ancho *v* (fig. 158) cuyo fondo no toca: el ajuste *cc'* debe estar herméticamente cerrado; un cilindro hueco de zinc *zz'* cubre el cuello del globo, el agua acidulada que llena el vaso *v* obra sobre el zinc, se descompone, su hidrógeno se separa y por la presion creciente que ejerce, el agua es mas y mas impelida hácia el globo *b*, hasta que el nivel haya descendido debajo de la última seccion del zinc *z'*. Entonces cesa toda accion y se tiene un depósito de gas hidrógeno comprimido. Dando vuelta á la llave *r*, el gas sale al aire por el tubo *t*, que ha de ser muy fino, y mezclado con el aire atmosférico, se inflama por el contacto de una esponja de platina.

107. *Bomba aspirante y elevatoria.*—La bomba aspirante (fig. 161) se compone de un *tubo de aspiracion a*, de un *cuerpo de bomba b*, de un *émbolo p*, de un tubo de ascension *s*, y de tres válvulas *r*, *t*, *l* que se abren de abajo arriba. La primera válvula *r* se halla en el fondo del cuerpo de bomba, la segunda *t* se halla en el espesor del émbolo, y la tercera *l* está en lo inferior del tubo de ascension. El tubo de aspiracion se sumerge en el agua que se quiere elevar, y el cabo del émbolo pasa por una caja con estopa *e*, y por otra que contiene sebo *g*. Al principio del movimiento, elevándose el émbolo, su válvula se cierra, y las otras dos *r* y *l* se abren; la primera por el aire superior que se comprime y se escapa, la segunda por el aire inferior que se dilata y pasa bajo el émbolo; la presion disminuye en el tubo de aspiracion, y el agua se eleva en él por efecto de la presion esterior. El émbolo, una vez llegado al punto superior de su marcha, vuelve á bajar, la válvula inferior se cierra, el aire se comprime en el cuerpo de bomba, levanta la válvula del émbolo, y pasa encima de él. Volviendo á subir, el émbolo levanta el agua un poco mas arriba, y bajando de nuevo, arroja una nueva cantidad de aire. En fin, despues de cierto número de golpes, si la bomba está bien construida, el agua llega encima de la primera válvula y pasa encima del émbolo. Desde este instante todo el aire es arrojado, y la bomba juega en el agua. Cada vez que el émbolo sube, levanta toda la columna de agua que está encima de él, y trae consigo la que está debajo: cada vez que desciende, se cierra la primera válvula, la suya se abre y viene á tomar por su base la columna que habia traido consigo, para elevarla á su turno. El esfuerzo que es menester hacer para levantar el émbolo, se compone de dos partes, la una es el rozamiento, la otra es igual al peso de una columna de líquido, que tenga por base el mismo émbolo, y por altura, toda la altura á que se ha-

lla el orificio, por el que el agua del tubo de ascencion s se derrama en el aire.

Para que una bomba sea buena, es menester que el agua pueda llegar á la primera válvula r; así la posicion de esta válvula depende del grado de enrarecimiento, que se puede dar al aire que está encima de ella, y este grado de enrarecimiento depende de la estension del camino del émbolo, y de la distancia de las dos válvulas t y r. Cuando esta distancia es nula, es posible el vacío, y en rigor la válvula r podria estar á $10^{m},30$ de altura sobre el nivel del agua que se trata de elevar. Si esta distancia entre las dos válvulas fuése solo de un decímetro y el émbolo no tuviese mas que 2 decímetros de curso, el aire no podria llegar por el juego de la bomba, mas que á una media presion atmosférica, y la válvula r no pasaria de 5 metros de altura. Es fácil calcular la relacion general, que existe entre estos diversos elementos.

108. *Bomba aspirante y comprimente con cuerpo de bomba pulimentado.*—Esta bomba se compone (fig. 162) de un tubo de aspiracion a, de un tubo de ascension s, de un cuerpo de bomba c, y de un émbolo p; pero solo tiene dos válvulas r y l de aspiracion y ascension; nada pasa al través del émbolo ni por su contorno, y su cara superior está siempre en comunicacion libre con la atmósfera.

Cuando el émbolo sube, el agua es aspirada encima de la válvula r, y cuando desciende, es comprimida, aprieta la válvula r y levanta la válvula l.

109. *Bomba aspirante y comprimente sin cuerpo de bomba pulido, ó de émbolo, que se sumerge.*—Esta bomba representada en la figura 163, se diferencia de la precedente por la forma y el arreglo del cuerpo de bomba, y del émbolo. Las dos válvulas r y l del tubo de aspiracion a y del de ascension s, son tambien un poco diferentes; son á propósito para grandes presiones. La primera r se compone de dos chapas inclinadas que vienen á detenerse contra las piezas i é i', cuando son elevadas por la aspiracion y que caen sobre el prisma z, cuando están comprimidas de arriba abajo, mientras el émbolo desciende; la segunda l se compone de una sola chapa inclinada. La pieza que se ve encima es una *mira* para registrar la válvula y cambiarla segun la necesidad. El cuerpo de bomba no es liso, porque el émbolo no le toca. El émbolo es un cilindro perfecto de metal, que pasa por la caja con *estopa* e y por la de grasa g; esta es verdaderamente la cerradura de la bomba.

Es indispensable hacer un pequeño conducto para dar salida al aire que se separa del agua, y que podria poner la bomba fuera de servicio, llenando el cuerpo de bomba. Se puede hacer de dos maneras; ó taladrando el espesor del cuerpo de bomba, ó agujerando el émbolo en su longitud y despues lateralmente, como lo representa la figura 163 en t y u; t es el tornillo de presion que cierra la abertura de este conducto.

M. Martin ha establecido en Marly bombas de esta especie que están construidas con una rara perfeccion: elevan el agua á 170 metros sobre el nivel del Sena.

110. *Bomba de sacerdotes.*—En esta bomba el émbolo está reemplazado por una membrana elástica (fig. 164) la que está firme por sus bordes y tiene en su medio una válvula de metal s': cuando la varilla t levanta la membrana, el liquido es aspirado y entra por la válvula s; al contrario cuando la varilla es bajada, el liquido comprimido entre las dos válvulas, levanta la válvula s' para pasar encima del émbolo elástico.

Una bomba de esta especie sirve para hacer subir el aceite en las lámparas de Gotten; se dispone entonces como en la figura 163: $ccrr$ representa la seccion vertical de una pequeña caja de cobre que está dividida en dos partes por el tabique l; la parte de la derecha se subdivide en su longitud en tres ó cuatro pequeños compartimientos, semejantes al que representa la figura. Una piel muy fina es alternativamente levantada y deprimida por medio de la varilla f; cuando se levanta, el aceite del recipiente r entra por la válvula s; cuando se deprime, el aceite es repelido y pasa por la válvula s' para subir por el tubo de ascension t. Tres compartimientos ó tres bombas que tienen sus válvulas separadas, bastan para la continuidad del movimiento; la una está encima de su curso, la otra en medio, la tercera al fin, y el aceite es siempre impelido en el tubo de ascension con una fuerza á poca diferencia igual. Un movimiento de relojeria pone en juego todas estas bombas.

111. *Prensa hidráulica.*—Esta máquina ofrece tan grandes ventajas en las esplotaciones agrícolas é industriales, que nos ha parecido ne-

cesario indicar aquí los detalles de su construccion. Esta se ve representada en las figuras 170, 171, 172, 173 y 174.

Figur. 173. Elevacion general de la prensa.
Figur. 170. Corte vertical.
Figur. 172. Cuero embutido.
Figur. 171. Piezas que sirven para ajustar el émbolo á la bomba.
Figur. 174. Detalles de la válvula de compresion.

Hay dos partes distintas en las prensas hidráulicas, á saber, una bomba aspirante y compresiva que dá la presion, y un disco con émbolo que la recibe, para transmitirla inmediatamente á los cuerpos que se quieran comprimir.

La bomba se vé en su elevacion en af (figura 137), y mucho mas en grande en el corte vertical en af (fig. 170).

El disco con émbolo se vé en su elevacion en $p'p$ (fig. 173), y mucho mas en grande en el corte vertical en p (fig. 170); (aquí el disco p' está quitado; no queda mas que el émbolo). La bomba dá la presion al émbolo p por medio del tubo tbu, figuras 170 y 173.

Elevando la palanca l (fig. 173), se eleva el émbolo s de la bomba (fig. 170), el agua del depósito b (fig. 173) entra por el pomo de regadera (fig. 170), levanta la válvula i y pasa bajo el émbolo s. Cuando se comprime la palanca l, se vuelve á bajar el émbolo s, el agua es comprimida, ella misma cierra la válvula i, gana el conducto z (fig. 170), eleva la válvula d y pasa al tubo tbu, para llegar al cuerpo cc' de la prensa (fig. 170 y 173). Allí ejerce su esfuerzo contra el émbolo p y le obliga á subir con el platillo p', el que comprime, á su vez, los cuerpos contra la plataforma ef (fig. 173).

Si la seccion del émbolo s es la centésima parte de la seccion del émbolo p, un esfuerzo de un kilógramo sobre el primero, producirá en el segundo de abajo arriba, una presion de 100 kilógramos. Pero por medio de la palanca l un hombre puede fácilmente ejercer sobre el émbolo s un esfuerzo de 300 kilógramos; así el émbolo puede sin dificultad, ser impelido con una fuerza de 30,000 kilógramos.

Tal es el principio fundamental de la prensa hidráulica. Indicaremos ahora cómo se miden las presiones y cómo se ha llegado á evitar el escape del agua.

Las presiones se miden por la válvula g (fig. 170 y 174). Conociendo el peso p, su distancia gf al punto de apoyo, la distancia xf del punto por el que la palanca comprime la válvula, y en fin, la seccion de la válvula, es fácil calcular la presion que esperimenta por parte del liquido, cuando la palanca fg es levantada.

Para evitar que se escape el agua, se ajusta desde luego con un cuidado particular el émbolo s; las piezas que sirven para este uso se ven en grande en la figura 171; es la misma disposicion que en la bomba de Marly (fig. 163). Pero la principal dificultad se hallaba en el émbolo p, y Bramah la ha resuelto por la feliz invencion del cuero embutido del que se ve un corte (fig. 172). Este cuero está dispuesto en mm' (fig. 170) en un espacio anular practicado á este efecto en el cuerpo cc' de la prensa. Es fácil ver por su forma y su disposicion, que cierra tanto mejor, cuanto mas fuerte es la presion; porque el efecto de la presion es impelerle al mismo tiempo contra el émbolo p que abraza estrechamente y contra las paredes del espacio anular.

El tornillo k (fig. 170), sirve para la depresion: cuando se destornilla, el liquido vuelve del cuerpo de la prensa por el tubo ubt, y marcha por la abertura v.

112. *Ariete hidráulico.*—Esta máquina que fué descubierta en 1797 por Montgolfier, el inventor de los aeróstatos, no es menos notable por el nuevo principio sobre que se apoya, que por las numerosas ventajas que puede ofrecer. Procuraremos por ahora, hacer comprender el principio de mecánica, de que resulta su fuerza motriz. En un cuerpo cualquiera sólido ó fluido, cuando está animado de cierta velocidad, imaginemos que se detenga alguna de sus partes, al instante todas las demas que no son directamente detenidas, ejercen sobre aquellas esfuerzos diferentes: las que están delante, tenderán á arrastrarlas con ellas, ó á separarse de ellas; las que están detras, queriendo tambien continuar su camino, se precipitarán en virtud de su velocidad adquirida, y se comprimirán las unas á las otras, al mismo tiempo que comprimirán las partes inmóviles. Una flecha, por ejemplo, estando animada de un movimiento rápido, si se la detuviese de repente por su parte media, la parte anterior tendiendo á arrastrar la parte detenida, esperimentaria una tirantez en toda su longitud y este

esfuerzo podria romperla, si la velocidad fuése bastante: al contrario la parte posterior tendiendo á impeler la parte detenida, esperimentaria una presion en toda su longitud y todas sus secciones serian comprimidas las unas sobre las otras. Del mismo modo, cuando una columna de agua se halla en movimiento en un tubo, y de repente la detiene un obstáculo, comprime este obstáculo en virtud de su velocidad adquirida; la primera seccion que le toca es luego detenida y comprimida á la vez por la seccion que viene despues, y así sucesivamente hasta la cabeza de la columna: durante este tiempo, que es muy corto, el tubo soporta un exceso de presion lateral que depende de su diámetro, y de la velocidad del agua, y este exceso de presion que resulta del movimiento detenido, viene á ser la fuerza motriz del ariete hidráulico.

tt' (fig. 169) es un tubo en el que se mueve el agua de un manantial con una velocidad dependiente de la altura de la caida; este es el *cuerpo del ariete*. El agua se derramaria por el orificio v, si no hubiese obstáculo, y tomaria el nivel nn', que es el nivel natural, debajo de la caida; pero hácia esta estremedidad del tubo se ajustan diferentes piezas que forman la *cabeza del ariete*: s es una válvula cuya densidad es dupla de la del agua; el agua puede levantarla por su velocidad y aplicarla contra la abertura v que se halla entonces exactamente cerrada, se la llama *válvula de detencion*. Cuando la válvula s está cerrada, el agua pasa por el conducto z y se eleva en el vaso de bronce vaciado bb', de donde pasa por la válvula c á la grande campana de bronce vaciado hh', para llegar en fin al tubo de ascension dek. Aquí el agua se detendria cuando hubiese llegado á la altura del nivel superior del manantial, si no hubiese una fuerza motriz capaz de impelerla mas arriba. Pero esta fuerza se desarrolla del modo siguiente. El agua del manantial habiendo adquirido bastante velocidad por su corriente natural, eleva la válvula s y cierra la abertura v; entonces la presion lateral que resulta del movimiento detenido, ejerce un esfuerzo sobre todos los puntos de la pared del tubo. Esta presion impele el líquido hácia z, la válvula c es levantada y el agua pasa á la campana hh'; la duracion de esta ascension es un poco prolongada, por la reaccion elástica de todas las piezas del aparato. Luego, la valvulilla c y la válvula s vuelven á caer por su peso, la una para cerrar la abertura del vaso bb', y la otra para abrir el orificio de derrame. La série de los efectos rápidos que se suceden hasta este instante, es lo que se llama un *golpe de ariete*. Desde que el derrame natural ha vuelto á empezar, la velocidad se acelera prontamente, la válvula s se eleva de nuevo, y se reproducen los mismos fenòmenos. Se determina por ensayos la disposicion de las piezas, y particularmente el juego que es menester dar á la válvula s, para obtener el mayor efecto posible. El límite de altura á la que se puede elevar el agua por medio de este aparato, depende del diámetro del tubo y de la velocidad que el agua puede tomar atravesándolo.

Se vé en p un émbolo que sirve para dar aire para reemplazar al que se halla en i, en el vaso bb', el que se disuelve poco á poco: el aire vuelve á entrar por sí mismo y por el juego del aparato.

Parece que en la práctica el ariete dá mas de 60 por 100 de la fuerza real del agua del manantial: esta es la cantidad que pueden dar á poca diferencia, las ruedas de cajones mejor construidas; otras ruedas hay que no dan mas que un 25 por 100.

CAPITULO IX.

Del movimiento de los gases.

113. Los gases pueden manar como los líquidos, por orificios hechos en paredes delgadas, por piezas de adicion ó por tubos. Pueden correr tambien bajo presiones constantes, como bajo presiones variables. Los aparatos por medio de los que se obtienen flujos constantes, se llaman *gasómetros*.

114. *De los gasómetros.*—Cuando se quiere una grande precision, el flujo constante del gas es producido por el flujo constante de un líquido; nada es mas cómodo para este uso, que el vaso de Mariotte. Se dispone en este caso como en la figura 133; el gran cuello del globo está unido al recipiente del gas; el agua cae por el orificio v: si entran 20 litros en 1', es menester que salgan 20 litros de gas en el mismo tiempo por los orificios, ó por los tubos de repartimiento. Para aplicar este principio á los gases diferentes del aire, se les recoge en grandes vejigas, ó en globos de bodruz, las que se encierran en un segundo recipiente; el aire que sale del primer recipiente llega al segundo, y ejerce contra sus membranas elásticas una presion constante, que produce un flujo tambien constante.

Los grandes gasòmetros para la iluminacion, están construidos bajo otro principio. Un cilindro de un solo fondo (fig. 166) está volteado sobre una cisterna llena de agua. Este cilindro es de hojas delgadas de metal, y tiene, por ejemplo, diez metros de diámetro, contiene cien metros cúbicos de gas, y pesa, supongo, 10000 kilógramos. No se hunde en el agua por estar lleno de gas, solo comprime con todo su peso este gas interior, y le mantiene á una presion mayor que la presion atmosférica. En nuestra hipótesis, este exceso de presion seria de 10000 kilógramos sobre una base de 10 metros de rádio; lo que hace poco mas ó menos una columna de agua de 13 centimetros. Si se concibe ademas que del fondo de la cisterna se eleva un tubo, que por una parte venga á abrirse un poco encima del nivel interior del agua, para comunicar con el gas del gasómetro, y que para la otra parte, vaya á subdividirse en una multitud de ramificaciones terminadas por otras tantas puntas de iluminacion, se verá que basta dar vuelta á una llave para iluminar una grande ciudad. El flujo del gas será constante, porque el gasómetro no sufrirá mas que una pequeña pérdida de peso sumergiéndose en el agua de la cisterna: por lo demas, se puede, por medio de contrapesos, darle aun mas regularidad ó moderar su presion. Para llenar el gasómetro se cierra la llave de distribucion y se abre otra llave que establece comunicacion entre las retortas en que se forma el gas y el tubo vertical, que se eleva desde el fondo de la cisterna sobre el nivel interior del gas.

115. *Ley de la corriente del gas, segun la teoría de Daniel Bernouilli* (1).—Daniel Bernouilli habia supuesto que el Teorema de Torricelli se aplica á los gases como á los liquidos, y partiendo de este principio, espresaba la velocidad del flujo de un gas por la fórmula siguiente:

$$v = \sqrt{2g.p.\frac{\pi}{\pi'}}.\sqrt{(1+at).(1-\frac{h'}{h})}.$$

v es la velocidad de la corriente, por segundo, espresada en metros.

g es la gravedad ó 9^m, 8088.

π es el peso de la unidad de volúmen del líquido, que sirve para medir la presion normal de los fluidos elásticos.

π' es el peso de la unidad de volúmen del gas que corre, tomado á la temperatura 0°, y bajo la presion normal.

p es la altura de la columna líquida, que mide la presion normal, de que antes se hizo mencion, espresada dicha altura en metros.

a es el coeficiente de dilatacion del gas.

t su temperatura.

h la presion *interior*, esto es, la que soporta el gas en el receptáculo de donde corre.

h' la presion *esterior*, esto es, la que se opone á la corriente.

Se supone que el gas corre por un orificio hecho en pared delgada, cuya seccion sea muy pequeña con relacion á la del gasómetro que suministra el gas, y à la del gasòmetro ú espacio que le recibe, y que las presiones h, h' no varian durante la esperiencia.

Si se toma por presion normal la atmosféri-

---

(1) La fórmula del Teorema de Torricelli es $v=\sqrt{2gh}$: para aplicarla á los gases es preciso sustituir á h su valor, y añadir lo correspondiente á la dilatabilidad de los gases segun la temperatura, y computar la presion que ejercen por su fuerza elástica: para lo primero, $h=p\times\frac{\pi}{\pi'}$, como se ve por sus valores: para lo demas tomemos la fórmula de la dilatabilidad de los gases (131. 2°) $c(1+at)$ siendo c el volúmen del gas, que ya está computado en $p.\frac{\pi}{\pi'}$; teniendo cuenta con la presion interior h y esterior h' se tendrá que multiplicar $(1+at)$ por $(1-\frac{h'}{h})$ lo quedará la fórmula

$$v=\sqrt{2g\times p.\frac{\pi}{\pi'}}.\sqrt{(1+at).(1-\frac{h'}{h})}.$$

Segun la teoría de M. Navier, presentada á la Academia de las ciencias el año de 1830, la ley del derrame de los gases, se espresa por la fórmula

$$v=\sqrt{2k(Log.\,p-Log.\,p')}$$

v es la velocidad del derrame

p la presion interior

p' la presion esterior

$2k$ un coeficiente constante igual á 155610 para el aire á la temperatura 0°, y que para los demas gases á la misma temperatura es mayor ó menor en razon inversa de sus densidades: debe multiplicarse por 2, 30206 si se usa de las tablas de los logaritmos ordinarios.

Esta fórmula se usa solamente cuando el orificio de derrame es muy pequeño, comparado con la seccion del gasómetro.

13

esfuerzo podria romperla, si la velocidad fuése bastante: al contrario la parte posterior tendiendo á impeler la parte detenida, esperimentaria una presion en toda su longitud y todas sus secciones serian comprimidas las unas sobre las otras. Del mismo modo, cuando una columna de agua se halla en movimiento en un tubo, y de repente la detiene un obstáculo, comprime este obstáculo en virtud de su velocidad adquirida; la primera seccion que le toca es luego detenida y comprimida á la vez por la seccion que viene despues, y así sucesivamente hasta la cabeza de la columna: durante este tiempo, que es muy corto, el tubo soporta un exceso de presion lateral que depende de su diámetro, y de la velocidad del agua, y este exceso de presion que resulta del movimiento detenido, viene á ser la fuerza motriz del ariete hidráulico.

tt' (fig. 169) es un tubo en el que se mueve el agua de un manantial con una velocidad dependiente de la altura de la caida; este es el *cuerpo del ariete*. El agua se derramaria por el orificio v, si no hubiese obstáculo, y tomaria el nivel nn', que es el nivel natural, debajo de la caida; pero hácia esta estremedidad del tubo se ajustan diferentes piezas que forman la *cabeza del ariete: s* es una válvula cuya densidad es dupla de la del agua; el agua puede levantarla por su velocidad y aplicarla contra la abertura v que se halla entonces exactamente cerrada, se la llama *válvula de detencion*. Cuando la válvula s está cerrada, el agua pasa por el conducto z y se eleva en el vaso de bronce vaciado bb', de donde pasa por la válvula c á la grande campana de bronce vaciado hh', para llegar en fin al tubo de ascension dek. Aquí el agua se detendria cuando hubiese llegado á la altura del nivel superior del manantial, si no hubiese una fuerza motriz capaz de impelerla mas arriba. Pero esta fuerza se desarrolla del modo siguiente. El agua del manantial habiendo adquirido bastante velocidad por su corriente natural, eleva la válvula s y cierra la abertura v; entonces la presion lateral que resulta del movimiento detenido, ejerce un esfuerzo sobre todos los puntos de la pared del tubo. Esta presion impele el líquido hácia z, la válvula c es levantada y el agua pasa á la campana hh'; la duracion de esta ascension es un poco prolongada, por la reaccion elástica de todas las piezas del aparato. Luego, la valvulilla c y la válvula s vuelven á caer por su peso, la una para cerrar la abertura del vaso bb', y la otra para abrir el orificio de derrame. La série de los efectos rápidos que se suceden hasta este instante, es lo que se llama un *golpe de ariete*. Desde que el derrame natural ha vuelto á empezar, la velocidad se acelera prontamente, la válvula s se eleva de nuevo, y se reproducen los mismos fenòmenos. Se determina por ensayos la disposicion de las piezas, y particularmente el juego que es menester dar á la válvula s, para obtener el mayor efecto posible. El límite de altura á la que se puede elevar el agua por medio de este aparato, depende del diámetro del tubo y de la velocidad que el agua puede tomar atravesándolo.

Se vé en p un émbolo que sirve para dar aire para reemplazar al que se halla en i, en el vaso bb', el que se disuelve poco á poco: el aire vuelve á entrar por sí mismo y por el juego del aparato.

Parece que en la práctica el ariete dá mas de 60 por 100 de la fuerza real del agua del manantial: esta es la cantidad que pueden dar á poca diferencia, las ruedas de cajones mejor construidas; otras ruedas hay que no dan mas que un 25 por 100.

CAPITULO IX.

Del movimiento de los gases.

113. Los gases pueden manar como los liquidos, por orificios hechos en paredes delgadas, por piezas de adicion ó por tubos. Pueden correr tambien bajo presiones constantes, como bajo presiones variables. Los aparatos por medio de los que se obtienen flujos constantes, se llaman *gasómetros*.

114. *De los gasómetros.*—Cuando se quiere una grande precision, el flujo constante del gas es producido por el flujo constante de un liquido; nada es mas cómodo para este uso, que el vaso de Mariotte. Se dispone en este caso como en la figura 133; el gran cuello del globo está unido al recipiente del gas; el agua cae por el orificio v: si entran 20 litros en 1', es menester que salgan 20 litros de gas en el mismo tiempo por los orificios, ó por los tubos de repartimiento. Para aplicar este principio á los gases diferentes del aire, se les recoge en grandes vejigas, ó en globos de bodruz, las que se encierran en un segundo recipiente; el aire que sale del primer recipiente llega al segundo, y ejerce contra sus membranas elásticas una presion constante, que produce un flujo tambien constante.

Los grandes gasòmetros para la iluminacion, están construidos bajo otro principio. Un cilindro de un solo fondo (fig. 166) está volteado sobre una cisterna llena de agua. Este cilindro es de hojas delgadas de metal, y tiene, por ejemplo, diez metros de diámetro, contiene cien metros cúbicos de gas, y pesa, supongo, 10000 kilógramos. No se hunde en el agua por estar lleno de gas, solo comprime con todo su peso este gas interior, y le mantiene á una presion mayor que la presion atmosférica. En nuestra hipótesis, este exceso de presion seria de 10000 kilógramos sobre una base de 10 metros de rádio; lo que hace poco mas ó menos una columna de agua de 13 centimetros. Si se concibe ademas que del fondo de la cisterna se eleva un tubo, que por una parte venga á abrirse un poco encima del nivel interior del agua, para comunicar con el gas del gasómetro, y que para la otra parte, vaya á subdividirse en una multitud de ramificaciones terminadas por otras tantas puntas de iluminacion, se verá que basta dar vuelta á una llave para iluminar una grande ciudad. El flujo del gas será constante, porque el gasómetro no sufrirá mas que una pequeña pérdida de peso sumergiéndose en el agua de la cisterna: por lo demas, se puede, por medio de contrapesos, darle aun mas regularidad ó moderar su presion. Para llenar el gasómetro se cierra la llave de distribucion y se abre otra llave que establece comunicacion entre las retortas en que se forma el gas y el tubo vertical, que se eleva desde el fondo de la cisterna sobre el nivel interior del gas.

115. *Ley de la corriente del gas, segun la teoría de Daniel Bernouilli* (1).—Daniel Bernouilli habia supuesto que el Teorema de Torricelli se aplica á los gases como á los liquidos, y partiendo de este principio. espresaba la velocidad del flujo de un gas por la fórmula siguiente:

$$v=\sqrt{2g.p.\frac{\pi}{\pi'}}.\sqrt{(1+at).\left(1-\frac{h'}{h}\right)}.$$

v es la velocidad de la corriente, por segundo, espresada en metros.

g es la gravedad ó 9^{m}, 8088.

π es el peso de la unidad de volúmen del líquido, que sirve para medir la presion normal de los fluidos elásticos.

π' es el peso de la unidad de volúmen del gas que corre, tomado á la temperatura 0°, y bajo la presion normal.

p es la altura de la columna líquida, que mide la presion normal, de que antes se hizo mencion, espresada dicha altura en metros.

a es el coeficiente de dilatacion del gas.

t su temperatura.

h la presion *interior*, esto es, la que soporta el gas en el receptáculo de donde corre.

h' la presion *esterior*, esto es, la que se opone á la corriente.

Se supone que el gas corre por un orificio hecho en pared delgada, cuya seccion sea muy pequeña con relacion á la del gasómetro que suministra el gas, y à la del gasòmetro ú espacio que le recibe, y que las presiones h, h' no varian durante la esperiencia.

Si se toma por presion normal la atmosféri-

---

(1) La fórmula del Teorema de Torricelli es $v=\sqrt{2gh}$: para aplicarla á los gases es preciso sustituir á h su valor, y añadir lo correspondiente á la dilatabilidad de los gases segun la temperatura, y computar la presion que ejercen por su fuerza elástica: para lo primero, $h=p\times\frac{\pi}{\pi'}$, como se ve por sus valores: para lo demas tomemos la fórmula de la dilatabilidad de los gases (131. 2°) $c(1+at)$ siendo c el volúmen del gas, que ya está computado en $p.\frac{\pi}{\pi'}$; teniendo cuenta con la presion interior h y esterior h' se tendrá que multiplicar $(1+at)$ por $\left(1-\frac{h'}{h}\right)$ lo quedará la fórmula

$$v=\sqrt{2g\times p.\frac{\pi}{\pi'}}.\sqrt{(1+at).\left(1-\frac{h'}{h}\right)}.$$

Segun la teoría de M. Navier, presentada á la Academia de las ciencias el año de 1830, la ley del derrame de los gases, se espresa por la fórmula

$$v=\sqrt{2k(Log.\,p-Log.\,p')}$$

v es la velocidad del derrame

p la presion interior

p' la presion esterior

$2k$ un coeficiente constante igual á 155610 para el aire á la temperatura 0°, y que para los demas gases á la misma temperatura es mayor ó menor en razon inversa de sus densidades: debe multiplicarse por 2. 30206 si se usa de las tablas de los logaritmos ordinarios.

Esta fórmula se usa solamente cuando el orificio de derrame es muy pequeño, comparado con la seccion del gasómetro.

ca, medida por una columna de mercurio, será $p=0,^{m}76$; $\pi=13598^{kil}$.

Si se trata del'aire, se tiene ademas $\pi'=1^{k},2991$, y la fórmula se reducirá á

$$v=395\times\sqrt{(1+at).\left(1-\frac{h'}{h}\right)}.$$

Si se trata de otro gas, cuya densidad sea d, respecto del aire, se tendrá para este gas π'' en lugar de π' y tambien $\frac{d}{1}=\frac{\pi''}{\pi'}$, ó $\pi''=d\pi'$, y la fórmula anterior se reduce á

$$v=395.\sqrt{\left(\frac{1+at}{d}\right).\left(1-\frac{h'}{h}\right)},$$

la que se hace entonces absolutamente general y aplicable á cualquiera gas, siendo d la densidad de aquel gas, respecto del aire.

Por lo que mira á las presiones h' y h, como no entran sino por su relacion, se puede al arbitrio espresarlas en columnas de agua ó de mercurio.

Hechos los cálculos para el aire á la temperatura 0°, y bajo presiones no muy diversas de la atmosférica, se obtienen los resultados siguientes:

Exceso de presion en mercurio.	*Velocidades en 1" en metros.*
2 *milímetros.*	20 *metros.*
5	32
10	45
20	64
30	78
40	91
50	101
60	111
100	135
150	160
200	180

Así, no obstante ser muy pequeñas las diferencias de presion, el aire adquiere velocidades muy considerables.

Si se representa por s la seccion, en metros cuadrados, del orificio por el que sale el aire, sv es el volúmen que pasa por el orificio en 1" y svn el volúmen que pasa en n segundos; esto es lo que se llama *pérdida teórica;* llamándola m, esta pérdida espresada en metros cúbicos es

$$m=svn.$$

Resulta de los mismos principios, que conducen al valor general de la velocidad, que el volúmen que constituye la pérdida, se ha medido bajo la presion *interior* h, y nv bajo la *esterior* h'.

Para verificar esperimentalmente esta fórmula, se llena un gasómetro, se observan las presiones, se mide el orificio, se cuenta el tiempo de la esperiencia, y por diversos medios se calcula el volúmen que ha corrido, ó la *pérdida real* m'. Entonces, representando por v' la velocidad real, que es desconocida, se tiene

$$m'=sv'n, \text{ de que resulta } v'=\frac{m'}{sn}$$

La esperiencia demuestra que esta velocidad no coincide con la velocidad teórica v, que se deduce de las presiones observadas.

Se encuentra $v'=0,65\,v$ para los orificios hechos en pared delgada.
$v'=0,93\,v$ para los tubos de adicion cilíndricos.
$v'=0,94\,v$ para los tubos adicionales un poco cónicos y divergentes hácia fuera.

Como estos resultados son del todo análogos á los que se obtienen en los líquidos, en los que la contraccion de la vena es un fenómeno visible y fácil de medir, se infiere que tambien en los gases hay contracciones de la vena fluida. Entonces la velocidad teórica es exacta; pero en lugar de aplicarla á la seccion del orificio, se debe aplicar á una seccion mas pequeña, en la proporcion que acabamos de indicar.

Así la pérdida real será en general

$$m'=ksvn,$$

siendo k *el coeficiente de la pérdida* ò de la *contraccion*, cuyos valores varian desde 0, 65 hasta 0, 93 ó 0, 94, segun se trate de orificios en pared delgada, de tubos adicionales cilíndricos, ó un poco cónicos, como los tubos de comunicacion de los fuelles; v la velocidad teórica; s la seccion del orificio, y n el número de segundos de tiempo, correspondiente á la pérdida m'.

Así, siendo las presiones de cerca de dos centímetros de mercurio en la fragua de Mariscal; de 3 en los hornos á la Wilkinson; de 3 á 6 en los hornos grandes de leña, segun que el carbon es blando ó duro; de 10 á 12 en los grandes hornos de *coke*; se ve que en estos diversos aparatos, el aire adquirirá en el tubo de comunicacion, velocidades comprendidas entre 70, 160, y 180 metros por segundo, si la fórmula de

Bernouilli fuera aplicable á estos últimos casos. Pero vamos á ver que bajo estas presiones fuertes, es poco probable que el aire adquiera velocidades que pasen de 100 metros, á lo menos, cuando se entienda por esto, no la velocidad propia de las moléculas fluidas, que queda enteramente desconocida, sino solo su *velocidad reducida*, esto es, aquella cuyo calor se obtiene refiriendo á la presion interior del receptáculo, el volúmen de gas que ha salido.

Se puede, sin embargo, comparar estas velocidades á las del viento, que parecen estar conformes con la tabla siguiente, cuanto lo pueden indicar algunas observaciones muy poco ciertas.

TABLA DE LAS VELOCIDADES DEL VIENTO.

DESIGNACIONES.	Velocidad por segundo en metros.	Velocidad por hora en kilómetros.
Viento apenas sensible.	1	3, 6
Viento moderado.	2	7, 2
Viento fresco ú *brisa* (que tiende bien las velas).	6	21, 6
Viento el mas conveniente para los molinos.	7	25, 2
Viento bien fresco, muy á propósito para la navegacion. . . .	9	32, 4
Viento muy fresco, que hace plegar las velas altas.	12	43, 2
Viento muy fuerte.	15	54, 0
Viento impetuoso	20	72, 0
Viento de tempestad.	27	97, 0
Huracán.	36	129, 6
Huracán que echa por tierra los edificios.	45	162, 0

Así los huracanes mas violentos parecerian corresponder á una diferencia, de presion de cerca de un centímetro de mercurio, y bastaria una de 1 ó 2 milímetros para producir vientos demasiado fuertes.

116.—Se debe à M. Combes un *anemómetro* que se adopta hoy generalmente para medir la velocidad del viento, ó la de las corrientes de aire en las minas. Está representado, en escala de la mitad de su tamaño, en la figura 1.ª (1) Un pequeño molinete de cuatro aspas inclinadas, cuyo eje a, tiene un tornillo sin fin, hace mover la rueda r, y á cada vuelta de esta, pasa un diente de la rueda r'. Por medio de la varilla t se dispone el aparato, de modo que su eje esté en la direccion de la corriente; en un momento dado se estira uno de los cordones c, que desprende el fiador d: al punto las aspas dan vuelta, y en algunos segundos adquieren toda su velocidad. A los dos ó tres minutos se estira el otro cordon c', para contener el movimiento, por medio del fiador. Se conoce así el número de segundos que ha durado el movimiento del aparato y el número de vuelta que ha dado: puesto que este número se lee en las ruedas r y r'. Dividiendo el segundo número de estos por el primero, se obtiene el número n de revoluciones en 1"; entonces sustituyèndolo en una ecuacion de la forma siguiente

$$v=0^{m},2578\ 0916n$$

que resulta de la graduacion del instrumento, se deduce la velocidad v de la corriente, espresada en metros, para 1". (*Anal. de Min. t.* 13, 1838).

El anemómetro de M. Combes parece dar con grande aproximacion las velocidades comprendidas entre medio metro y 5 ó 6 metros, y acaso tambien hasta 10. La fórmula sin duda no seria la misma si se tratase de grandes velocidades, pe-

(1) Estas figuras notadas con a, b, y c, son las que el autor agregó en esta cuarta edicion, y que van todas reunidas en las láminas siguientes, segun el órden con que el mismo autor las puso.

ro seguramente se podria, para tales velocidades, hacer un aparato menos delicado, que empezase á marcar las velocidades cuando fuesen ya de 3 ó 4 metros.

117. La fórmula de Bernouilli, no se aplica, segun lo dicho, sino para orificios de pequeñas dimensiones con relacion al recipiente, hechos en paredes delgadas, ó con tubos de adicion muy cortos. Añadiremos á lo dicho, que se restringe al caso en que la diferencia de presiones no pase de 10 centímetros de mercurio. Cuando los gases corren por largos tubos, es menester usar de otras fórmulas mucho mas complicadas, en las que entran las longitudes y diámetros de los conductos. Cuando las diferencias de presion son considerables, es necesario, aun para los orificios en paredes delgadas y de pequeñas dimensiones, recurrir á otras fórmulas; y es probable que en este caso se llegue á espresiones generales. Esto es al menos, lo que parece indicar un trabajo notable que sobre este objeto hicieron MM. Barré de Saint-Venant y Wantzel (*Diario de la Escuela Polytécnica*, *t.* 16, 1839). Resulta en efecto de las esperiencias hechas con mucho cuidado por estos dos hábiles observadores, que el aire tomado á la presion ordinaria, entrando en el vacío no tiene mas velocidad, que si entrara en un recipiente, en que haya una presion comprendida entre 0 y 50 centímetros de mercurio. Parece, pues, que hay al menos para este caso, un máximum de velocidad y solo llega á 158 metros si el orificio es en pared delgada, y 178 si está ensanchado hácia arriba, 192 si lo está hácia abajo y hácia arriba. Estas eran, como hemos notado ya, las *velocidades reducidas*.

Estos resultados hacen ver que la fórmula de Bernouilli no es aplicable cuando la diferencia de presiones excede á 10^c ó 12^c de mercurio; puesto que las velocidades que da entonces son de 130 á 150 metros, mientras que las esperiencias de MM. de Saint-Venant y Wantzel, indican cuando mas 100 metros para las mismas presiones.

Es muy de desear que estas esperiencias se repitan aplicándolas á los otros gases como al hidrógeno, y bajo otras presiones como la de los fusiles de viento; porque parece imposible que un fluido dé á un proyectil una velocidad mayor que la que él mismo tiene, y parece que en los fusiles de viento ordinarios, la velocidad de los proyectiles excede á 300 metros.

La velocidad real de las moléculas seria, pues, incomparablemente mayor que la velocidad reducida; pero la conexion que existe entre ellas queda por determinar, porque no parece muy exacta la representada por la teoria ingeniosa y notable de M. Navier. (*Véanse las Memorias de la Acad. de las Ciencias*, 1830; *y el trabajo citado arriba de MM. de Saint-Venant et Wantzel.*)

118. *Máquinas para soplar.*—Se emplean para los altos hornos y los grandes fuegos de fragua, máquinas para soplar, de diferentes formas. Se ha representado en la figura 167 la que está en el dia adoptada en las mejores fundiciones: *cc* es un cilindro de hierro fundido pulido, *p* un émbolo cuya varilla *t* pasa por una caja con estopa *d*; el fondo superior, y el fondo inferior del cilindro llevan cada uno lateralmente dos válvulas *a b'* y *a'*, *b*. Las dos válvulas *a* y *a'* son las *válvulas de aspiracion*, se abren de fuera adentro; las dos válvulas *b* y *b'* son las *válvulas de espiracion*, estas se abren de dentro afuera. Una rueda hidráulica ó una máquina de vapor, imprime el movimiento de vaiven al émbolo. Se ve que durante el descenso solo están abiertas las válvulas *a* y *b*, la primera para aspirar, y la segunda para espirar; sucede lo contrario cuando sube el émbolo. El aire espirado es comprimido y recogido en un tubo *g h*, para ser conducido de allí al fuego.

El *fuelle de sala* (fig. 178) es en algun modo mas complicado que la máquina de émbolo; con todo, por lo que acabamos de decir, pueden fácilmente esplicarse sus efectos: cuando se abren las dos alas *m* y *m'*, se disminuye la presion del aire, ensanchando el espacio que ocupa, entonces la presion atmosférica excede á la presion interior, levanta la válvula *s'*, que no es mas que una tira de cuero fija por un lado, y aplicada sobre la abertura ó *alma del fuelle:* al mismo tiempo la válvula *s* permanece cerrada por el efecto de la presion del aire contenido en la segunda division que comunica con el regaton *d*. Por el contrario, cuando se aproximan las alas, el aire se comprime, cierra la válvula *s'*, y abre la válvula *s* para pasar á la segunda division, y de aquí salirse.

El fuelle de fragua no es otra cosa que un gran fuelle de sala.

119. *De las presiones laterales de los gases durante su corriente.*—Se produce en los grandes fuelles de fragua un fenómeno notable,

que ha sido descrito por M. Clement-Desormes. (*Ann. de phis. et de Chim. t.* 36 *pág.* 69.) Haciéndose una abertura de 5 ó 6 centímetros de diámetro en la pared *plana* de un depósito de aire comprimido, se escapa por ella el aire con grande violencia; pero si se aproxima á él un disco de madera ó de metal de cerca de 20 centímetros de diámetro, y despues de haber vencido la primera resistencia, se aplica sobre la abertura, ya no es repelido como al principio, oscila vivamente alejándose ó aproximándose á la abertura en límites muy estrechos, como si fuera alternativamente atraido y repelido; el aire continúa escapándose con grande ruido entre la superficie del disco y de la pared; y si entonces se quisiese retirar el disco, seria menester un grande esfuerzo: aunque separado de la pared, parece pegado contra ella. M. Clement-Desormes da de este fenómeno una esplicacion, que parece del todo conforme á los principios del movimiento de los fluidos. La vena que sale de la abertura debe esparcirse en lámina muy delgada para pasar entre el disco y la pared (fig. 175); que dando el mismo su espesor, debe ensancharse á medida que se aproxima á la circunferencia del disco; así se halla en el mismo caso que la vena fluida que ha de llenar un cono, cuyas secciones van siempre en aumento: de aquí una especie de succion del todo semejante, á la que se observa en los tubos de adicion cónica.

LIBRO SEGUNDO.

DEL CALORICO.

NOCIONES GENERALES.

120. El aire, el agua y los diferentes cuerpos de la naturaleza, pueden escitar en nosotros sensaciones particulares, que se llaman sensaciones de *calor* ó de *frio*. Estas afecciones se producen en el contacto, ó à grandes distancias, y son de tal naturaleza, que no podemos atribuir su causa à la substancia propia de los cuerpos. En presencia de un fuego encendido, juzgamos fàcilmente que no es la materia del carbon la que viniendo bajo forma invisible nos toca y nos calienta; y cuando recibimos los rayos solares, juzgamos del mismo modo, que no es la materia ponderable del sol la que desciende hàcia la tierra para producir en nuestros ojos la impresion de la luz, y sobre todas las partes sensibles de nuestra organizacion, la impresion del calor. Hay, pues, un *agente* que es distinto de la substancia propia de los cuerpos, que reside en su masa, que se trasmite à distancia, que establece una continua comunicacion entre ellos y nosotros, y que es la *causa* de las sensaciones de calor y de frio, que esperimentamos. Este agente ha recibido diferentes nombres: al principio, confundiendo la causa con el efecto, se le ha llamado *calor;* despues, por razon de conocimientos mas exactos sobre su modo de existir, se le ha llamado *fluido igneo*, *materia del fuego*, *etc.;* en fin, en la reforma de la nomenclatura química, Lavoisier, Berthollet, y Fourcroy le han llamado *calórico*. Esta denominacion ha sido adoptada por todos los fisicos, y se ha conservado el nombre *calor*, para designar la ciencia que trata de las propiedades, efectos y leyes del *calórico*.

Con todo, no nos atenemos siempre á estas estrictas definiciones; sucede muy á menudo que la voz *calor* se usa para designar el mismo agente que produce estos fenómenos, y que la voz *calórico* es tambien empleada, para designar el conjunto de nuestros conocimientos sobre estos fenómenos y sus leyes.

121. El calórico no obra solo sobre los cuerpos organizados, sino que obra tambien sobre los cuerpos inorgánicos. El hielo puede fundirse, el agua puede entrar en ebullicion, el hierro puede enrojecerse en el fuego: todos estos fenómenos y tantos otros de la misma especie, reconocen necesariamente una causa, y nuestros sentidos nos advierten que esta causa es el calòrico. Hay una tal correspondencia, una tal simultaneidad entre estas modificaciones que sobrevienen á los cuerpos, y las variaciones que sobrevienen á nuestros sentidos, que tememos muy poco el engañarnos formando este juicio. Estas solas indicaciones pueden servirnos para clasificar los fenómenos del calórico, y establecer desde luego, el órden bajo el que debemos estudiarlos.

Dividiremos la teoria del calor en *dos partes*. La primera tendrá por objeto los *dos efectos físicos*, que el calórico produce en todos los cuerpos, á saber: 1.° *el cámbio de volúmen*, *ó la dilatacion*, *los cámbios de estado* ó el tránsito del estado sólido al de liquidez, y del estado líquido al de vapor.

La segunda *parte* tendrá por objeto: 1.° la propagacion del calórico, que comprende la *conductibilidad*, ó la propagacion en el contacto, y el *calórico radiante*, ó la propagacion á distancia: 2.° la *calorimetria* ó la medida de las cantidades de calórico, que son necesarias para producir efectos determinados.

Procuraremos desde luego dar una idea de los fenómenos que sirven de base á estas divisiones de la teoría del calor: estas indicaciones generales son tanto mas necesarias, cuanto que no podremos tratar de la segunda parte del calor, sino despues de haber visto la óptica.

122. *Mutaciones de volúmen*. Se ha visto (15) que el calórico *dilata* todos los cuerpos, que el volúmen de un cuerpo cualquiera, depende del grado de calor que esperimenta, y que sien do todo lo demas igual, el mismo grado de calor le da siempre exactamente el mismo volúmen. Así los grados de dilatacion pueden servirnos para medir los grados de calor. Se llama *temperatura* de un cuerpo, el volúmen que toma por el influjo del calórico, y se llaman *termómetros*, los instrumentos que sirven para medir las temperaturas.

La figura 176 representa un *termómetro de mercurio;* la bola *b* está llena de mercurio, y este líquido se eleva en el *tubo t* hasta cierta altura *h*, que depende de la temperatura. Cuando se calienta la bola, el mercurio *aumenta* de volúmen, el termómetro *sube*, y se dice que la *temperatura* se eleva: cuando se la enfria, el mercurio *disminuye* de volúmen, el termómetro *desciende*, y la *temperatura* baja. Todas las veces que el termómetro vuelve al mismo punto, ó al mismo estado de volúmen, la temperatura es la misma. Si se tomase otro termómetro de mercurio, mayor ó mas pequeño que el primero, estos dos instrumentos subirian, ó bajarian juntos; pero las ascensiones ó las depresiones podrian ser muy diferentes; siendo iguales los receptáculos, bastaria, por ejemplo, que el tubo del primero tuviese un diámetro diez veces mayor que el tubo del segundo, para que sus movimientos tuviesen cien veces mayor estension; cuando subiera el primero 100 kilógramos, el segundo no subiria, sino un solo milímetro. El uno seria cien veces mas sensible que el otro.

Estos termómetros no podrian servir, sino para indicar temperaturas *iguales*, temperaturas mas *elevadas*, y temperaturas *mas bajas*, segun que el vértice de la columna volviese á un mismo punto fijo, ó que variase arriba ó abajo de él. De este modo podrian ya ser de alguna ventaja para la ciencia: pero lo que hay de esencial en los termómetros es su *graduacion;* porque solo graduándoles se puede llegar á espresar las temperaturas por números, compararlas entre sí, y deducir las leyes del calórico.

Los principios de la graduacion de los termómetros se fundan sobre este hecho: que hay fenómenos que se reproducen á la misma temperatura. Así tomando en la palma de la mano uno de los termómetros precedentes, se le verá subir mas ó menos, segun que las manos estén mas ó menos calientes ó frias. Pero si se tiene la paciencia de aguardar y tener las manos cerradas, hasta que se hayan calentado lo mas posible, se verá que el termómetro, sube lentamente hasta á cierto límite, al que llegará siempre; pero que no le pasará. En todas las estaciones, en todos los climas y en todos los individuos, se detiene en el mismo punto ó á muy poca diferencia. Así la temperatura del cuerpo humano es una temperatura constante, y ofrece un *punto fijo*, que se podria tomar por punto de partida para la evaluacion numérica de las temperaturas. Con todo, hay otros fenómenos que son matemáticamente mas constantes, y à los que es mas simple el recurrir: tales son por ejemplo, las variaciones de estado de los cuerpos.

123. *Variacion de estado*.—La mayor parte de los cuerpos sólidos pueden pasar al estado líquido: así el hielo se funde y da orígen al agua, que tiene la misma composicion química que el hielo, con la sola diferencia del estado de agregacion de las moléculas: sucede lo mismo con la cera, el plomo, el oro, el hierro, etc.; estos cuerpos se llaman cuerpos fusibles, porque sus elementos materiales, sin ser separados ò modificados químicamente, pueden tomar el estado líquido, bajo la influencia del calórico, y de volverse despues al estado sólido.

La mayor parte de los cuerpos líquidos pueden pasar al estado de vapor ò de fluido elàstico; así cuando se hace hervir agua en un vaso, la masa de agua se disminuye ràpidamente, y con todo, las moléculas de agua que parecen desaparecer, no son destruidas ni modificadas químicamente; toman el estado de vapor, es decir, que forman entonces un fluido elàstico análogo al aire; y si este vapor es recogido y enfriado, reproduce exactamente todo el peso de agua que habia desaparecido. Sucede lo mismo con el alcohol, el ether, el mercurio, el zinc, la sal comun, etc.

Para producir estas mutaciones de estado, es decir, para *fundir* ó *vaporizar* los cuerpos, es menester darles cierta temperatura. Pero se ha observado tiempo hace, un hecho fundamental, á saber, que un mismo cuerpo se liquida siempre exactamente, à la misma temperatura; en el *hielo al liquidarse* un termómetro vuelve siempre exactamente al mismo punto, ya sea este hielo formado artificialmente ó por la misma naturaleza, encima de los montes, sobre los rios ó sobre los mares. Sucede lo mismo con la cera, el plomo etc. Cada cuerpo tiene su punto de fusion, que es perfectamente fijo.

Se ha observado despues que sucede lo mismo con el *punto de ebullicion*. Así cuando el agua hierve con fuerza, atizando el fuego con mayor viveza, se llega à hacerla hervir mas veloz, pero no se la calienta mas. El termómetro se mantiene en el mismo punto perfectamente inmóvil; sucede lo mismo con los demas líquidos; cada uno tiene su punto particular de ebullicion. Dèbese no obstante añadir que para cada líquido, el punto de ebullicion cambia con la presion que soporta su superficie, y que cambia por consiguiente con la altura del barómetro: pero bajo la misma presion, el punto de ebullicion es fijo.

Concibamos entre tanto, que se toman dos puntos fijos, el de la flusion del hielo, por ejemplo, y el del agua hirviendo, y que habiéndoles señalado en el tubo del termómetro, se divide en cien partes iguales el intervalo que les separa, y que se continuan las divisiones por encima y por debajo de los puntos estremos; así se tendrá un *termómetro graduado*, que se llama *termómetro centesimal*. El cero, ó el principio de la escala, se pone en el punto de la fusion del hielo, y las divisiones que estàn debajo de *cero* se distinguen por el signo *menos*; así—10°,—20° significan diez, veinte grados bajo la fusion del hielo.

124. *Propagacion del calórico*.—El calórico se propaga en el contacto en lo interior de los cuerpos, y á distancia al traves del aire y de diferentes medios.

En el contacto se difunde de capa en capa hasta las moléculas mas interiores de los cuerpos. En el fuego de fragua, por ejemplo, las piezas de hierro al principio se calientan en su superficie, despues el calórico gana poco á poco, y penetra en fin toda la estension de la masa, que está rodeada de fuego. Esta propagacion interior del calórico, es lo que se llama la *conducibilidad ó conductibilidad*, que es mas ó menos rápida, segun la naturaleza de los cuerpos. Se llaman *buenos conductores* los que se dejan penetrar fácilmente por el calor, y toman rápidamente la temperatura que deben tener, *y malos conductores* los que se dejan penetrar mas difícilmente, que mas lentamente adquieren el equilibrio de temperatura en todas sus partes. Los metales son en general buenos conductores.

El vidrio, el azufre, el carbon, piedras de diferentes especies, todas las substancias vegetales y animales, son en general malos conductores; los líquidos y los gases son los peores conductores que se conocen.

A distancia, el calórico se propaga poco mas ó menos como la luz; atraviesa el vacio con una grande velocidad, como la luz atraviesa los espacios celestes*;* pasa por ciertos cuerpos sin detenerse en ellos, sin calentarlos, como la luz pasa por el vidrio sin estinguirse ni hacerlo luminoso. Este modo de *propagacion* es lo que se llama *irradiacion del calórico*: por irradiacion el calórico del sol llega á la tierra, tambien por irradiacion una chimenea nos calienta al traves de las capas de aire que nos separan de ella, y un cuerpo muy poco caliente nos hace sentir su presencia aun á grande distancia. El calórico radiante pasa á ser calórico ordinario cuando es absorvido por los cuerpos, y se difunde por su conductibilidad en las diferentes partes de su masa; y recíprocamente el calòrico que se escapa de los cuerpos á medida que se enfrian, sale bajo la forma de calórico radiante, á no ser que encuentre inmediatamente cuerpos que le absorvan y en los que no pueda pasar mas que de molécula en molécula.

125. *Calorimetria.*—La calorimetria comprende, 1. ° el calórico específico; 2. ° el calórico latente; 3. ° la medida de las cantidades de calor que las diferentes fuentes de calor y de frio producen ó absuerven.

El calórico específico de un cuerpo es el número de unidades de calor que un kilógramo de este cuerpo exige para que su temperatura se eleve 1°. Siendo convencional la unidad de calor como todas las unidades de que nos servimos para valuar númericamente las magnitudes, se ha convenido en tomar por unidad de calor la cantidad de calor que es necesario para elevar 1° sobre cero la temperatura de 1 kilógramo de agua; porque esta cantidad es siempre constante. Asi cuando se dice que el calórico especifico del mercurio es $\frac{1}{30}$ se significa con esto que para elevar 1° la temperatura de 1 kilògramo de mercurio no es menester mas que $\frac{1}{30}$ de la cantidad de calor que es necesaria para elevar 1° la temperatura de un kilógramo de agua. *Capacidad para el calórico, y calórico especifico*, son dos espresiones sinónimas, la primera parece indicar mejor, que la cantidad de calórico necesaria para producir en un cuerpo una mutacion de temperatura determinada, es del todo dependiente de la substancia propia del cuerpo, y que es mas bien una propiedad de esta misma substancia que una propiedad del calórico.

El calórico latente es el número de unidades de calor que este cuerpo absorve, ó despide en el momento de mudar de estado. Es necesario citar aquí un ejemplo para hacer comprender bien esta definicion: 1 kilògramo de hielo á la temperatura de cero, y 1 kilògramo de agua á la temperatura 79°, dan despues de su mezcla y despues de la liquidacion completa del hielo dos kilògramos de agua á la temperatura de cero. Asi el hielo ha sido fundido peró no ha cambiado de temperatura: el agua caliente á 79° ha quedado líquida, pero se ha enfriado hasta la temperatura del hielo. Luego el kilógramo de hielo para *fundirse* ha *absorvido* todo el calórico que ha perdido el kilógramo de agua descendiendo desde 79° hasta 0; lo ha absorvido para liquidarse, pues que su temperatura no ha cambiado. El calórico absorvido y como disimulado en la masa liquida que resulta de la fusion, es el *calórico latente, ó el calórico de fusion*. El agua congelándose reproduce y despide de nuevo durante su *solidificacion* todo el calórico que habia absorvido durante la fusion, es decir, que 1 kilógramo de hielo à 0, y 1 kilógramo de agua á 0, no tiene la misma cantidad de calórico aunque se hallen á la misma temperatura: el agua tiene mas que el hielo, y el que ella despide mientras se congela seria capaz de elevar otro kilógramo de agua de 0 á 79°.

El mismo fenómeno se produce en el tránsito del estado líquido al de vapor. En el momento de su formacion, el vapor se halla á la misma temperatura que el líquido de que se desprende; pero á peso igual tiene mucho mas calórico, porque lo absorve à medida que se forma, y mucho mas del que se absorve el hielo cuando se liquida. Este calórico absorvido y disimulado en la masa gaseosa del vapor se llama tambien *calórico latente*, y algunas veces *calórico de vaporizacion ó calórico de elasticidad*. Cuando el vapor vuelve al estado líquido, reproduce y arroja de nuevo durante su *condensacion* toda esta cantidad de calórico que habia tomado durante su formacion.

Estas absorciones de calòrico en proporciones diferentes durante la fusion y la vaporizacion, y las reproduciones iguales durante la solidificacion y la condensacion, se manifiestan necesariamente en todos los cuerpos. El fenómeno del calor latente es una condicion esencial de las mutaciones de estado.

Las fuentes del calor y del frio dan y absorven cantidades de calórico que pueden medirse y espresarse númericamente como el calórico específico y el latente; para comprenderlo basta volver la vista sobre los fenómenos naturales y examinar las causas generales de la calefaccion, y del enfriamiento. En efecto el calórico puede ser acumulado en los cuerpos, pero no puede ser detenido y encerrado en ellos, como el agua, el aire, y los demas fluidos ponderables lo están en los vasos. Ninguna substancia es impenetrable para el calórico; este es un fluido *incoercible* que está continuamente en movimiento para comunicarse de capa en capa á los cuerpos contiguos, ó para difundirse en el espacio bajo forma radiante. Si un cuerpo calentado hasta enrojecerse, como una bala, por ejemplo, estuviese hundido diez metros bajo la tierra, todo el mundo sabe que su calor se comunicaria á las capas que le rodean, de estas á las que siguen, y asi de una á otra hasta grandes dis-

tancias: despues de un tiempo bastante largo, esta bala se enfriaria pero no se habria perdido ninguna porcion de calor; estaria repartido en los cuerpos vecinos, y en rigor se podria volver á hallar y recogerle todo. Cuando un cuerpo se enfria en el aire, el fenòmeno es diferente: una porcion de su calor pasa à las moléculas de aire que le tocan, pero otra se escapa bajo forma radiante, con poca diferencia como la luz se escapa de la llama, y estos rayos de calòrico se esparcen por todas partes; los unos caen sobre cuerpos que les detienen y les absorven en parte, los otros se elevan hácia el zenit, atraviesan todo el espesor de la atmósfera, y van á *perderse* en el vacio del cielo. Algunos sin duda van á caer sobre el sol y los cuerpos celestes, como tambien la luz de una bugia se difunde hasta los astros. Esto que es verdadero en un cuerpo suspendido en el aire, lo es tambien en el globo entero de la tierra, suspendido en medio del espacio. Asi la tierra se enfria: cada instante, la atmósfera y todos los cuerpos tetrestres que están espuestos al aspecto del cielo, pierden parte de su calórico por la irradiacion. Es menester, pues, que haya manantiales de calor que reparen las pérdidas, que cada instante hace la tierra, y que puedan mantener sobre su superficie esta temperatura media, cuya intensidad es una condicion necesaria para los fenómenos de la vegetacion y para las funciones de la vida.

Veremos que hay tres fuentes de calor para compensar el enfriamiento que la tierra esperimente, y para mantener de un modo casi permanente el equilibrio de las temperaturas terrestres.

La primera es un calor primitivo que reina aun á grandes profundidades, y que se disipa poco à poco: esta conserva las partes centrales de la tierra en un calor sin duda mayor que el de hierro fundido, pero no contribuye mas que en una débil proporcion, á las temperaturas de la superficie.

La segunda es el calor solar cuya medida daremos en los elementos de meteorologia: veremos que todo el calórico que el sol difunde sobre la tierra en el curso de un año, es capaz de fundir cierta cantidad de hielo, que hemos llegado á determinar por medios simples y rigorosos.

La tercera fuente de calor es la que resulta de las acciones mecánicas y químicas, que se ejecutan en la materia. El simple contacto de los cuerpos desarrolla el calor; la compresion, la frotacion, la percusion y todas las mutaciones mecánicas, que pueden esperimentar las moléculas materiales, desarrollan del mismo modo calor ó frio. En fin, las combinaciones químicas, ya las naturales que acompañan el nacimiento, el desarrollo y descomposicion de los seres, ó las accidentales, que son productos del arte, son otros tantos fenómenos de produccion de calòrico ó de frio, cuyas leyes importa conocer (1).

(1) Se han imaginado dos hipótesis diferentes para esplicar los fenómenos calorificos. La una considera al calor como una materia imponderable y muy sutil lanzada de un cuerpo á otro con una velocidad comparable á la de la luz, y que por consiguiente es imposible de medirse directamente en la superficie de la tierra. El calor en estado de combinacion en el interior de los cuerpos, puede escaparse por su superficie esterior. Cuando sus rayos, despues de atravesar los fluidos elásticos, encuentran con un cuerpo sólido ó liquido, una gran parte es reflejada, otra es absorvida, y dejando de ser radiante, produce otros fenómenos. Tal es el sistema de la emision: el calor asi considerado como un fluido transportable y susceptible de combinarse en mayor ó menor cantidad con las moléculas ponderables de los cuerpos, toma con mas particularidad el nombre de *calórico*.

La otra hipòtesis llamada de las undulaciones, consiste en imaginar, que en todas las partículas de los cuerpos calientes, hay movimientos undulatorios, cuya amplitud es en estremo pequeña, y cuya rapidez es sumamente grande, aunque pueden variar entre límites muy estensos. Estos movimientos se transmiten por un medio que se ha llamado *éther*, y que se supone existir en todas partes, tanto en el vacio como entre las partículas materiales de los cuerpos ponderables. El eter puede adquirir y comunicar los movimientos vibratorios á las moléculas de todos los cuerpos. Así el fluido etereo, en esta hipòtesis no es transportado de los cuerpos calientes á los frios en que influyen, sino que sirve solo para transmitir el movimiento vibratorio, cuya intensidad variable constituye la intensidad del calor. Un ejemplo de la transmision del movimiento vibratorio por medio de los fluidos elásticos puede verse en la theoria del sonido: las vibraciones calorificas son análogas á las sonoras; pero se las debe considerar como infinitamente mas pequeñas y mas rápidas; es menester, ademas, no olvidar, que se transmiten por un fluido imponderable. Tal es el sistema de las ondas calorificas.

Asi en la primera hipótesis se admite que una molécula de calor puede ser transportada, como la luz, á 79372 leguas en el intervalo de un segundo de tiempo; en la otra es solo el movimiento vibratorio el que se transmite con esta velocidad. En el 2. ° tomo se verá que estas dos hipótesis han sido igualmente aplicadas á los fenómenos de la luz y que la de las undulaciones segun el autor, es la que satisface mas completamente á su esplicacion.

En la hipótesis de la emision, la cantidad de calor es la masa del calórico; en la de las undulaciones es la fuerza viva de los movimientos propagados, ó lo que es igual el cuadrado de la amplitud de las vibraciones. En la hipótesis de la emision se supone para esplicar las sensaciones de calor y de frio, que el calórico tiene una fuerza espansiva en virtud de la cual siempre que falta el equilibrio se comunica por capas ò irradiando, de que resulta, que cuando se toca un cuerpo de mayor grado de calor, éste se comunica y produce la sensacion de calor, lo contrario sucede para la de frio: en el sistema de las undulaciones, estas sensaciones solo resultan de la comunicacion del movimiento undulatorio. Segun lo pida la materia esplicaremos los diversos fenòmenos en ambas hipótesis.

PRIMERA PARTE.

MUTACIONES DE VOLUMEN Y MUTACIONES DE ESTADO DE LOS CUERPOS.

PRIMERA SECCION.

MUTACIONES DE VOLUMEN.

CAPITULO I.

Dilatacion.

126. *Construccion de termómetros de mercurio.*—La construccion del termómetro de mercurio se reduce á un pequeño número de operaciones muy simples: basta preparar el tubo, introducir el líquido, cerrar el termómetro y graduarlo.

Los tubos del termómetro deben tener un diámetro interior que sea el mismo en toda su longitud, á fin de que longitudes iguales correspondan á volúmenes iguales: Para asegurarse de esta condicion, se introduce en el tubo, que se quiere emplear, una pequeña columna de mercurio, de 1 ó 2 centímetros de longitud; despues por medio de una ligera presion que se puede ejecutar valiéndose de una vejiga de goma elástica, se hace correr esta columna de un lado ó de otro hasta que haya recorrido toda la estension del tubo, junto á una escala dividida (fig. 181). Si en cada posicion ocupa la misma longitud, estamos bien seguros de que el tubo es cilíndrico, y para emplearlo en la construccion de un termómetro, no queda mas que hacerle una bola al soplete (fig. 176), ó soldarle un receptáculo cilíndrico. Si al contrario, ocupa longitudes desiguales, es necesario calibrar el tubo, es decir, se han de señalar en toda su longitud los intervalos mas ó menos grandes, que correspondan á un volúmen constante de la columna ó á *capacidades iguales*.

Para introducir el líquido, se calienta el receptáculo, á fin de dilatar el aire, y luego se sumerge rápidamente el estremo del tubo en un baño de mercurio. El enfriamiento que sobreviene, disminuye la elasticidad del aire interior, y la presion atmosférica obliga al líquido á subir gradualmente: basta que solo lleguen algunas gotas al receptáculo (fig. 178). Entonces volviendo el aparato para calentarle de nuevo hasta la ebullicion del líquido, los vapores de mercurio llenan luego toda la capacidad, el aire es completamente arrojado, y en este instante, sumergiendo con velocidad el estremo del tubo en el baño de mercurio, se está casi seguro de que se llenará completamente.

Antes de cerrar el termómetro, se *arregla su curso*, es decir, que se hace salir ó volver á entrar líquido hasta que el vértice de la columna corresponda á poca diferencia, á la altura que se escoge para la temperatura media; en seguida se cierra en la lámpara la estremidad del tubo. Esta operacion se hace de dos modos: 1.°, haciendo el vacío sobre la columna termométrica; 2.°, dejando allí un poco de aire.

En el primer caso, se empieza por adelgazar el estremo del tubo, y despues de esto se calienta la bola sobre carbones, hasta el punto de hacer salir una pequeña gota de líquido. En este mismo instante se dirige el dardo del soplete (fig. 77) sobre la estremidad del pico afilado del tubo; el vidrio se funde y el tubo queda cerrado. No queda mas que redondearle presentándolo al dardo de la lámpara, despues que la columna se ha retirado por razon del enfriamiento.

En el segundo caso, el termómetro, hallándose á la temperatura del *ambiente*, es decir, á la temperatura del aire que le rodea, se presenta la estremidad del tubo al dardo de la lámpara y se cierra herméticamente: en seguida se la mantiene roja á poca diferencia, en estado de liquefaccion durante algunos instantes; y entonces calentando rápidamente el receptáculo, sea con la mano, sea con la lámpara, la columna sube, el aire es repelido, y por la presion que ejerce contra el estremo del tubo sobre el vidrio fundido, forma una especie de receptáculo que es mayor ó menor, segun que el aire es compelido con mas ó menos fuerza (fig. 179). Este receptáculo superior es casi siempre necesario cuando se deja aire en el aparato.

La *graduacion* del termómetro consiste en señalar los dos *puntos fijos*, y en dividir en partes iguales el intervalo que les separa. Los puntos fijos que generalmente se adoptan, son el del hielo al derretirse, y el del agua hirviendo. Para señalar el punto del hielo al fundirse, se sumerge en un vaso lleno de hielo en pedazos (fig. 179) el receptáculo del termómetro y toda la parte del tubo en que se halla el líquido. Estando la temperatura ambiente mas elevada que 0, el hielo se funde poco á poco, y toda la masa se mantiene á la temperatura fija del hielo al derretirse. Despues de algunos instantes, el termómetro ha tomado esta temperatura, queda perfectamente estacionario, y se señala el punto preciso en que se halla; se señala desde luego sobre el tubo con tinta, y despues se hace una señal con el diamante; este es el 0 ó el punto de partida de nuestra *escala termométrica*.

Para señalar el punto de ebullicion, se toma un vaso de cuello largo (fig. 180) en el que se hace hervir *agua destilada:* despues de algunos instantes de hervir, el vapor ha calentado igualmente todas las partes y se escapa por las aberturas laterales; entonces el termómetro está rodeado por todas partes de un baño de vapor, cuya temperatura es en todo él la misma, igual á la temperatura de la primera capa de agua que hierve. La columna llega luego á un punto fijo del que no puede pasar; este es el punto de ebullicion; se señala desde luego con tinta, y despues con el diamante. Si en el momento de la esperiencia, la altura del barómetro fuese sensiblemente diferente de 760^{mm}; seria menester hacer una correccion, cuyo valor daremos hablando de la ebullicion.

El intervalo de los dos puntos, desde el hielo que se liquida, hasta el agua que hierve, está dividido en 100 grados ó en 100 partes de igual capacidad: las divisiones se continúan arriba y abajo de estos puntos, y su conjunto forma la *escala termométrica*.

Cuando se ha reconocido exactamente que el tubo es cilíndrico, basta ponerle sobre una máquina propia para hacer divisiones, contar el número de vueltas de tornillo necesarias para recorrer el espacio comprendido entre los puntos del hielo al derretirse y del agua hirviendo, tomar su centésima parte, que representa entonces el número y fracciones de vuelta, que es necesario hacer partiendo de cero, para que el diamante llegue á los puntos sucesivos, en donde debe hacer las señales correspondientes á 1°, 2°, etc.

Pero si se ha reconocido que el tubo no es cilíndrico, entonces se ha calibrado, es decir, se ha dividido, por ejemplo, en 20 partes de capacidades iguales, cada una de las cuales puede considerarse cilíndrica. Se cuenta primero, cuantas capacidades de estas hay entre los puntos del hielo y de la ebullicion, por ejemplo, 15, 75; cada grado corresponde, pues, á 0, 1575; ya se sabe que la primera, es decir, aquella en que se encuentra el cero, corresponde á n vueltas de la máquina de dividir; la segunda á n' vueltas, etc. Así, partiendo de cero, serán necesarias 0, 1575 n vuel-

tas para llegar á 1°; despues, cuando se pase de esta capacidad á la siguiente, será necesario para cada grado ó fraccion de él, un número de vueltas á razon de 0, 1575 n' por grado, etc.

Todos los termómetros de mercurio, construidos bajo estos principios, son instrumentos *comparables*, es decir, que marchan juntos indicando en el mismo instante el mismo número de grados. En efecto, habiéndose tomado dos volúmenes de un mismo cuerpo á 0, si se les pone á otra temperatura, de tal modo que el uno de los dos se dilate, por ejemplo, la milésima parte de su volúmen á 0, el otro se dilatará tambien la milésima parte de su volúmen á 0; por consiguiente, dos termómetros de mercurio han de señalar en el mismo tiempo 1°, 2°, 3°, etc. porque deben tomar en el mismo tiempo uno, dos, tres, etc. centésimos del aumento de volúmen que son susceptibles de tomar, pasando de 0 á 100°.

Con todo, este raciocinio no es verdadero sino suponiendo al mercurio contenido en vasos, ó cubiertas sólidas de la misma naturaleza: porque en los termómetros no se observa la *dilatacion absoluta* del mercurio, sino su *dilatacion aparente*, es decir, la diferencia que hay entre el aumento de volúmen del mercurio y el aumento de capacidad de la cubierta que le contiene. Si el vidrio se dilatase tanto como el mercurio, el termómetro quedaria estacionario en todas las temperaturas, y si la cubierta de vidrio se dilatase mas que el líquido que contiene, los aumentos de calor harian bajar el termómetro en lugar de hacerle subir. Para que los termómetros sean rigurosamente comparables, es menester, pues, que sus cubiertas sean igualmente dilatables.

Se pueden construir termómetros de mercurio que señalen hasta 350°; pero es imposible hacerles marchar mas allá, porque esta temperatura es muy próxima, á la ebullicion del mercurio. Bajo de 0 el termómetro de mercurio no da indicaciones justas sino hasta —30° ó —35°; porque entonces se aproxima á su punto de congelacion que se halla hácia —40°, y cerca de la mutacion de estado todos los cuerpos esperimentan mutaciones bruscas.

Para las indagaciones y aun para las observaciones á que se quiera dar alguna exactitud, conviene emplear termómetros que no tengan mas que 15 ó 20 grados de curso, el uno que señale por ejemplo, las temperaturas desde +10 á —5, otro desde —5 á —20, otro de +10 á +25, etc.: entonces los receptáculos no contienen mas que muy poco mercurio, los tubos son de un diámetro interior excesivamente fino, y cada grado ocupa una grande longitud. Estos termómetros tienen la doble ventaja de tomar rápidamente la temperatura y de indicarla con grande precision. Para graduarlos es necesario tener un termómetro-modelo, es decir, un termómetro graduado en el hielo al liquidarse, y en el agua hirviendo, de cuya exactitud se esté perfectamente asegurado. (*Véase la meteorología para los termómetros de máximum*).

Se ha observado que en general, el 0 de los termómetros muda de lugar con el tiempo, como si el receptáculo se hiciese mas pequeño; pero M. Despretz ha hecho otra advertencia no menos importante, y es, que esta mutacion de lugar se determina tambien por variaciones bruscas de temperatura. Así en un termómetro abandonado á si mismo, el 0 se eleva progresivamente por el espacio de 3 ó 4 años, y su ascension total puede pasar de medio grado, y en un termómetro que se emplea en medir temperaturas muy diferentes, pueden manifestarse en el espacio de algunas horas variaciones del 0, acaso muy considerables en uno ú otro sentido, segun que el termómetro se ha calentado ó enfriado.

El termómetro de Reaumour, que está aun en uso en Francia, y el termómetro de Fahrenheit, que está esclusivamente adoptado en Inglaterra, se dividen de otro modo que el termómetro centígrado.

El termómetro de Reaumour señala 0 en el hielo al fundirse, y 80° en la ebullicion.

El termómetro de Fahrenheit señala 32 en el hielo, y 212° en la ebullicion.

Así multiplicando los grados de Reaumour por [illegible] se transforman en grados centígrados, y recíprocamente multiplicando los grados centígrados por [illegible] se transforman en grados de Reaumour; del mismo modo, dada una temperatura de Fahrenheit, basta quitar 32 y multiplicar el residuo por [illegible] para transformarla en temperatura centígrada.

127. *Fórmulas de dilatacion.*—La *dilatacion lineal de un cuerpo* es la relacion que existe entre su alargamiento y su longitud á cero, cuando su temperatura se eleva de 0 á 1°. Así designando por l la longitud de una barra de me-

tal á la temperatura de 0, por b el alargamiento que esperimenta pasando de 0 á 1°, y por n su dilatacion lineal, se tiene la relacion

$$n=\frac{b}{l},\ \text{ó}\ nl=b.$$

El valor numérico de n para cada substancia, se llama tambien el *coeficiente de dilatacion* de esta substancia.

Para la mayor parte de los cuerpos, la esperiencia enseña, como se verá bien pronto, que la dilatacion es uniforme entre 0 y 100°, es decir, que entre estos límites el alargamiento es proporcional á la elevacion de temperatura: así designando por l' la longitud de la barra en la temperatura t, se tendria

$$l'=l+tb,\ \text{ó}\ l'=l+ntl,\ \text{ó}\ l'=l(1+nt).$$

Tal es la relacion que hay entre la dilatacion lineal, la longitud á 0, la longitud en la temperatura t, y la misma temperatura t, de tal modo que conocidas tres de estas cantidades, se puede fácilmente hallar la cuarta.

Designando por l'' la longitud correspondiente á la temperatura t', se tendria tambien

$$l''=l(1+nt');$$

de que se saca

$$l''=l'\left(\frac{1+nt'}{1+nt}\right),$$

ó aproximativamente (1)

$$l''=l'[1+n(t'-t)],$$

despreciando el cuadrado de n, que es siempre muy pequeño con relacion á n; porque la dilatacion lineal es en general, una fraccion estremamente pequeña.

Esta última fórmula sirve para hallar la longitud á una temperatura cualquiera, cuando se conoce la longitud para otra temperatura y el coeficiente de la dilatacion lineal; pero puede dar tambien la misma temperatura ó el coeficiente de dilatacion, cuando son conocidas las otras cantidades; en efecto, para los valores exactos de t' y de n, se tiene

$$t'=\frac{l''-l'+l''nt}{nl'};\ n=\frac{l''-l'}{l't'-l''t},$$

y por valores aproximativos,

$$t'=t+\frac{l''-l'}{nl'};\ n=\frac{l''-l'}{l'(t'-t)}\ (1).$$

Cuando la dilatacion deja de ser uniforme, la dilatacion lineal deja de ser constante; pasa á ser variable con la temperatura, y se busca entonces la *dilatacion lineal media*, ó el *coeficiente medio de dilatacion*, para la temperatura que se considera. Este coeficiente es la relacion que hay entre el alargamiento total y la longitud á 0, dividida por el intervalo de la temperatura. Así de 0 á 300°, siendo la dilatacion total del vidrio $\frac{1}{329}$, el coeficiente medio de la dilatacion del vidrio para 300°, es de $\frac{1}{329\times 300}$, ó $\frac{1}{98700}$.

La *dilatacion cúbica* de un cuerpo es la relacion que existe entre su aumento de volúmen y su volúmen á 0, cuando su temperatura se eleva de 0 á 1°. Así designando por v el volúmen de un cuerpo en la temperatura 0, por a el aumento de volúmen que esperimenta pasando de 0 á 1°, y por m su dilatacion cúbica, se tiene la relacion

$$m=\frac{a}{v},\ \text{ó}\ a=mv.$$

Admitiendo la uniformidad de dilatacion y designando por v' y v'' los volúmenes correspondientes á las temperaturas t y t', se tendrán para los volúmenes y la dilatacion cúbica, las dos relaciones

$$v'=v(1+mt)\ \text{y}\ v''=v'(1+m(t'-t)),$$

relaciones análogas á las que acabamos de hallar para las longitudes y para las dilataciones lineales, y de las que se pueden sacar tambien los valores de t' y de m.

Las dilataciones cúbicas *medias*, se valúan del mismo modo que las dilataciones lineales medias.

---

(1) $l''=l(1+nt')$; $l'=l(1+nt)$; $l=\frac{l'}{1+nt}$; $l''=\frac{l'}{1+nt}\times(1+nt')=l'\left(\frac{1+nt'}{1+nt}\right)$; pero $\frac{1+nt'}{1+nt}$ aproximadamente es igual á $1+n(t'-t)$; porque

$$\begin{array}{l} 1+nt' \quad |\ 1+nt \\ -1-nt \quad 1+nt'-nt=1+n.(t'-t).\ \text{Luego}\ l''=l'.[1+n.(t-t')] \\ \hline 0+nt'-nt \\ \quad -nt'-n^2t't \\ \hline \quad 0\ -nt-n^2t't \\ \qquad +nt+n^2t^2 \\ \hline \qquad 0\quad n^2(t^2-t't) \end{array}$$

[1] Por la fórmula anterior $l''=l'\left(\frac{1+nt'}{1+nt}\right)=\frac{l'+l'nt'}{1+nt}$: para eliminar á t', será: $l''+l''nt=l'+l'nt'$; $l''-l'+l''nt=l'nt'$; y $t'=\frac{l''-l'+l''nt}{l'n}$: para eliminar á n, será $l''-l'=l'nt'-l''nt=(l't'-l''t).n$; y $n=\frac{l''-l'}{l't'-l''t}$.

Ademas, es fácil ver que para cada cuerpo la dilatacion cúbica es triple de la dilatacion lineal. En efecto, dilatándose, los cuerpos igualmente en todas las dimensiones, si se representa por l la longitud de la arista de un cubo, á la temperatura 0, y por n la dilatacion lineal de su substancia, cada arista será $l(1+n)$ á la temperatura de 1°, y el volúmen dilatado del cubo será

$$l^3(1+n)^3,\ \text{ó}\ l^3(1+3n+3n^2+n^3),\ \text{ó}\ l^3(1+3n),$$

porque se pueden despreciar los términos en que n se halla en su cuadrado ó en cubo; el aumento de volúmen será, pues, $l^3.3n$, y el aumento de volúmen dividido por el volúmen á 0, ó la dilatacion cúbica m, será

$$m=\frac{l^3.3n}{l^3}=3n.$$

Bastará, pues, buscar una de estas cantidades, para obtener la otra.

128. *Dilatacion de los cuerpos sólidos.* No pudiendo aplicarse bien á temperaturas que exceden de 250 á 300° los aparatos que se han empleado con mejor suceso para determinar la dilatacion de los cuerpos sólidos, he ensayado el combinar un aparato que no presentase este inconveniente y que pudiese servir al mismo tiempo para comparar las longitudes del metro, ú otras medidas lineales, para apreciar con exactitud sus mas pequeñas diferencias. Este aparato construido por M. Gambey, está representado en las figuras 183, 184, 185 y 186. La figura 185 sirve solamente para esplicar el principio sobre el que se apoya. Concibamos en efecto, que sobre una fuerte regla de hierro f se adapta una alidada ab de 11 ó 12 decímetros de longitud, móvil alrededor del centro a y que lleve un anteojo g de un foco muy corto; concibamos que un segundo anteojo h fijado sobre la misma regla f, en los dos puntos c y d, deje pasar la alidada ab por este intervalo sin impedir sus movimientos. Es evidente que si una regla mn está colocada delante de los anteojos, de modo que sus puntos m y n caigan bajo los hilos cruzados que cada uno tiene, y que esperimente una prolongacion mm', quedando fijo el punto n, será menester volver la alidada ab cierta cantidad, á fin de que el punto m' se ponga bajo el hilo del anteojo móvil; será menester, pues, que el estremo b de la alidada recorra cierto número de divisiones vv', que están señaladas en la regla de hierro. Entonces, si se conoce, una vez para todas, la relacion de los brazos de la palanca am y ab, será fácil determinar mm' por medio del número de divisiones vv', porque se tendrá

$$\frac{mm'}{vv'}=\frac{am}{ab}.$$

Todo se reduce, pues, á determinar con cuidado la relacion de los brazos de la palanca, y el número de divisiones recorridas por el 0 de la alidada. Basta para esto, colocar en m delante del anteojo móvil, y perpendicularmente á su eje, una pequeña pieza de metal sobre la que se han señalado con precaucion cuatro ó cinco milímetros muy exactos. Entonces haciendo recorrer el anteojo móvil cada una de estas divisiones, se observa el número de milímetros que el estremo de la alidada recorre sobre la division vv'. En mi aparato, la longitud ab es triple de la longitud am; pero por medio de un lente micrométrico fijo, que sirve para leer las divisiones de b que pasan por debajo del hilo, se puede con toda seguridad estimar $\frac{1}{600}$ de milímetro, y por consiguiente medir con certeza una prolongacion de $\frac{1}{1980}$ de milímetro, que suceda en m ó cerca de un dosmilésimo de milímetro. Se concibe del mismo modo, que si se presentan delante de los anteojos dos medidas de longitud que tengan entre sí alguna diferencia, se podrá medir esta diferencia hasta cerca de $\frac{1}{2000}$ de milímetro.

La figura 186 representa el aparato con sus principales detalles de ejecucion.

f' es una plancha de bronce armada de tres puntas embotadas en acero, sobre las que descansa el aparato; esta misma plancha descansa sobre una especie de banco de madera muy sólida.

f es la regla de hierro en forma de t; es cuadrada, de 45 milímetros de ancho y de 12 decímetros de longitud; tiene tres muescas profundas y angulares, por medio de las que descansa sobre las puntas de la plancha de bronce, por lo que no puede ser ni torcida, ni encorvada por la dilatacion.

ab es la alidada: esta es de laton y tiene un fuerte refuerzo que la impide doblarse ni alabearse.

xx' son dos piés derechos fijados en la estremidad b de la alidada, que descansan sobre la regla de hierro; de este modo la alidada está perfectamente libre en su dilatacion, y en sus movimientos.

vv' es la division de la alidada. Esta division está señalada sobre plata, en caracteres muy finos, que distan como la mitad de un milímetro.

y es el lente micrométrico, está puesto sobre una pieza ajustada, por medio de un tornillo á la estremidad de la regla de hierro.

z es la cabeza de un tornillo micrométrico que hace mover los hilos cruzados del lente, y está dividida en cien partes de dos milímetros cada una, y son menester 330 divisiones para que los hilos se separen de su lugar medio milímetro. Se ve, pues, que sin fraccionar estas divisiones, se puede estimar $\frac{1}{660}$ de milímetro sobre la estremidad *b*, lo que corresponde á $\frac{1}{1980}$ de milímetro en el punto de vista del anteojo *g*.

r es un tornillo, que sirve para imprimir á la alidada los movimientos que convienen.

Para emplear este aparato á fin de medir las dilataciones bajo de 300°, nos servimos de una caja de cobre representada en la figura 184. Se dispone sobre una hornilla; se le llena de aceite fino y se calienta agitando sin cesar el líquido y manteniéndole á una temperatura fija, durante un tiempo suficiente. Las reglas *mn* que se quieren sujetar á la observacion, están dispuestas sobre unos pies de hierro *p* que descansan sobre los bordes de la caja, en donde su posicion está arreglada por sistemas de tornillos (fig. 183); las estremidades de la regla *mn* se ven enfrente de dos agujeros laterales, cerrados con vidrios paralelos, que están simplemente fijos, por medio de tornillos contra la pared de la caldera ó caja; se puede con facilidad para cada observacion, llevar el estremo *n* de la regla bajo el hilo del lente fijo, mientras se siguen con el anteojo móvil, los movimientos del estremo *m*, por medio del tornillo *r*.

Para observar las dilataciones en las altas temperaturas, se disponen las reglas sobre otro pie de hierro en un horno de ladrillo, por el que se hace pasar aire caliente, ó la misma llama; este horno tiene, frente los anteojos, pequeñas aberturas, que se abren en el instante de la esperiencia, y si la temperatura es inferior al rojo, se iluminan artificialmente los puntos sobre los que están atornillados los lentes. Se concibe cuan fácil es durante las esperiencias, resguardar el aparato de las variaciones de temperatura, que mudarian la distancia del anteojo fijo al centro de rotacion del anteojo móvil.

MM. Dulong y Petit, han empleado para determinar la dilatacion de los cuerpos sólidos, otro medio que se funda sobre la dilatacion absoluta del mercurio, de que hablaremos luego; habiendo asi determinado la dilatacion del vidrio y del hierro, se han servido, para llegar á la dilatacion de los demas cuerpos, del pirómetro imaginado por Borda con motivo de la medida del meridiano. Este pirómetro está representado en la figura 182; se compone de dos reglas de metal, puestas una sobre otra en toda su longitud, y reunidas de un modo invariable solo en una de sus estremidades: cada regla lleva en su otro estremo una varilla de laton que se eleva al principio perpendicularmente, y se encorva despues horizontalmente. Las partes horizontales de estas dos piezas adicionales, pueden resbalar una sobre otra, cuando las dos reglas se prolongan desigualmente, y sobre la línea en que se unen: cada una de ellas está dividida en partes iguales muy pequeñas; pero de modo que formen un *Nonius* ó un *Vernier*; es decir, que 20 divisiones del uno son por ejemplo, equivalentes á 19 divisiones del otro; estando una dividida en quintos de milímetro, se podrá por la coincidencia de las divisiones, estimar vigésimos de quintos, ó centésimos de milímetro. Esta coincidencia se observa con el lente, como en los nonios ordinarios. Las reglas de MM. Dulong y Petit, tenian 12 decímetros de longitud y 4 milímetros de espesor. Una diferencia de temperatura de 1° producia una separacion correspondiente, á poca diferencia, á una division del nonio. Siendo trasportado el pirómetro desde la temperatura 0, por ejemplo, hasta la de 100°, las dos reglas se prolongaban con desigualdad. La pieza adicional de la mas dilatable, resbalaba sobre la pieza adicional de la otra, por ejemplo, 100 partes del nonio, que formaban una longitud absoluta de 1 milimetro. Conociendo así la diferencia de las dilataciones lineales de las dos reglas; conociendo ademas la dilatacion lineal de una de ellas, y su longitud primitiva, era fácil deducir la dilatacion lineal de la otra.

Siendo conocidas las dilataciones lineales de los cuerpos, basta triplicarla para saber la dilatacion cúbica.

Las dilataciones de los vasos de diferentes formas se determinarán por este principio; *que el aumento de capacidad de un vaso por el calor, es igual al aumento que tomaria un cuerpo sólido de la misma substancia y capaz de llenar exactamente el vaso;* asi la capacidad de un vaso de vidrio, siendo por ejemplo, de 150

centímetros cúbicos á 0, su capacidad á 100° será 150 $(1+100a)$, siendo *a* la dilatacion cúbica del vidrio que es de 0, 00002584.

La tabla que sigue contiene los resultados de los principales esperimentos que se han hecho sobre este objeto hasta la temperatura de 300°.

TABLA
DE LAS DILATACIONES LINEALES DE LOS CUERPOS.

DESIGNACION DE LAS SUSTANCIAS.	INTERVALO DE TEMPERATURA.	DILATACION EN FRACCIONES. DECIMALES.	VULGARES.
SEGUN MM. LAVOISIER Y LAPTACE.			
Flin glas inglés	0 á 100°	0,00081166	1/1248
Platina [segun Borda]	„ „	0,00085655	1/1167
Vidrio de Francia con plomo	„ „	0,00087199	1/1147
Tubo de vidrio sin plomo	„ „	0,00087572	1/1142
Idem	„ „	0,00089694	1/1115
Idem	„ „	0,00089760	1/1114
Idem	„ „	0,00091750	1/1090
Vidrio de Saint-Gobain	„ „	0,00089089	1/1122
Acero no templado	„ „	0,00107880	1/927
Idem	„ „	0,00107915	1/927
Idem	„ „	0,00107960	1/926
Acero templado amarillo recocido 65°	„ „	0,00123956	1/807
Hierro dulce forjado	„ „	0,00122045	1/819
Hierro redondo pasado por la hilera	„ „	0,00123504	1/812
Oro refinado	„ „	0,00146606	1/682
Oro de ley de Paris, recocido	„ „	0,00151361	1/661
Idem no recocido	„ „	0,00155155	1/645
Cobre	„ „	0,00171220	1/584
Idem	„ „	0,00171733	1/582
Idem	„ „	0,00172240	1/581
Cobre amarillo ó laton	„ „	0,00186670	1/535
Idem	„ „	0,00187821	1/533
Idem	„ „	0,00188970	1/529
Plata de ley de Paris	„ „	0,00190868	1/524
Plata de Copela	„ „	0,00190074	1/524
Estaño de las Indias	„ „	0,00193765	1/516
Estaño de Falmouth	„ „	0,00217298	1/462
Plomo	„ „	0,00284836	1/351
SEGUN SMEATON.			
Vidrio blanco (tubos de barómetro)	0 á 100°	0,00083333	1/1175
Regulo marcial de antimonio	„ „	0,00108333	1/923
Acero flojo	„ „	0,00115000	1/870
Acero templado	„ „	0,00122500	1/816
Hierro	„ „	0,00125833	1/795
Bismuto	„ „	0,00139167	1/719
Cobre rojo batido	„ „	0,00170000	1/588
Cobre rojo 8 partes, estaño 1	„ „	0,00181667	1/550
Cobre amarillo fundido	„ „	0,00187500	1/533

DESIGNACION DE LAS SUBSTANCIAS.	INTERVALO DE TEMPERATURA.	DILATACION EN FRACCIONES. DECIMALES.	VULGARES.
SEGUN SMEATON.			
Cobre amarillo 16 partes, estaño 1	0 á 100°	0,00190833	1/524
Hilo de laton	„ „	0,00193333	1/517
Metal de espejo de telesco po.	„ „	0,00193333	1/517
Soldadura, cobre 2 partes, zinc 1	„ „	0,00205833	1 486
Estaño fino	„ „	0,00228333	1/438
Estaño en granos	„ „	0,00248333	1/403
Soldadura blanca, estaño 1 parte, plomo 2	„ „	0,00250533	1 399
Zinc 8 partes, estaño 1 un poco forjado	„ „	0,00269167	2/372
Plomo	„ „	0,00286667	1/349
Zinc	„ „	0,00294167	1 340
Zinc estendido al martillo $\frac{1}{12}$	„ „	0,00310833	1/322
SEGUN EL MAYOR-GENERAL ROY.			
Vidrio en tubo	0 á 103°	0,00077550	1/1289
Vidrio en varilla sólida	„ „	0,00080833	1/1237
Hierro fundido (prisma de)	„ „	0,00111000	1/901
Acero (varilla de)	„ „	0,00114450	1/874
Cobre amarillo de Hamburgo	„ „	0,00185550	1/539
Cobre amarillo ingles en vari la	„ „	0,00189296	1/528
Cobre amarillo inglés en forma de ángulo ó rectangular	„ „	0,00189450	1/528
SEGUN M. TROUGHTON.			
Platina	0 á 100°	0,00099180	1/1008
Acero	„ „	0,00118990	1/840
Hierro tirado á la hilera	„ „	0,00144010	1/694
Cobre	„ „	0,00191880	1 521
Plata	„ „	0,00208260	1/480
SEGUN M. WOLLASTON.			
Paladio	0 á 100°	0,00100000	1/1000
SEGUN MM. DULONG Y PETIT.			
Platina	0 á 100°	0,00088420	1/1131
	0 á 300°	0,00275482	1/3631
Vidrio	0 á 100°	0,00086133	1/1161
	0 á 200°	0,00184502	1/454
	0 á 300°	0,00303252	1/329
Hierro	0 á 100°	0,00118210	1/846
	0 á 300°	0,00440528	1/227
Cobre	0 á 100°	0,00171820	1/582
	0 á 300°	0,00564972	1/177

La dilatacion de los cuerpos sólidos parece en general, muy sensiblemente uniforme entre 0 y 100°; pero para temperaturas mas elevadas, contadas sobre el termómetro de mercurio, ó sobre el de aire, se hace irregular y siempre creciente.

La rapidez de este acrecentamiento se hace mas sensible, determinando las temperaturas, que se indicarian por los diferentes cuerpos, si se construyesen con ellos termómetros graduados entre 0 y 100°, como el termómetro de mercurio. Por ejemplo, siendo la dilatacion de la platina, entre 0 y 100°, de 0,0000088420 para cada grado, seria necesario elevar la temperatura de una regla de platina desde 0 hasta $x°$ para que su alargamiento total fuera 0.00275482; ahora bien, x se determina por la ecuacion.

$$0{,}0000088420 . x = 0{,}00275482.$$

$$x = 311,\ 37.$$

Se encuentran por un cálculo análogo, que indicando el termómetro de aire. 300°, los termómetros de vidrio, de fierro y de cobre marcarian.

Vidrio.332°,9; fierro; 372°,9; cobre; 328°,8.

Como siempre se tiene necesidad, en el curso de las esperiencias, de computar la dilatacion del vidrio y del cristal, he reunido en la tabla siguiente los resultados obtenidos por diversos observadores, y particularmente por M. Regnault, que ha dado á sus esperiencias tanta variedad, y ha cuidado de definir bien los trozos en que ha operado. Esos números se han obtenido por un método indicado (130) y que se apoya en el conocimiento de la dilatacion absoluta del mercurio.

TABLA DE LAS DILATACIONES DEL VIDRIO DE 0 A 100°.

Dulong y Petit	0, 002 383
Despretz	0, 002 380
Rudberg	0, 002 286
Magnus	0, 002 347
Regnault. Vidrio blanco en tubo	0, 002 648
Id. . . D°. Soplado en bola de 46mm de diámetro	0, 002 592
Id. . . Vidrio verde en tubo	0, 002 299
Id. . . D°. Soplado en bola de 36mm de diámetro	0, 002 132
Id. . . Vidrio de Suecia en tubo	0, 002 363
Id. . . D°. Soplado en bola de 34mm de diámetro	0, 002 441
Id. . . D°. de 32mm de diámetro	0, 002 411
Id. . . D°. Infusible frances en tubo	0, 002 142
Id. . . D° Soplado en bola de 32 mm de diámetro	0, 002 242
Id. . . Cristal ordinario en tubo	0, 002 101
Id. . . D°. soplado en bola de 39mm de diámetro	0, 002 330
Id. . . , Globo A de las esperiencias	0, 002 304
Id. . . Globo C de las esperiencias	0, 002 349

129. *Aplicacion de la dilatacion de los sólidos.*—*La potencia de dilatacion* de un cuerpo es igual á la *resistencia de compresiou* de que es susceptible. Si es menester un peso de mil kilògramos para reducir la longitud de una barra de hierro vertical, tanto como la reduciria un descenso de temperatura de 1°, es evidente que cargándola en su parte superior con el peso de mil kilógramos, y calentàndola 1°, la dilatacion debida al calor compensará la compresion debida á la carga y su longitud quedará la misma. Por este principio se puede juzgar de los esfuerzos prodigiosos que ejercen los cuerpos dilatàndose ó contrayéndose. Siendo los líquidos poco compresibles y muy dilatables, son, entre todos los cuerpos, los que pueden producir mayores efectos de esta naturaleza. Entre los cuerpos sólidos, el hierro y el bronce tienen tambien una grande fuerza de dilatacion: este es el motivo porque en las grandes obras en que se deben poner de cabo á cabo barras de hierro sobre una longitud de muchos centenares de metros, se ajustan de distancia en distancia, á fin de que el estremo de una barra pueda unirse con la estremidad del que la sigue sin comprimirla. En los tubos de conduccion, la union es mas dificil, pero se alcanza por medio de planchas de plomo con las que se cubre la estremidad del tubo que debe unirse, con la estremidad mas ancha del tubo que sigue.

La potencia de contraccion de los sólidos es igual à la *resistencia de traccion* que pueden oponer. Si es menester un peso de mil kilógramos para dar á una barra de hierro vertical una prolongacion igual à la que tomaria por un aumento de temperatura de 1°, es evidente que si se la carga en su estremidad inferior con el peso de mil kilógramos, y al mismo tiempo se la enfria 1°, la contraccion del enfriamiento compensará el alargamiento de la traccion, y la longitud quedará la misma, como si la barra no hubiese sido ni enfriada 1°, ni tirada por mil kilógramos. Siendo muy grande la tenacidad del hierro, nos podemos aprovechar de esta propiedad para ejecutar esfuerzos que excederian acaso á nuestros medios mecánicos. Se debe tener presente esta doble propiedad, cuando se emplean materiales que están espuestos á grandes mutaciones de temperatura. Es indudable, por ejemplo, que una barra de hierro se encorva cuando se calienta, si sus dos estremidades encuentran obstáculos, que el esfuerzo de su dilatacion no pueda repeler: y lo es tambien, que se rompe por el enfriamiento, si sus estremidades están fijas á obstáculos, que el esfuerzo de contraccion no pueda aproximar. Asi es, que en la operacion de la moldadura, muchas piezas se rompen por el enfriamiento, cuando sus formas y sus proporciones no han sido bastante bien combinadas, para que la *condensacion* se verifique libremente.

Péndulo compensador.—Hemos notado ya, que los relojes y los péndulos adelantan durante el invierno, y atrasan en verano, por el efecto de las contracciones y dilataciones que esperimenta la varilla del péndulo. Pero se ha llegado á corregir este defecto: los péndulos en que los efectos de la dilatacion están destruidos de este modo, se llaman *péndulos compensadores*. El mas simple de los aparatos de esta especie está representado en la figura 63. Las dos varillas estremas son de hierro, las dos medias, de cobre. Por la dilatacion del hierro, el centro de oscilacion baja; pero es levantado por la dilatacion del cobre; y como el cobre es mas dilatable que el hierro, se concibe que basta proporcionar bien las longitudes de las varillas de estos dos metales, para llegar á una compensacion completa.

Láminas de compensacion. Se llama así un sistema de dos láminas compuestas de metales desigualmente dilatables; sea que estas láminas hayan sido soldadas juntas, sea que se hayan clavado la una contra la otra con clavos muy aproximados. Supongamos que una lámina de éstas esté formada, por ejemplo, de zinc y de hierro, y que esté recta á la temperatura de 20°, es evidente que mas allá de 20° deberá encorvarse, quedando el zinc en la parte de afuera, porque se prolonga mas que el hierro (fig. 188) y que debajo de los 20 grados deberá tambien encorvarse, quedando el zinc en la parte de adentro, porque se acorta mas que el hierro. Se ha sacado provecho de esta propiedad para compensar los volantes de los cronómetros, y para dar así á los navegantes relojes de una precision que nada deja que desear. La figura 193 representa un volante compensado; se vé que el efecto de la dilatacion aleja del centro los estremos de los rádios a; pero al mismo tiempo por el efecto de las láminas de compensacion, que se encorvan mas y mas á medida que la temperatura se eleva, las estremidades b de los arcos, se aproximan al contrario al centro, y todo el artificio consiste en combinar el efecto de las láminas con las variaciones de elasticidad del resorte espiral, para que las oscilaciones queden perfectamente isócronas, no obstante las variaciones de temperatura.

Termómetro de cuadrante (fig. 189).—La lámina de compensacion fgh, está compuesta de cobre y acero: está fijada en f, se encorva en g, y termina en h. Al rededor del eje b gira una palanca cuyo pequeño brazo está continuamente apoyado contra el estremo h, y cuyo brazo largo lleva los dientes dd'. Los movimientos muy pequeños que la dilatacion pueda producir en el estremo h, son amplificados en la misma proporcion que los brazos de la palanca; en seguida los dientes dd' engranan en un pequeño piñon que gira alrededor del eje central c, y la aguja li girando alrededor del mismo eje, amplifica aun los movimientos del piñon. Se calculan las dimensiones para que los 100° del termómetro centígrado correspondan á poca diferencia, á una revolucion entera de la aguja. Los instrumentos de esta especie han de estar graduados sobre el termómetro de mercurio de grado en grado, ó á lo menos de 10° en 10°.

Termómetro de Breguet.—Este instrumento es el mas delicado y mas cómodo de todos los termómetros metálicos: se compone de una pequeña tira metálica de 1 á 2 milímetros de ancho, arrollada en espiral, como lo manifiesta la figura 187. La espiral está fija por su estremo superior á una pieza de cobre, que la deja perfectamente libre y aislada; y en su estremidad inferior lleva una aguja horizontal muy ligera, cuya punta re-

corre la circunferencia del círculo dividido cc'; este es propiamente un anillo, y descansa sobre tres piés muy delgados, á fin de que el aire pueda circular fácilmente entre todas las vueltas de la espiral. Una campana cubre el aparato para librarlo de la agitacion esterior.

La tira de la espiral está compuesta de tres capas metálicas sobrepuestas, plata, oro y platina; la capa de oro que está en medio, sirve para soldar las otras dos. Este sistema al principio tiene un espesor sensible; pero se lamina hasta reducirle á un espesor de $\frac{1}{50}$ de milímetro. Por esto se puede juzgar de la masa excesivamente pequeña del instrumento, y por consiguiente, de la rapidez con que toma la temperatura del aire que le toca.

Por la desigual dilatacion de la platina y de la plata, la espiral se tuerce ó destuerce, cuando la temperatura se eleva ó baja, y la aguja marcha para obedecer á sus movimientos. Se gradúa este instrumento, comparando su marcha con la de un termómetro muy sensible.

130. *Dilatacion de los líquidos.*—Se distinguen en los líquidos la *dilatacion aparente* y la *dilatacion absoluta:* la dilatacion aparente es la que parece tomar el líquido en un vaso que no tomase dilatacion alguna.

MM. Dulong y Petit, han determinado la *dilatacion absoluta del mercurio* por medio de un aparato muy simple, que está representado en la figura 190, el que se funda sobre este principio hidrostático; que las alturas de las columnas líquidas en equilibrio están en razon inversa de sus densidades.

at, y $a't'$ son dos tubos verticales que comunican por medio del tubo horizontal tt'. Se llenan de mercurio hasta la altura nn': la accion capilar es nula por motivo de la magnitud de los diámetros, y se establece perfectamente la igualdad de las presiones, aunque el tubo tt' sea muy estrecho. Este aparato descansa sobre una regla de hierro ff' la que se apoya sobre una fuerte mesa de madera, que se coloca á nivel, por medio de los tornillos vv'. Dos montantes de hierro m y m' que tienen anillos de chabeta cc', mantienen los tubos en una posicion bien vertical. El montante m está terminado por un arco de hierro, cuya estremidad r debe servir de señal.

Uno de los brazos se mantiene á cero, el otro se eleva sucesivamente á diferentes temperaturas, y todo se reduce en estas indagaciones, á medir exactamente las alturas desiguales de dos columnas, y la temperatura de la columna dilatada.

Las alturas de las columnas encima del eje del tubo tt', se determinan por un instrumento particular, representado en las figuras 201, 202, 203 al que se puede llamar *kathetómetro*, porque sirve para medir todas las alturas lineales verticales; este nos servirá particularmente para la dilatacion de los gases. El kathetómetro se compone de un pié con tres tornillos, que lleva un eje vertical muy sólido: sobre este eje se ajusta un manguito a que gira libremente y sin juego. Una regla dividida bb' está ligada al manguito para girar con él. Esta regla se hace inflexible, por medio del refuerzo c, y un anteojo horizontal d con su nivel e, sus tornillos para el arreglo, y sus tornillos de presion: puede moverse de abajo arriba, y á la inversa sobre toda la longitud bb': el sostén del anteojo está armado de un nonio que recorre las divisiones de la regla y que permite estimar fácilmente los 20mos y aun los 30mos de milímetro. Para arreglar el instrumento se pone al principio el anteojo horizontal, por medio de su nivel, y se tuercen despues los tornillos al pié, hasta que el nivel quede perfectamente inmóvil, durante el tiempo que se hace dar una vuelta entera á la regla, alrededor del eje de rotacion.

Para los esperimentos de que se trata, el kathetómetro se dispone á cierta distancia, de modo que los ejes de los tubos at y $a't'$ y la señal r se hallen sucesivamente en el punto de vista, cuando se hace girar el anteojo alrededor del eje del instrumento, despues de haberle puesto en la altura conveniente. Entonces se determina, la altura h de la señal r encima del eje del tubo horizontal tt'; hecho esto, basta á cada observacion marcar en la señal, y ver despues cuanto es menester hacer bajar ó subir el anteojo, para distinguir lo alto de las dos columnas. Si ha sido preciso por ejemplo, descender z para la una y z' para la otra, las alturas de estas columnas serán $h-z$ para la primera, y $h-z'$ para la segunda.

Las temperaturas se determinan del modo siguiente: un cilindro g rodea el tubo at, se le llena de hielo machacado y por medio de la pequeña ventana o, se puede apuntar el anteojo al vértice de la columna. Quedando la misma la temperatura del montante m, la señal r queda perfectamente fija. Un cilindro g' rodea del mismo modo al tubo $a'\ t'$, se le llena de un aceite fijo, que sufre mas de 300° sin hervir. Un hornillo elevado al rededor de g' sirve para calentarle en diferentes grados. Dos termómetros i é i' sirven para señalar la temperatura del baño de aceite, y por consiguiente, la del mercurio. El primero i es un termómetro de aire, que se describirá despues; el segundo i' es un termómetro de mercurio (fig. 191) que se puede llamar *termómetro de peso;* por la dilatacion el mercurio cae en la cápsula s, se le recoge, se pesa, se compara su peso al del mercurio que está contenido en el tubo á la temperatura de 0, y se deduce la temperatura, contada sobre el termómetro de mercurio. Las temperaturas y las alturas de las columnas se observan cuando se han cerrado todas las aberturas del hornillo, y durante el estado *máximum,* que dura muchos instantes.

Se ha visto que la dilatacion cúbica es dada por la fórmula (1)

$$m=\frac{v'-v}{vt}.$$

Aquí conocemos t y no tenemos necesidad de conocer v ni v', porque los volúmenes están en razon inversa de las densidades, y en nuestro aparato, las densidades están en razon inversa de las alturas de las columnas; por lo que los volúmenes están como las alturas de las columnas, y designando $h-z$ la altura de la columna del tubo at, que se halla á la temperatura 0, y $h-z'$ la altura de la columna del tubo $a't'$ para la temperatura t, tenemos

$$\frac{v'}{v}=\frac{h-z'}{h-z}.$$

Por lo que (2)

$$\frac{v'-v}{v}=\frac{z-z'}{h-z},$$

y por consiguiente

$$m=\frac{z-z'}{t\,(h-z)};$$

porque $\frac{v'-v}{v}$ es la dilatacion correspondiente á t grados.

Por este medio MM. Dulong, y Petit han llegado á determinar la dilatacion absoluta del mercurio hasta 3000° y han encontrado los resultados siguientes:

Temperaturas del termómetro de aire.	Coeficientes medios para 1.°	Temperaturas indicadas por la dilatacion del mercurio, suponiéndola uniforme.
0		0
100 . . .	$\frac{1}{5550}=0{,}00018018$ . . .	100
200 . . .	$\frac{1}{5425}=0{,}00018433$ . . .	204,61
300 . . .	$\frac{1}{5300}=0{,}00018868$ . . .	314,15

Hay sin embargo, alguna incertidumbre en estos resultados, por el cambio, que las esperiencias de Rudberg han hecho en el coeficiente de dilatacion del aire. Dulong y Petit habian adoptado el valor 0,00375, y está demostrado en el dia que este valor es muy grande, y si las temperaturas de Dulong y Petit se hubieran estimado por el volúmen del aire dilatado, serian muy pequeñas, y sus coeficientes medios se habrian alterado.

Sin embargo, me parece muy probable que el coeficiente de 0 á 100° no tiene este error; porque no se puede dudar que la temperatura de 100° en el baño fué observada con cuidado con los excelentes termómetros de mercurio que Dulong y Petit habian construido por sí mismos, para sus indagaciones: Yo creo pues, que la dilatacion $\frac{1}{5550}$ puede considerarse como perfectamente exacta.

Este es un punto muy importante, porque la dilatacion absoluta del mercurio entre 0 y 100° se emplea frecuentemente ya en los aforamientos, ya para determinar la dilatacion del vidrio y de algunos otros cuerpos sólidos.

He aquí como se determina la dilatacion de los sólidos por medio de la del mercurio.

Dilatacion del vidrio.—Se suelda á un receptáculo de vidrio un tubo corto y muy estrecho, se llena de mercurio, y se pesa á la temperatura 0; sea p el peso del mercurio: se calienta en un baño hasta una temperatura conocida t; sale entonces una parte del mercurio, se recoge y se pesa; sea p su peso: con estos dos datos y el coeficiente de dilatacion del mercurio, se puede determinar el coeficiente m' de la dilatacion cúbica del vidrio. En efecto, la gravedad específica del mer-

———

(1) En el § 127 dijimos que $v'=v\,(1+mt)$; luego $v'=v+vmt$; de donde $v'-v=vmt$; luego $m=\frac{v'-v}{vt}$.

(2) Se tiene por la fórmula anterior $v' : v :: h-z' : h-z$; haciendo las transformaciones, $v'-v : v :: h-z'-h+z : h-z :: z-z' : h-z$; ó $\frac{v'-v}{v}=\frac{z-z'}{h-z}$; pero $m=\frac{v'-v}{vt}$; luego $m=\frac{z'-z}{h-z}\times\frac{1}{t}=\frac{z-z'}{t(h-z)}$.

curio á 0, es d, y á $t°$ es $\frac{d}{1\times mt}$; sea v el volúmen ó la capacidad del vidrio á 0; pasando á $t°$ es $v\,(1+mt)$; por otra parte se tiene

$$p=vd;\ (p-p')\left(\frac{1+mt}{d}\right)=v\,(1+m't);\ (1)$$

resulta pues

$$(p-p')(1+mt)=p\,(1+m't),$$

de que se saca

$$m'=\frac{(p-p')\,mt-p'}{tp}$$

Por este medio se han obtenido los números puestos en la página 107.

Casi es inútil advertir que esta fórmula no puede estenderse mas allá de las temperaturas en que no es incierto el verdadero valor de m.

Dilatacion del hierro.—Dulong y Petit se han valido del siguiente método para determinar el coeficiente de dilatacion de los metales, que no ataca el mercurio. Tomemos por ejemplo el hierro. Antes de soldar el tubo estrecho del receptáculo, que es en este caso, un tubo largo y ancho, se introduce en él una varilla de hierro; sean p'' y d'' su peso y densidad que son conocidos; sea m'' su coeficiente de dilatacion, que se trata de determinar. Se llena el aparato de mercurio, y se encuentra que á 0, contiene un peso p, siendo d su densidad y m su coeficiente de dilatacion; se calienta hasta una temperatura t', sea p' el peso del mercurio que sale: el volúmen del mercurio que queda á $t°$ es $(p-p')\left(\frac{1+mt}{d}\right)$; el volúmen de hierro, $p''\left(\frac{1+m''t}{d''}\right)$, el del receptáculo, $\frac{p}{d}(1+m't)$, y se tiene (2)

$$(p-p')\left(\frac{1+mt}{d}+p''\left(\frac{1+m''t}{d''}\right)\right)=\frac{p}{d}(1+m't),$$

de donde se puede sacar el valor de m."

Termómetro de peso ó de derrame.—Dulong y Petit han usado en sus indagaciones un termómetro que tiene mas ventajas que el ordinario, principalmente cuando se observan temperaturas elevadas. Está representado (fig. 191): es el mismo aparato que hemos indicado poco ha para determinar la dilatacion absoluta del vidrio. Sea p el peso de mercurio que contiene á 0; p' el peso del mercurio que sale, al pasar del hielo al derretirse, al agua hirviendo; si el aparato tuviese el tubo cilíndrico, como los termómetros ordinarios, este peso p' seria el peso del mercurio contenido en él, y suponiéndole tambien á la temperatura del agua hirviendo, llenaria exactamente todas las dimensiones desde 0 hasta 100°. Pero entonces, no conteniendo el receptáculo mas que un peso $p-p'$ de mercurio, es evidente que á esta temperatura, la capacidad del tubo cilíndrico entre 0 y 700° es á la del receptáculo abajo de 0, como p' es á $p-p'$. Pero si el tubo y el receptáculo son de una materia igualmente dilatable, esta relacion será la misma para cualquier temperatura; luego la capacidad correspondiente á 1° es siempre la centésima parte de $\frac{p'}{p-p'}$ Dulong y Petit han encontrado $\frac{p}{p-p'}=\frac{1}{64{,}80}$ para el vidrio que ellos emplearon; así la capacidad de 1° era $\frac{1}{6480}$ de la capacidad del receptáculo, computado solamente hasta el 0 de la escala. Resulta de aquí que en los termómetros de mercurio con su tubo cilíndrico, hechos de esta especie de vidrio, el valor de 1° es siempre $\frac{1}{6480}$ del receptáculo. Se puede, pues, suprimir el tubo cilíndrico, recoger el peso p'' del mercurio que se derrama, cuando el aparato se eleva de 0 á una temperatura cualquiera t, y esta temperatura será de tantos grados, cuantas veces cabe $\frac{1}{6480}$ en $\frac{p''}{p-p''}$; por consiguiente

$$t=\frac{6480\,p''}{p-p''}.$$

Las temperaturas que se sacan por esta fórmula, son exactamente las mismas que indicaria un termómetro con su tubo cilíndrico, como de ordinario, perfectamente graduado.

El termómetro de derrame ofrece tambien mas certidumbre, porque el receptáculo y el tubo ci-

———

(1) Segun la fórmula del § 127 acerca de la dilatacion cúbica $v'=v\,(1+mt)$ será en el caso $v'=v\,(1+m't)$; pero tambien $v'=(p-p')\left(\frac{1+mt}{d}\right)$ como se manifiesta por los valores: luego $(p-p')\left(\frac{1+mt}{d}\right)=v\,(1+m't)$: pero $p=vd$; $d=\frac{p}{v}$; se tendrá p sustituyendo el valor de d; $(p-p')\,(1+mt)\,\frac{v}{p}=v\,(1+m't)$ y $(p-p').\,(1+mt)=v\,(1+m't).\,\frac{p}{v}=p\,(1+m't)$; haciendo la multiplicacion se tiene $(p-p').\,(1+mt)=p+ptm'$ y eliminando á m' será $m'=\frac{(p-p').\,(1+mt)-p}{pt}=\frac{p-p'+[p-p'.mt-p}{pt}=\frac{[p-p'].\,mt-p'}{pt}$.

(2) Se procede como en el caso anterior, y bajo los mismos principios.

líndrico, aunque sean de un mismo vidrio, pueden sin embargo, no tener la misma dilatacion en todos sus puntos, lo que es una causa de error en los termómetros de tubo cilíndrico, puesto que entonces los grados no son ya conformes á la definicion que hemos dado.

Pero es necesario no olvidar que no es una misma la dilatacion de todos los vidrios; así $\frac{p}{100\,(p-p')}$ no será siempre igual á $\frac{1}{6480}$, y por eso la fórmula general de la temperatura viene á ser

$$t=100\left[\frac{p''}{p}\cdot\left(\frac{p-p'}{p-p''}\right)\right]$$

p es el peso del mercurio á 0, p' el del mercurio que se derrama, al pasar de 0 á 100°. p'' el del mercurio que se derrama al pasar de 0 á t.°

Toda la graduacion del termómetro de peso se reduce, pues, á observar una vez p y p'; y si no se quisiere á cada esperiencia poner el aparato á 0 para obtener el valor de p'', podrá suplirse ésto pesando el aparato despues de la esperiencia, para reconocer el peso que le falta.

Por medio de este aparato, dispuesto verticalmente en un baño de mercurio hirviendo, Dulong y Petit han determinado la temperatura de la ebullicion del mercurio en grados del termómetro ordinario, y la han estimado en 360°.

Conociéndose el coeficiente de la dilatacion del vidrio, se obtiene el coeficiente de dilatacion de un líquido cualquiera, construyendo con este líquido una especie de termómetro de peso; entonces, representando por m'' su coeficiente de dilatacion, y por m' el del vidrio, se saca m'' por la misma fórmula que da el coeficiente del vidrio,

$$(p-p'')(1+m''t)=p(1+m't).$$

Se determina entonces por la observacion el peso p del líquido que contiene el aparato á 0, el peso p'' del líquido que sale, pasando de 0 á la temperatura t; ésta se obtiene por medio de un termómetro ordinario, de peso ó de aire; conociéndose m', la única incógnita es m''. Solamente que en el estado actual de la ciencia, la incertidumbre que hay sobre los verdaderos valores del coeficiente de dilatacion del mercurio mas allá de 100°, se tiene tambien respecto de m', y por consiguiente, sobre los valores de m'' obtenidos por los números de Dulong y Petit, relativos al vidrio y consignados en la tabla general de las dilataciones.

Todos los líquidos, excepto el mercurio, tienen dilataciones irregulares; es decir, que su coeficiente es variable con la temperatura, aun entre 0 y 100°.

M. Gay-Lussac ha formado tablas de dilatacion para el alcohol en diferentes grados del areómetro, para el éter y el sulfuro de carbon.

M. Hallstrom y M. Despretz han determinado la dilatacion del agua de grado en grado, como lo veremos en el capítulo siguiente.

131.—*Dilatacion de los gases.*—No pudiendo sufrir un alto grado de calor los aparatos que se han empleado hasta ahora para determinar la dilatacion de los gases, he ensayado la construccion de un nuevo aparato que pueda servir á la vez, desde las mas bajas hasta las mas altas temperaturas, sin que el aire que contiene esperimente otra presion que la atmosférica. Este aparato, que me ha servido para determinar en grados centígrados todas las temperaturas hasta la fusion del oro, puede llamarse *pirómetro de aire.*

Voy á indicar los principios en que se apoya.

1.° *Disposicion del aparato* (fig. 200).—a es un receptáculo que contiene el gas que se calienta; bc es un tubo de comunicacion, cuyo diámetro interior es muy pequeño; t es un tubo de cristal dividido en capacidades iguales; s es un segundo tubo de cristal del mismo diámetro interior que t, para que la capacidad no produzca diferencia en el nivel: estos dos tubos están siempre en comunicacion; z es una llave por la que se puede hacer salir una parte del mercurio contenido en los tubos.

Se supone que hay gas seco en el receptáculo, en el tubo de comunicacion y en la parte superior del tubo dividido, y que á la temperatura del hielo al derretirse, el mercurio está exactamente al mismo nivel en los dos brazos, de tal suerte que el gas sufre la presion atmosférica actual.

Entonces, elevando la temperatura del gas contenido en el receptáculo, una porcion de este gas dilatado pasa al tubo dividido: aquí aumentaria la presion; pero á medida que llega, se hace salir mercurio por la llave z, de manera que el mercurio se mantiene constantemente al mismo nivel en los dos tubos t y s, y por esto el gas que se dilata se mantiene siempre bajo la presion atmosférica.

2.° *Fórmulas del cálculo.*—c es la capacidad á 0, del receptáculo en que se calienta el aire; z es la capacidad del tubo de comunicacion;

b es el número de divisiones que ocupa el gas en el tubo dividido, partiendo del 0 de la division, que se encuentra arriba; p es la altura del barómetro en el momento de la observacion.

El volúmen del gas contenido en el aparato, á la temperatura 0, y bajo esta presion p, es $c+z+b$; si estuviera bajo la presion normal de 760 milímetros, tendria un volúmen v dado por la relacion

$$v=\frac{p}{760}.(c+z+b).$$

Una vez conocido este valor v, sirve para encontrar el número b' de divisiones, que se hubieran observado bajo otra presion p'; porque se tendria entonces

$$v'=c+z+b',\ \text{y}\ v.\,760=v'p',$$

y por consiguiente (1)

$$b'=\frac{760.v}{p'}-(c+z).$$

Designemos ahora por a el coeficiente de dilatacion del gas, y supongamos que la parte del receptáculo cuya capacidad es c, está elevada á la temperatura t, conservando lo demas del aparato la temperatura 0. En el momento de la observacion, cuando el nivel está bien puesto, se nota al mismo tiempo la altura p' del barómetro y el número d' de divisiones que ocupa el gas en el tubo dividido. Este número d' no pertenece enteramente al gas dilatado, que ha llegado al tubo y se ha enfriado en él, porque bajo esta presion p', estando el receptáculo á 0, el tubo dividido tendria ya un número de divisiones b', dado por la fórmula anterior, sustituyendo en ella el valor de p'. Así el verdadero número d, de divisiones ocupadas por el gas dilatado, es

$$d=d'-b'.$$

Con este valor de d, es fácil encontrar el coeficiente de dilatacion, cuando se conoce la temperatura, y recíprocamente, determinar la temperatura, conocido el coeficiente de dilatacion. En efecto, si el volúmen c del gas que se calienta, se hubiese calentado libremente, bajo la presion actual p', vendria á ser $c(1+at)$; por consiguiente el volúmen del receptáculo, que ha venido á ser $c(1+mt)$, siendo m el coeficiente de dilatacion de su substancia, mas el volúmen de gas d, elevado tambien á la temperatura t, ó $d(1+at)$, deben reproducir el volúmen $c(1+at)$. Se tiene, pues,

$$c(1+at)=c(1+mt)+d(1+at);$$

de que se saca (1)

$$a=\frac{cmt+d}{t(c-d)},$$

fórmula que da el coeficiente de dilatacion por medio de las cantidades c, d, m, t, que son conocidas.

Se saca de ella tambien (2)

$$t=\frac{d}{c(a-m)-ad},$$

fórmula que da la temperatura t, conocidos los dos coeficientes a y m, la capacidad c del receptáculo, y el número d de divisiones del gas producido por efecto de la dilatacion; número que se deduce de la ecuacion $d=d'-b'$, observada d' directamente, y calculada b' por la fórmula

$$b'=\frac{760}{p'}.v-(c+z),$$

en la que se conoce v, c, z, y la presion p' en el instante de la observacion.

Despues de haber reducido así el aparato á su mayor simplicidad para hacer comprender mejor su disposicion, y haber esplicado la manera de hacer las observaciones y calcular sus resultados, es necesario ahora dar los detalles acerca del método que se ha seguido para determinar las constantes y hacer las esperiencias.

131 *bis.*—El aparato que acabo de describir no es mas que un aparato de demostracion: hé aquí el aparato práctico, tal cual lo he empleado, ya para determinar el coeficiente de dilatacion del aire, ya para medir las altas temperaturas.

Coeficiente de dilatacion del aire.—El recipiente es de vidrio; está representado (fig. 195); el tubo de comunicacion es muy estrecho, para evitar una correccion que no se podria hacer con exactitud, porque calentando el recipiente se calienta tambien una parte del tubo, y como en este es desigual la temperatura, en la parte que debe salir del baño, es necesario que su influencia pueda despreciarse.

---

(1) Se tiene $v'=c+z+b'$; $b'=v'-(c+z)$; pero $v'p'=v.\,760$; $v'=\frac{v.\,760}{p'}$; luego $b'=\frac{v.\,760}{p'}-(c+z)$.

(1) Se tiene $c.(1+at)=c(1+mt)+d.(1+at)$; $c.(1+at)-d.(1+at)=c.(1+mt)$; $(c-d).(1+at)=c.(1+mt)$; $c-d+(c-d).at=c+cmt$; $(c-d).at=cmt+d$; $at=\frac{cmt+d}{c-d}$; $a=\frac{cmt+d}{t(c-d)}$.

(2) Segun la eliminacion anterior $(c-d.)at=cmt+d$; $cat-dat=cmt+d$; $cat-dat-cmt=d$; $t.(ca-cm-da)=d$; $t=\frac{d}{ca-cm-da}$; $t=\frac{d}{c(a-m)-ad}$.

Se afora este recipiente pesándolo lleno de aire, y despues lleno de agua ó de mercurio hasta una señal b, en donde su temperatura debe empezar á disminuir, porque lo demas del tubo está fuera del baño; haciendo las correcciones relativas á la temperatura (V. cap. sig.), se obtiene la capacidad del receptáculo á 0, correspondiente á la porcion en que el aire toma una temperatura uniforme.

Hecho esto, se suelda el receptáculo al mismo tubo dividido, y por otra operacion análoga á la primera, se determina la capacidad z, comprendida entre el punto b y el principio de las divisiones del tubo. Es necesario atender á la forma del menisco, porque la estremidad del tubo dividido, que debe estar hácia abajo en las esperiencias, aquí está hácia arriba, lo que causaria una pequeña diferencia en el volúmen del aire.

Se pone luego en su lugar el tubo dividido, como se ve en t (fig. 197); esto es, se ajusta sobre una pieza de hierro f, destinada á recibir tres tubos iguales, á saber: el tubo s con el que debe t comunicar para recibir la presion atmosférica, el tubo r, que es el *tubo para llenar*: este comunica con los dos primeros solo para hacer entrar en ellos el mercurio durante el enfriamiento. Con este fin, la pieza de hierro tiene en z una llave con dos conductos, como se ve abajo números 1 y 2; mas abajo está el instrumento z' que sirve para dar vuelta á la llave. Cuando se le da la posicion núm. 1, el tubo para llenar comunica con t y s; cuando se le dá la posicion número 2, cesa esta comunicacion, y los tubos t y s comunican con el esterior por el tubo curvo y; este es necesario para que el aire esterior no pueda volver á entrar. Cuando se dá á la llave z una posicion intermedia, los tubos t y s no comunican con el tubo de llenar, ni con el esterior.

Sobre la pieza de hierro f se puede colocar una manga de vidrio l, l, que rodea los tres tubos, y que se llena de agua para conservarlos á una temperatura uniforme; pero he reconocido que pocas veces se necesita usar de esta cubierta; los tubos se conservan á la temperatura ambiente, teniendo cuidado de impedir un cámbio brusco en ella.

El aparato dispuesto de este modo, está representado en la figura 196. El tubo r tiene un embudo para derramar en él el mercurio; el tubo t lleva consigo el recipiente, el tubo s tiene por arriba un pequeño tubo curvo por el que se aspira ligeramente en el momento de la esperiencia, para que oscilando la columna de mercurio en los tubos t y s, tome exactamente su nivel en ellos.

Se trata ahora de llenar el aparato de aire ó de gas bien seco. Para esto, se adapta en la estremidad del recipiente un tubo pequeño, que antes ha servido para llenarlo y de este modo medirlo, y que sirve ahora para introducir en él la cantidad necesaria de gas. Desde el principio se cierra en la lámpara, la punta de este tubo, y se hace el vacío en todo el aparato, por medio de la disposicion representada en las figuras 199 y 196. El tubo de plomo y se adapta con una tira de goma elástica, sobre el tubo s, despues de quitado el pequeño tubo curvo; por su otro estremo comunica con un tubo de cloruro de calcio, y mejor todavía, con tubos de piedra pómez empapados en ácido sulfúrico, que á su vez comunican por una parte con la máquina pneumática, y por la otra con el aire, ó con una campana que contenga el gas que se quiere esperimentar. Por este medio, se hace el vacío y se llena por muchas veces, de gas seco. Hecho esto, se quita el tubo y, y se echa mercurio muy seco por el tubo s; se rompe la punta del tubo que termina el receptáculo, el excedente de aire se desprende, y de este modo se pone á la altura que se quiera, el nivel en el tubo t; y despues se cierra de nuevo la estremidad de la punta; esta operacion no cambia su medida en una cantidad apreciable. Colocado asi el aparato, se abandona á sí mismo, á la temperatura 0, ya sea dando artificialmente esta temperatura al recipiente y los tubos, ó solo al recipiente, con tal que la temperatura ambiente no se diferencie en muchos grados; en este último caso hay que hacer una pequeña correccion, que se calcula, sin inconveniente alguno, adoptando el antiguo coeficiente 0, 00375; al mismo tiempo se hacen muchas observaciones para determinar el volúmen normal v, por la ecuacion anterior

$$v = \frac{p}{760}(c+z+b).$$

Las observaciones se reducen á determinar b y p; se toma el término medio de los resultados obtenidos para v, que de este modo se tiene determinada para siempre: p es la altura barométrica en el instante de la observacion; debe reducirse á 0: b se determina por medio del kathetómetro, que hemos descrito ya (130), y que se encuentra aquí colocado al lado del aparato (fig. 201) sobre un pié sólido, en una posicion fija escogida con cuido, para que se pueda, por solo el movimiento del anteojo, obtener nivelaciones exactas para cada division del tubo dividido t y de su correspondiente s. Ahora todas las operaciones preliminares están concluidas, y no queda mas que poner el recipiente á la temperatura de 100°. Para esto se le espone á un baño de vapor de agua hirviendo, escogiendo el momento en que la altura del barómetro sea muy próxima á 760; porque creo no es muy cierta la correccion, cuando es ya considerable. Se hacen de este modo muchas esperiencias, ó poniendo los tubos, como acabamos de hacerlo, á la temperatura 0, ó escogiendo el momento en que la temperatura ambiente es cercana á esta, haciendo la pequeña correccion que es necesaria. Cada esperiencia se reduce a observar el número de divisiones d' ocupadas por el gas en el tubo dividido, cuando el mercurio está al nivel en este tubo y en el tubo s, y á observar al mismo tiempo la presion barometrica correspondiente p', que se reduce á 0.

Entonces, por medio de la relacion

$$b' = \frac{760}{p'}.v - (c+z),$$

se saca b', puesto que v, c, z, están determinadas desde antes, c y z por el aforo, v por las observaciones preliminares.

Por medio de la relacion

$$d = d' - b',$$

se determina d; en cuanto al coeficiente de dilatacion del vidrio, he adoptado en mis esperiencias el de Dulong y Petit, $m = 0,0000258$. Sustituidos estos datos en la fórmula

$$a = \frac{cmt+d}{t(c-d)},$$

se obtiene por último el coeficiente de la dilatacion del gas.

Diversas séries en concordancia me habian dado para el aire $a = 0,00368$. Habia ya dado parte de este resultado á M. Regnault, cuando supe que se ocupaba en indagar esto mismo; pero habiendo él presentado despues de algunos meses su trabajo á la Academia, mis esperiencias no tenian ya utilidad real, y no las proseguí.

M. Regnault, habiendo ampliado y variado sus indagaciones mucho mas que lo que el tiempo me habia permitido á mí, doy gustoso la preferencia al número 0,00367 que ha obtenido por un método semejante al mio, para el coeficiente de dilatacion del aire, cuando está sometido á una presion constante.

Rudberg ha sido el primero en llamar la atencion de los físicos sobre la necesidad de cambiar el coeficiente 0,00375, determinado antes por M. Gay-Lussac, y confirmado por las indagaciones que Dulong y Petit habian hecho sobre la marcha comparativa del termómetro de aire y del de mercurio. Rudberg habia encontrado el valor 0,00365, resultado medio de diversas séries hechas con cuidado, segun uno de los métodos de que Dulong y Petit se habian servido. Mas adelante M. Magnus llegó á encontrar el número 0,0036678. Su trabajo, bastante notable, fué leido en la Academia de Berlin, poco tiempo antes de que M. Regnault leyera el suyo en la Academia de ciencias. M. Magnus habia encontrado tambien por coeficientes del hidrógeno, del ácido carbónico, y del gas sulfuroso, números muy aproximados á los que M. Regnault habia encontrado por su parte, y que se tienen ya por definitivos.

Hemos reunido en la siguiente tabla los resultados á que ha llegado M. Regnault, en las indagaciones tan completas á que se ha dedicado sobre esta materia, tan importante como dificil.

TABLA de las dilataciones de los gases, bajo una presion constante, de 0 á 100°. [*Ann. de fís. y quím.*, 1842, *t.* 5. *p.* 80].

Hidrógeno	0, 366.
Aire atmosférico	0, 367.
Oxido de carbono.	0, 367.
Acido carbónico.	0, 371.
Protóxido de azote.	0, 372.
Cianógeno	0, 388.
Acido sulfuroso.	0, 390.

Por los diversos procedimientos que ha empleado M. Regnault, ha averiguado que las dilataciones aumentan con la presion, pero con mucha desigualdad en los diferentes gases. Bajo 3 y $\frac{1}{3}$ atmósferas, la dilatacion del hidrógeno conserva su valor 0, 366; la del aire pasa desde 0, 367 hasta 0, 369; y la del ácido carbònico, desde 0, 371 hasta 0, 385.

La dilatacion del ácido sulfuroso, esperimenta un aumento en un òrden absolutamente distinto; bajo la presion de solo 960 milímetros, pasa de 390 á 398.

Estos notables resultados muestran la reserva con que deben admitirse las leyes generales, que parecen mas simples. Podemos sin duda todavia, decir como antes, que los gases y los vapores tienen el mismo coeficiente de dilatacion, y que es independiente de la densidad; pero es necesario considerar esta ley general y simple, tan solo como una aproximacion ó límite á que tienden los fenómenos, y no como una ley rigorosamente matemática.

Con el objeto de que se entienda mejor el método que ha inventado M. Regnault para obtener las dilataciones de los gases, bajo presiones variables, trasladaremos aquí la descripcion que él ha dado. (*Ann. de fis. y qui.*, 1842, *t.* 4). Se verá por lo demas, que no se diferencia de la mia mas que en las longitudes relativas de los tubos *t* y *s*.

"El aparato se compone de un gran globo *a* (fig. 2.ª), de 800 ó 1000 centímetros cúbicos de capacidad, al que está soldado un tubo termométrico de cerca de 20 centímetros de longitud. Este globo sirve de recipiente de aire, y debe elevarse sucesivamente de 0 á 100°; comunica con un tubo en forma de sifon, lleno de mercurio, que sirve para medir la fuerza elástica del aire.

"Un tubo *ii'* de 16 ó 17^{mm} de diámetro interior, perfectamente cilíndrico, está pegado en una pieza de hierro *ih* con su llave *k*. Esta pieza tiene lateralmente un ajuste para tubos, en el cual está colocado un segundo tubo *hgfe* del mismo diámetro que el primero, en la parte *fg*. Este termina por arriba en un tubo capilar curvo *fed*, que se ha tomado sobre el mismo tubo termométrico, que el tubo *b* soldado al globo. El tubo *b* entra algo forzado en un pequeño tubo de cobre *c* de tres brazos 1, 2, 3, al que está adherido sólidamente. En el segundo brazo 2 se ha adaptado un pequeño tubo capilar *p* afilado en su estremidad.

"El sistema de los tubos *ii'* y *eh* está fijo sobre una plancha que tambien se halla colocada sólidamente y en una posicion exactamente vertical, sobre un montante de bronce vaciado *ll'*

"El globo *a* está sujeto de un modo fijo en un vaso de hoja de lata *mn*, en el que se puede hacer hervir agua, ó cubrir el globo de hielo. Este vaso descansa sobre un trípode de hierro *rqq'r'*. Una hornilla *o*, colocada sobre un apoyo *s*, se puede poner debajo del vaso *mn*, y quitarla al arbitrio.

"Véamos ahora cómo se dispone la esperiencia: se pone la estremidad abierta del tubo *p* en comunicacion con el aparato de desecacion (fig. 3.ª), que se compone de una bomba de mano para hacer el vacío, y de dos tubos de piedra pómez y ácido sulfúrico; y para cerrar el brazo 3, se le ajusta por medio de un tubo de goma elástica, un cabo de tubo completamente cerrado; se pone la agua del vaso *mn* en estado de ebullicion, y se hace repetidas veces el vacío en el globo *a*, dejando entrar el aire cada vez mas lentamente.

"El tubo *hgcfd* se ha secado de la misma manera al calor, antes de unirse á la embocadura *h*, y se ha echado inmediatamente en el tubo *ii'* mercurio bien seco, de suerte que llene completamente el tubo *hgf* hasta su orificio *d*. Así la humedad no podia penetrar en este tubo. Se cuidó de tener cubierta la estremidad del tubo *d*, con goma elástica.

"Estando lleno de aire bien seco el globo *a*, se quitaba el cabo de tubo cerrado, que durante la desecacion estaba ajustado en la embocadura 3, y en ella se ajustaba por medio de goma elástica, el tubo capilar *de*; el cual entraba exactamente en la embocadura de cobre y venia á colocarse frente á frente del tubo *b*; de suerte que en el tubo pequeño de cobre *c* no estaban vacíos, sino los ajustes de los tubos termométricos adaptados en él. Otras veces se fijaba el tubo *de* en la embocadura, por medio de betun.

"Se abre la llave *k*, el mercurio que corre se reemplaza en el tubo *efg*, por el aire que ha atravesado el aparato de desecacion. Se hace correr el mercurio hasta que su nivel toque en el tubo *fg* una señal *t*. El mercurio está entonces á nivel en los dos tubos, puesto que por ámbos lados comunica libremente con el aire.

"Se separa entonces el aparato de desecacion, y se cierra á la lámpara la punta del tubo *p*. Se nota al mismo tiempo la altura del barómetro.

"El horno que mantenia en ebullicion el agua del vaso de hoja de lata, se quita. Para que el globo *a* se enfrie con mas prontitud, se vacía el agua caliente abriendo la llave *u*, se quita tambien la cubierta *a'b'c'd'e'f'g'h'*; y se echa repetidas veces agua fria en el vaso para enfriar sus paredes. En fin, se cubre enteramente el globo *a* con hielo machacado, que se mantiene allí con una toalla atada al borde *c'd'* del vaso.

"Contrayéndose el aire por el enfriamiento, su-

be el mercurio en el tubo *gf*; pero se le tiene al mismo nivel *t*, abriendo el tiempo necesario la llave *k*.

"Habiéndose asegurado de que el aire del globo *a* está á la temperatura del hielo al derretirse, se observa la altura *h'* del barómetro, y se mide, por medio del kathetómetro, la diferencia del nivel $tt'=z'$. Así se tienen ya todos los datos necesarios para determinar la dilatacion del aire; pero se puede obtener una segunda determinacion del modo siguiente:

"Se ajusta de nuevo la punta cerrada del tubo *p*, en el aparato de desecacion; se repite muchas veces el vacío en este aparato, hasta asegurarse de que el aire que lo llena está bien seco, en seguida se rompe la punta del tubo *p*. Entonces desciende el mercurio en el tubo *fg*; pero se le mantiene en *t*, echando mercurio por el tubo *ii'*.

"Despues de cierto tiempo, se vuelve á cerrar la punta del tubo *p*, y se nota la altura *h''* del barómetro. Se quita entonces el hielo, se vuelve á colocar la cubierta *a'b'c'd'* del vaso de hoja de lata, y se hace hervir de nuevo el agua que hay en el vaso. Echando mercurio en el tubo *ii'* se conserva el nivel en *t*, en el tubo *fg*. Cuando el globo ha permanecido cerca de una hora á la temperatura del agua hirviendo, se nota la altura del barómetro *h'''*, y se mide la diferencia de nivel del mercurio en las dos columnas, $tt''=z''$.

"En el cálculo de la esperiencia es necesario computar el corto volúmen de aire que permanece siempre á la temperatura ambiente. Para esto, es necesario conocer la relacion entre este volúmen y la capacidad del globo *a*. Esta última capacidad *v*, se habia determinado por un aforo en agua destilada, y el volúmen *v'* del aire contenido en los tubos termométricos *b*, *p*, *def*, así como en la parte *ft* del tubo mas ancho, se ha medido por un aforo en mercurio. Se ha obtenido así:

$$\frac{v'}{v}=0{,}002715.$$

"El coeficiente de dilatacion del vidrio del globo, se ha calculado por esperiencias hechas con otros globos del mismo vidrio, pero mas pequeños; y se ha encontrado 0,0000233.

"Las temperaturas del corto volúmen de aire *v'* y las del mercurio de las columnas, las indicaban termómetros convenientemente dispuestos.

"La fórmula que corresponde al primer periodo de la esperiencia, es la siguiente:

$$1+at=\frac{(1+mt)h}{h'-z'-\frac{v'}{v}\cdot\frac{1}{1+at}\cdot(h-h'+z')}$$

y la correspondiente al segundo, es

$$1+at=\frac{(1+mt\ (h+z)}{h''-\frac{v'}{v}\cdot\frac{1}{1+at'}\cdot(h-h+z')}."$$

Siento mucho no poder trasladar aquí los elementos mismos de las esperiencias de M. Regnault; de este modo se podria conocer mejor lo simple y rigoroso de su método.

En las fórmulas anteriores, *t* es la temperatura de la ebullicion del agua, bajo la presion barométrica *h* del momento de la observacion; la cual temperatura se deduce de la altura misma del barómetro; para esta correccion adopta M. Regnault, segun M. Biot, 26^{mm},7 por diferencia de presion correspondiente á 1°.

t' es la temperatura ambiente á que está sujeto el pequeño volúmen *v'*; es sensiblemente la misma en la observacion relativa al hielo que se derrite, que en la del agua hirviendo.

h' es la altura del barómetro en el instante en que se hace la observacion del hielo al derretirse; *z* y *z'* son las diferencias de nivel observadas en los tubos *fg* é *ii'*; *z'* corresponde al primer periodo de la esperiencia, y *z* al segundo.

m es el coeficiente de dilatacion del vidrio. Se comprende fácilmente que *t*, *t' h*, *h'*, pueden tener diversos valores numéricos en la fórmula correspondiente al primer periodo, y en la que pertenece al segundo.

En el primer periodo, el aire del recipiente soporta toda la presion atmosférica, á la temperatura de la ebullicion del agua; pero baja hasta una presion de solo 33 centímetros, cuando se cubre de hielo el globo. En el segundo periodo, por el contrario, el aire á 0 está bajo la presion atmosférica, y se eleva á una presion de cerca de 104 centímetros, á la temperatura del agua hirviendo.

Pero el aparato se presta fácilmente aun á mayores diferencias de presion; en efecto, para obtener presiones mas débiles que la atmosférica, basta dar al tubo *fgh* mayor altura sobre la embocadura *h*; al contrario, para conseguir presiones de dos ó tres atmósferas, es suficiente dar una gran de altura al tubo *ii'*. Esto ha realizado M. Regnault en otras séries de esperiencias, y así ha obtenido los números puestos mas arriba.

M. Regnault se ha servido del mismo método para comparar de nuevo la marcha relativa de los termómetros de aire y de mercurio. Para esto, su globo ó recipiente de aire, se colocaba en un baño de aceite, y cercado de tres termómetros de derrame, que indicaban las temperaturas del termómetro de mercurio, mientras que el globo comunicando, como en las esperiencias anteriores, con los tubos fgh é ii', indicaba las temperaturas correspondientes, marcadas por el termómetro de aire.

Estos son los resultados de tal comparacion:

Termómetro de aire.	Termómetro de mercurio.	Diferencias.
0°	0.	.0
50	50, 2	+0, 2
100	100, 0	0.
150	150, 0	0.
200	200, 0	0.
250	250, 5	+0, 5.
300	301. 2	+1, 2.
325	326, 9	+1, 9.
350	353, 5	+3, 5.

151 *ter*.—Para apreciar temperaturas mas altas que 350° ò 400°, no son suficientes los receptáculos de vidrio, y es necesario recurrir á recipientes metálicos, con este objeto habia yo mandado construir recipientes de platina, que debian adaptarse al aparato descrito arriba.

Uno de estos recipientes está representado en la fig. 194; se ha adaptado á la embocadura b por medio de un tornillo, una tira de platina, soldada despues con oro; tiene un agujero de cerca de 1 milimetro; una segunda tira, que puede ser de plata, se une con la primera por un manguito c; en fin, la tira de plata se encorva, y termina en una especie de tapon que se viene á adaptar en la parte superior del tubo dividido t de la fig. 196. Para reducir el volúmen del aire comprendido en las tiras de platina y de plata, se coloca allí un hilo de platina de dimensiones conocidas, que permita á los gases circular libremente. Se determinan por aforamientos, como lo hemos dicho antes, la capacidad c del recipiente, y la capacidad z de los tubos de comunicacion: en los diversos recipientes que he usado, c era de cerca de 60 centímetros cúbicos, y z cerca de 2. Se seca el aparato, y se llena de aire bien seco, y en seguida se procede del mismo modo, que hemos esplicado, siendo el recipiente de vidrio. La fórmula que da la temperatura es la misma, á saber:

$$t = \frac{d}{c(a-m)-ad}$$

t temperatura.

c, capacidad del recipiente en que se calienta el aire.

a, coeficiente de dilatacion del aire.

m, coeficiente de dilatacion de la platina.

d, volúmen del aire, que hay de mas en el tubo dividido, por el efecto de la dilatacion.

Hemos visto el modo de obtener d en los recipientes de vidrio; aquí, se presenta un fenómeno muy embarazoso para las indagaciones exactas: el recipiente de platina condensa el aire desprendido á una temperatura próxima á 100°, y solo en temperaturas mas altas, se puede obrar con él, como con un recipiente de vidrio; á temperaturas inferiores, este aire, en cierto modo disimulado y que se desprende mas ó menos, segun la temperatura, turba todas las observaciones exactas que se quisieran hacer. En estos casos es necesario atenerse al pirómetro de aire, con un termòmetro de mercurio, hasta las temperaturas de 100° y 120°; los volúmenes de aire, que entonces se observan, se reducen por el cálculo, á lo que serian á 0, si no tuviera lugar el fenòmeno de la absorcion; solamente despues de hechas estas correcciones y las que dependen de la temperatura del tubo dividido, se llegan á obtener los valores de d, que entran en la fòrmula y dan la temperatura buscada.

La disposicion de las esperiencias està representada en la figura 198: f es un horno cuadrado construido con ladrillos refractarios, propio para esta clase de esperiencias, esto es, que está dispuesto de modo que se pueda fácilmente echar carbon y atizar el fuego, ò por la llave, que se encuentra en el conducto t, ó por medio del registro que cierra el cenicero c; no teniendo el aire ninguna otra salida.

m es una mufla de hierro colocada sobre fuertes barras, que sirve para sostener el recipiente de platina: esta mufla se cierra por ambos lados con cubiertas de hierro, y toma fácilmente por toda su estension y comunica al recipiente de platina, una temperatura uniforme; porque está rodeada por todas partes de carbon, y porque se sopla regularmente á traves de las barras de la hornilla, de suerte que dé por todas partes una combustion de casi igual actividad. Cuando se quiere hacer al-

una observacion, se cierra el horno, y por medio del kathetómetro, se ve si el mercurio se mantiene inmóvil en los dos tubos t y s: se nota entonces la division correspondiente del tubo t, ó mas bien la division del kathetómetro, sobre el que está señalado el tubo; se nota al mismo tiempo, la altura del barómetro y la temperatura ambiente del tubo t y de los tubos de comunicacion.

De este modo he hecho varias séries de esperiencias: 1.° para evaluar las temperaturas correspondientes á las diversas variaciones del rojo: entonces se miraba por un tubo el color interior de la mufla y del recipiente: 2.° para determinar la temperatura de la fusion del oro y la plata: entonces se ponian en la mufla contra el recipiente, pequeñas copelas con los metales: 3.° para determinar las capacidades de la platina para el calor, á diversas temperaturas; entonces se ponia en la mufla, cerca del recipiente un crisol grueso de platina, que contenia una bola del mismo metal, de 178 gr. [Véas. tom. 2.° *Calorimetría*.]

Las capacidades de la platina me han permitido, siguiendo la ley encontrada, apreciar en seguida temperaturas mas altas, que aquellas á que podia yo esponer mi aparato. Estas esperiencias se han calculado con el coeficiente 0, 00375. Pero como pueden volverse á hacer con el nuevo coeficiente 0, 00 367, las reproduzco en la tabla siguiente.

Colores de la platina.	*Temperaturas.*
Rojo naciente	525
Rojo opaco	700
Cereza naciente	800
Cereza	900
Cereza claro	1000
Naranjado obscuro	1100
Naranjado claro	1200
Blanco	1300
Blanco mate	1400
Blanco brillante	1500

Estas indicaciones no son tan vagas, como parece á primera vista: cuando se ha llegado á estudiar la marcha comparativa de los cambios de color y los grados que señala el pirómetro de aire, es fácil convencerse, de que, con algun ejercicio, no se equivoca uno en 50°, sobre la verdadera temperatura de un cuerpo cuyo color se puede observar sin mezcla de reflejos estraños.

CAPITULO II.

De la densidad de los gases, los liquidos y los sólidos.

152. Hemos visto (46) que la relacion de las densidades de dos cuerpos es la misma que la de sus pesos específicos, é igual á la razon directa de los pesos de estos cuerpos, multiplicada por la razon inversa de sus volúmenes. Así se simplifica la indagacion esperimental de las densidades, cuando se puede obrar sobre volúmenes ó pesos iguales: en el primer caso; las densidades están entre si como los pesos, y todo se reduce á pesadas; en el segundo, están en razon inversa de los volúmenes, y solo se tienen que estimar los volúmenes, lo que en ciertas circunstancias, puede hacerse con gran facilidad. Generalmente se refieren todas las densidades á la del agua destilada; porque el agua se encuentra en todas partes, y es fácil obtenerla perfectamente pura: sin embargo, la densidad de los gases y los vapores, se refiere primero á la del aire atmosférico, y despues por el cálculo, se reducen á la unidad comun, esto es, á la densidad del agua. Vamos á indicar sucesivamente los métodos de que se han servido para determinar las densidades de los líquidos y de los sólidos.

153. *Densidades de los gases.*—Para determinar las densidades de los gases, se toma un globo de 6 ó 7 litros de capacidad (fig. 220), que se pesa despues de haber hecho en él el vacío, y en seguida, estando lleno sucesivamente de aire seco y del gas, cuya densidad quiere obtenerse. Si fuera posible hacer un vacío perfecto, y obrar exactamente á la misma temperatura y bajo la misma presion, en las tres distintas pesadas, se tendria fácilmente la densidad del gas con relacion al aire. En efecto, representando por p_1, p, p', los resultados de la 1.ª, 2.ª y 3.ª pesada; por c el peso del aire contenido en el globo, por c' el peso del gas, y por d el del aire desalojado en las tres esperiencias, admitiendo en el aire esterior, la misma presion, temperatura y estado higrométrico, se tendrá:

1.ª esp.ª p_1+d, peso absoluto de la materia del globo.
2.ª esp.ª $p+d-c$; id.
3.ª esp.ª $p'+d-c'$; id.

porque el peso de la materia del globo es igual al *peso aparente*, dado por la pesada, *mas* el peso para comparar de nuevo la marcha relativa de los termómetros de aire y de mercurio. Para esto, su globo ó recipiente de aire, se colocaba en un baño de aceite, y cercado de tres termómetros de derrame, que indicaban las temperaturas del termómetro de mercurio, mientras que el globo comunicando, como en las esperiencias anteriores, con los tubos *fgh* é *ii'*, indicaba las temperaturas correspondientes, marcadas por el termómetro de aire.

Estos son los resultados de tal comparacion:

Termómetro de aire.	Termómetro de mercurio.	Diferencias.
0°	0.	0
50	50, 2	+0, 2
100	100, 0	0.
150	150, 0	0.
200	200, 0	0.
250	250, 5	+0, 5.
300	301. 2	+1, 2.
325	326, 9	+1, 9.
350	355, 5	+5, 5.

151 *ter*.—Para apreciar temperaturas mas altas que 350° ò 400°, no son suficientes los receptáculos de vidrio, y es necesario recurrir á recipientes metálicos, con este objeto habia yo mandado construir recipientes de platina, que debian adaptarse al aparato descrito arriba.

Uno de estos recipientes está representado en la fig. 194; se ha adaptado á la embocadura *b* por medio de un tornillo, una tira de platina, soldada despues con oro; tiene un agujero de cerca de 1 milímetro; una segunda tira, que puede ser de plata, se une con la primera por un manguito *c*; en fin, la tira de plata se encorva, y termina en una especie de tapon que se viene á adaptar en la parte superior del tubo dividido *t* de la fig. 196. Para reducir el volúmen del aire comprendido en las tiras de platina y de plata, se coloca allí un hilo de platina de dimensiones conocidas, que permita á los gases circular libremente. Se determinan por aforamientos, como lo hemos dicho antes, la capacidad *c* del recipiente, y la capacidad *z* de los tubos de comunicacion: en los diversos recipientes que he usado, *c* era de cerca de 60 centímetros cúbicos, y *z* cerca de 2. Se seca el aparato, y se llena de aire bien seco, y en seguida se procede del mismo modo, que hemos esplicado, siendo el recipiente de vidrio. La fórmula que da la temperatura es la misma, á saber:

$$t = \frac{d}{c(a-m)-ad}$$

t temperatura.

c, capacidad del recipiente en que se calienta el aire.

a, coeficiente de dilatacion del aire.

m, coeficiente de dilatacion de la platina.

d, volúmen del aire, que hay de mas en el tubo dividido, por el efecto de la dilatacion.

Hemos visto el modo de obtener *d* en los recipientes de vidrio; aquí, se presenta un fenómeno muy embarazoso para las indagaciones exactas: el recipiente de platina condensa el aire desprendido á una temperatura próxima á 100°, y solo en temperaturas mas altas, se puede obrar con él, como con un recipiente de vidrio; á temperaturas inferiores, este aire, en cierto modo disimulado y que se desprende mas ó menos, segun la temperatura, turba todas las observaciones exactas que se quisieran hacer. En estos casos es necesario atenerse al pirómetro de aire, con un termómetro de mercurio, hasta las temperaturas de 100° y 120°; los volúmenes de aire, que entonces se observan, se reducen por el cálculo, á lo que serian á 0, si no tuviera lugar el fenòmeno de la absorcion; solamente despues de hechas estas correcciones y las que dependen de la temperatura del tubo dividido, se llegan á obtener los valores de *d*, que entran en la fòrmula y dan la temperatura buscada.

La disposicion de las esperiencias está representada en la figura 198: *f* es un horno cuadrado construido con ladrillos refractarios, propio para esta clase de esperiencias, esto es, que está dispuesto de modo que se pueda fácilmente echar carbon y atizar el fuego, ò por la llave, que se encuentra en el conducto *t*, ó por medio del registro que cierra el cenicero *c*; no teniendo el aire ninguna otra salida.

m es una mufla de hierro colocada sobre fuertes barras, que sirve para sostener el recipiente de platina: esta mufla se cierra por ambos lados con cubiertas de hierro, y toma fácilmente por toda su estension y comunica al recipiente de platina, una temperatura uniforme; porque está rodeada por todas partes de carbon, y porque se sopla regularmente á traves de las barras de la hornilla, de suerte que dé por todas partes una combustion de casi igual actividad. Cuando se quiere hacer al-

una observacion, se cierra el horno, y por medio del kathetómetro, se ve si el mercurio se mantiene inmóvil en los dos tubos *t* y *s*: se nota entonces la division correspondiente del tubo *t*, ó mas bien la division del kathetómetro, sobre el que está señalado el tubo; se nota al mismo tiempo, la altura del barómetro y la temperatura ambiente del tubo *t* y de los tubos de comunicacion.

De este modo he hecho varias séries de esperiencias: 1.° para evaluar las temperaturas correspondientes á las diversas variaciones del rojo: entonces se miraba por un tubo el color interior de la mufla y del recipiente: 2.° para determinar la temperatura de la fusion del oro y la plata: entonces se ponian en la mufla contra el recipiente, pequeñas copelas con los metales: 3.° para determinar las capacidades de la platina para el calor, á diversas temperaturas; entonces se ponia en la mufla, cerca del recipiente un crisol grueso de platina, que contenia una bola del mismo metal, de 178 gr. [Véas. tom. 2.° *Calorimetría*.]

Las capacidades de la platina me han permitido, siguiendo la ley encontrada, apreciar en seguida temperaturas mas altas, que aquellas á que podia yo esponer mi aparato. Estas esperiencias se han calculado con el coeficiente 0, 00375. Pero como pueden volverse á hacer con el nuevo coeficiente 0, 00 367, las reproduzco en la tabla siguiente.

Colores de la platina.	*Temperaturas.*
Rojo naciente	525
Rojo opaco	700
Cereza naciente	800
Cereza	900
Cereza claro	1000
Naranjado obscuro	1100
Naranjado claro	1200
Blanco	1300
Blanco mate	1400
Blanco brillante	1500

Estas indicaciones no son tan vagas, como parece á primera vista: cuando se ha llegado á estudiar la marcha comparativa de los cambios de color y los grados que señala el pirómetro de aire, es fácil convencerse, de que, con algun ejercicio, no se equivoca uno en 50°, sobre la verdadera temperatura de un cuerpo cuyo color se puede observar sin mezcla de reflejos estraños.

CAPITULO II.

De la densidad de los gases, los líquidos y los sólidos.

152. Hemos visto (46) que la relacion de las densidades de dos cuerpos es la misma que la de sus pesos específicos, é igual á la razon directa de los pesos de estos cuerpos, multiplicada por la razon inversa de sus volúmenes. Así se simplifica la indagacion esperimental de las densidades, cuando se puede obrar sobre volúmenes ó pesos iguales: en el primer caso; las densidades están entre si como los pesos, y todo se reduce á pesadas; en el segundo, están en razon inversa de los volúmenes, y solo se tienen que estimar los volúmenes, lo que en ciertas circunstancias, puede hacerse con gran facilidad. Generalmente se refieren todas las densidades á la del agua destilada; porque el agua se encuentra en todas partes, y es fácil obtenerla perfectamente pura: sin embargo, la densidad de los gases y los vapores, se refiere primero á la del aire atmosférico, y despues por el cálculo, se reducen á la unidad comun, esto es, á la densidad del agua. Vamos á indicar sucesivamente los métodos de que se han servido para determinar las densidades de los líquidos y de los sólidos.

153. *Densidades de los gases.*—Para determinar las densidades de los gases, se toma un globo de 6 ó 7 litros de capacidad (fig. 220), que se pesa despues de haber hecho en él el vacío, y en seguida, estando lleno sucesivamente de aire seco y del gas, cuya densidad quiere obtenerse. Si fuera posible hacer un vacío perfecto, y obrar exactamente á la misma temperatura y bajo la misma presion, en las tres distintas pesadas, se tendria fácilmente la densidad del gas con relacion al aire. En efecto, representando por p_1, p, p', los resultados de la 1.ª, 2.ª y 3.ª pesada; por *c* el peso del aire contenido en el globo, por *c'* el peso del gas, y por *d* el del aire desalojado en las tres esperiencias, admitiendo en el aire esterior, la misma presion, temperatura y estado higrométrico, se tendrá:

1.ª esp.ª p_1+d, peso absoluto de la materia del globo.
2.ª esp.ª $p+d-c$; id.
3.ª esp.ª $p'+d-c'$; id.

porque el peso de la materia del globo es igual al *peso aparente*, dado por la pesada, *mas* el peso perdido en el aire, *menos* el peso del que puede estar contenido en el globo mismo. Siendo iguales entre sí estos tres valores del peso de la materia del globo, se deduce de ellos

$$c=p-p_1;\quad c'=p'-p_1;\quad \text{y}\quad \frac{c'}{c}=\frac{p'-p_1}{p-p_1};$$

para la relacion de los pesos del gas y del aire, y consiguientemente para la de sus densidades, supuesto que los volúmenes son iguales.

Pero la esperiencia nunca puede llegar á este grado de simplicidad, ya porque es imposible hacer el vacío exactamente, ya porque casi nunca puede acabarse la operacion antes de que acontezca algun cámbio de temperatura y de presion. Vamos á indicar como se computan estas circunstancias; notando que siempre se puede disponer el aparato, de suerte que la pesada del globo lleno suceda inmediatamente á la del globo vacío, y se haga por lo mismo, en un aire ambiente de igual temperatura y presion. Entonces se hace una pesada del globo, ya vacío, ya lleno de aire y de cada gas.

Pesada del globo vacío.

t, temperatura del globo y del aire ambiente; h, altura del barómetro; d, peso del aire desalojado; h_1, presion del aire que queda en el globo; c_1, peso de dicho aire; p_1, peso aparente del globo, dado por la esperiencia.

Resulta de aquí que el peso absoluto de la materia del globo, es

$$p_1+d-c_1$$

Pesada del globo lleno de aire seco.

t, temperatura del globo y del aire ambiente; h, altura del barómetro; d, peso del aire desalojado; h, presion del aire del globo, que es la presion atmosférica; c, peso del aire que llena el globo; p, peso aparente dado por la esperiencia.

Resulta de aquí, que el peso absoluto de la materia del globo, es

$$p+d-c;$$

por consiguiente

$$p_1+d-c_1=p+d-c;\ \text{de donde}\ c-c_1=p-p_1$$

los pesos c y c_1 del aire están entonces entre sí, como las presiones h y h_1; de donde $c_1=\frac{c.h_1}{h}$, y por consiguiente $c=\frac{h(p-p_1)}{h-h_1}$ (1). Sea ahora x el peso de un centímetro cúbico de aire á 0, bajo la presion de 76 centímetros; y n el número de centímetros cúbicos que espresa la capacidad del globo á la temperatura *cero*: nx será entonces el peso del aire contenido en el globo á la temperatura 0 y bajo la presion de 76 centímetros. Es fácil deducir de aquí el peso del aire contenido en el globo, en las condiciones de la esperiencia, es decir, á la temperatura t, bajo la presion h.

En efecto, pasando de la presion de 76 á la presion h, el peso x de un centímetro cúbico viene á ser

$$\frac{x.h}{76};$$

y pasando de 0 á la temperatura t, viene á ser

$$\frac{x.h}{76}.\frac{1}{(1+at}.$$

Por otra parte, á esta temperatura el globo no contiene solamente n centímetros cúbicos; á causa de la dilatacion del vidrio, contiene $n(1+kt)$; multiplicando este volúmen por el peso de cada centímetro cúbico, se obtiene en fin

$$n(1+kt).x.\frac{h}{76}.\frac{1}{1+at},$$

por el peso total del aire contenido en el globo á la temperatura t y bajo la presion h. Este peso es el que hemos representado por c, y que hemos encontrado hace el peso igual á $\frac{h(p-p_1)}{h-h_1}$;

poniendo esta igualdad se deduce por último (1)

$$nx=76.\frac{p'-p_1'}{h'-h_1'}.\frac{1+at'}{1+kt'}.$$

Ahora bien, la densidad de este gas con respecto al aire, es igual á la relacion $\frac{x'}{x}$ del peso del centímetro cúbico de este gas, y del centímetro cúbico de aire, tomados ambos á 0 bajo la presion de 76. Se tiene en fin por relacion de las densidades

$$\frac{x'}{x}=\frac{p'-p_1'}{p-p_1}.\frac{1+at}{1+at'}.\frac{h-h_1}{h'-h'_1}.\frac{1+kt}{1+kt'};$$

---

(1) Segun lo dicho en el Autor $c:c_1=h:h_1$; luego $c-c_1:c_1=h-h_1:h_1$; pero segun lo dicho antes en el Autor $c-c_1=p-p_1$ y tambiem $c_1=\frac{c.h_1}{h}$: luego $p-p_1$: $\frac{c.h_1}{h}=h-h_1:h_1$, ó lo que es lo mismo $\frac{(p-p_1)h}{c.h_1}=\frac{h-h_1}{h_1}$, simplificando $\frac{h(p-p_1)}{c}=h-h_1$; de donde $c=\frac{h(p-p_1)}{h-h_1}$.

(1) Por lo dicho en el autor $c=\frac{h(p-p_1)}{h-h_1}$ y tambien $c=n(1+kt).x\frac{h}{76}.\frac{1}{1+at}$; luego $\frac{h(p-p_1)}{h-h_1}=n(1+kt)x.\frac{h}{76}.\frac{1}{1+at}$; eliminando á nx será $nx=\frac{h(p-p_1)}{h-h_1}$: $\left[(1+kt).\frac{h}{76}.\frac{1}{1+at}\right]$ ó lo quees lo mismo $nx=\frac{h(p-p_1)}{h-h_1}\,\frac{76}{h}.\frac{1+at}{1+kt}$ de donde $nx=76.\frac{p-p_1}{h-h_1}.\frac{1+at}{1+kt}$.

espresion en que solo entran los datos de la esperiencia.

Esta fórmula general se ha obtenido, admitiendo que los pesos x y x' de un centímetro cúbico de aire y de gas, á 0 y bajo la presion de 76, son

$$x.\frac{h}{760}.\frac{1}{1+at},\ \text{y}\ x'.\frac{h}{760}.\frac{1}{1+at}.$$

Conforme á la ley de Mariotte, y al coeficiente de dilatacion que es constante. En este caso la relacion de las densidades es constante á toda temperatura y bajo cualquier presion, puesto que la relacion de los pesos de un centímetro cúbico, es siempre $\frac{x'}{x}$. Pero es fácil ver que en los límites en que la ley de Mariotte deja de ser verdadera, la espresion anterior no es exacta; sin embargo, puede aplicarse siempre á todos los casos en que dicha ley es verdadera, con tal que se ponga para el gas el coeficiente de dilatacion que le corresponda, entonces sucede que la relacion de las densidades varia con la temperatura; es $\frac{x'}{x}$ á 0, y $\frac{x'(1+at)}{x.(1+al)}$ á la temperatura t, representando por a, el coeficiente de dilatacion del gas.

Este método que acabamos de describir, es el que ha servido para determinar las densidades de los demas gases, con respecto al aire: exige precauciones delicadas; es necesario usar de gases muy puros y bien secos, observar con cuidado las temperaturas y las presiones, y que el aire ambiente esté bien seco, para no tener temor alguno de la capa de humedad que se pega á las paredes del globo. Por lo demas, no es de admirar que ciertos gases y globos den malos resultados, á causa de la condensacion que estos gases esperimentan al contacto con otras sustancias.

153 *bis.*—*Peso de un litro de aire*—*Composicion del aire atmosférico* Despues de haber referido las densidades de los demas gases à la del aire atmosférico, importa encontrar la densidad del aire, con relacion al agua: este es un dato fundamental, de que se usa muchas veces. Se consigue esto por el método anterior, con la sola diferencia de que es necesario tener balanzas muy fuertes y sensibles para pesar con exactitud el globo, cuando está lleno de agua destilada.

Supongamos en efecto, que por esperiencias análogas á las anteriores, se han determinado muchos valores de nx, esto es, del peso del aire que el globo podia contener á la temperatura 0 y bajo la presion de 76 centímetros; estos valores no tendrán entre sí mas que diferencias muy pequeñas; tómese el peso medio que yo represento por r, y se tendrá $nx=r$.

Una vez conocido con suficiente exactitud el valor de r, no resta mas que aforar el globo, ó determinar el número n de centímetros cúbico, que contiene á 0. Para esto se hacen, como antes, dos pesadas bajo las mismas condiciones de temperatura y de presion para el aire ambiente: la primera con el globo lleno de aire seco, y la segunda, lleno de agua destilada. Sea θ la temperatura, h la presion, d el peso del aire desalojado, π y π' los resultados de la primera y de la segunda pesada, u el peso del aire de que está lleno el globo en la primera, y u' el mismo peso del agua en la segunda, se tendrá:

Primera esperiencia, $\pi+d-u$; por peso absoluto de la materia del globo.

Segunda esperiencia, $\pi'+d-u'$; *id.*

Por consiguiente:

$$u'=\pi'-\pi+u.$$

Pero siendo r el peso del aire contenido en el globo, á la temperatura 0 bajo la presion de 76; es fácil ver que á la temperatura θ y bajo la presion h, el peso u del aire que llena el globo, será (1)

$$u=r.\frac{h}{760}.\frac{1+h\theta}{1+a\theta}$$

Sustituyendo este valor, se conocerá u'. En el máximum de densidad, 1gr., de agua ocupa 1^{cc}; y la temperatura θ tiene un volúmen $(1+\delta)$, conociéndose δ por las tablas de la dilatacion del agua; así el peso u' del agua corresponde á un número de centímetros cúbicos igual á $u'(1+\delta)$. Tal es pues, la capacidad del globo á la temperatura θ. Por otra parte, esta capacidad es tambien $n(1+k\theta)$ luego

$$n=\frac{u'(1+\delta)}{1+k\theta}.$$

Sustituyendo este valor de n en la primera ecuacion $nx=r$, se tiene

---

(1) Por lo dicho en el párrafo anterior el peso total del aire contenido en el globo de la esperiencia, es igual á

$$nx.\frac{h}{760}.\frac{1+kt}{1+at}$$

pero en el caso $nx=r$, $t=\theta$; luego

$$u=r.\frac{h}{760}.\frac{1+h\theta}{1+a\theta}$$

1,1057

1,4323
0,9761
0,0894

$$x = \frac{r}{v'} \cdot \frac{1+k}{1+\delta}\theta,$$

por peso del centímetro cúbico de aire seco, á la temperatura 0 y bajo la presion de 76 centímetros.

MM. Arago y Biot han encontrado, en 1805, que este peso es

0gr., 00129954.

Asi un litro de aire pesa 1gr., 29954.

Este resultado se modificaria algun tanto, si se hiciesen las correcciones que corresponden, tomando por dilataciones del agua y del aire, los números que se adoptan actualmente.

Aplicándose la ley de Mariotte al aire, resulta que, salvo los cámbios que puede esperimentar el coeficiente de dilatacion, ya por la presion, ya por la temperatura, el peso de 1 litro de aire bajo la presion h, y á la temperatura t, se espresa por

$$1\text{gr.}, 29954 . \frac{h}{76} . \frac{1}{1+at}$$

Segun MM. Dumas y Boussingaut, el aire se compone en peso, de / en volúmen, de

en peso	en volúmen
23,01 de oxígeno.	20,81 de oxígeno.
76,09 de azote.	79,19 de azote.
100,00	100,00

La composicion en peso, es el resultado directo de la esperiencia; la composicion en volúmen se saca por las densidades del oxígeno y del azote. Las nuevas esperiencias de MM. Dumas y Boussingaut dan por densidad del oxígeno 1,1037, y para el azote 0,9720.

Conocida la densidad de un gas con relacion al aire, es fácil deducir su peso específico, ó el peso de 1 litro á 0 de temperatura y 76 de presion. Pesando 1 litro de aire 1g. 29954, 1 litro de gas, cuya densidad sea d, pesa $d \times 1$ gr. 29954; así se ha formado la cuarta columna de la tabla general de la página 123.

133 *ter. Densidad de los gases compuestos.* —En toda combinacion binaria, hay una relacion esencial entre las densidades de los componentes y la del compuesto. Representemos por d y d' las densidades de los dos gases que se combinan, con relacion al aire; y por n y n' el número de los volúmenes del primero, y del segundo que entran en la combinacion. Sea v el volúmen del compuesto, y Δ su densidad respecto del aire. Si se toma por unidad, el peso de la unidad del volúmen del aire, el peso del compuesto es evidentemente $nd\ \ n'd'$; y como su volúmen es v se tiene

$$\Delta = \frac{nd + n'd'}{v}$$

Segun la ley de M. Gay-Lussac, los volúmenes n y n' de los dos componentes, están siempre entre sí en razon simple, y ademas el volúmen v del compuesto tiene siempre una razon simple con n ò n'. Ejemplos:

Protóxido de azote. Oxígeno, $n=1$; azote, $n'=2$;

Protóxido de azote, $v=2$. De que se saca

$$\Delta = \frac{d}{2}\ \ d' = 0,5523\ \ 0,972 = 1,5243.$$

Bióxido de azote. Oxígeno, $n=1$; $n'=1$; bióxido $v=2$.

$$\Delta = \frac{d+d'}{2} = \frac{1,1037+0,972}{2} = \frac{2,0777}{2} = 1,0388.$$

Agua. Oxígeno, $n=1$; hidrógeno $n'=2$; vapor de agua, $v=3$.

$$\Delta = \frac{2}{d}\ \ d' = 0.5523\ \ 0,0691 = 0,6214.$$

En este caso, solo se encuentra el valor de v, tomando la densidad del vapor de agua; y como la esperiencia da un número cercano á 0,9214, se infiere que $v=2$; porque segun la ley de M. Gay-Lussac, v no puede ser igual à 2 aumentado ó disminuido en una pequeña fraccion.

Al contrario, cuando el compuesto es tal, que se pueda encontrar v y Δ, se puede deducir á nd ó $n'd'$.

Acido carbónico. Oxígeno, $n=1$: ácido carbónico, $v=1$, $\Delta=1,5245$. Se deduce la cantidad de carbono

$$n'd' = v\Delta - nd = 1,5245 - 1,1037 = 0,4188.$$

Ahora, para tener d', seria necesario conocer n', *y viceversa*. Solamente por las analogías de composicion, siempre inciertas, se puede llegar á obtener un valor de n'. Esta ley tan importante y fecunda, no puede sin embargo, conducir sino á presunciones mas ó menos fundadas, sobre la densidad de los vapores de los cuerpos sólidos. Lo que acabamos de decir respecto de los compuestos binarios de dos elementos, se aplica fácilmente á los ternarios, y á los compuestos de compuestos: las densidades obtenidas por estos cálculos, forman la tercera columna de la tabla general.

DESIGNACION DE LOS FLUIDOS ELASTICOS.	Densidades determinadas por experiencias.	Densidades calculadas.	Peso de un litro á 0° y 760 mm de presion.	Nombres de los observadores.
Aire	1,0000	„	1,2991	
Gas hidrógeno	0,0688	„	0,0894	Berz. y Dulong.
Id.	0,0691	„	0,0898	Boussing. y Dum.
Vapor de carbono	„	0,4220	0,5482	
Gas hidrógeno proto-carburado	„	0,5596	0,7270	Thomson.
„ amoniacal	0,5967	0,5910	0,7752	Biot y Arago
Vapor de agua	0,6235	0,6200	0,8100	Gay-Lussac.
Gas hidrógeno proto-fosforado	0,8700	„	„	H. Davy.
„ hidrógeno per-fosforado	0,9022	„	„	Thomson.
Vapor de ácido hidro-ciánico	0,9476	0,9442	1,2310	Gay-Lussac.
Gas oxido de carbono	0,9569	0,9732	1,2431	Cruikshancks.
„ azote	0,9757	„	1,2675	Berz. y Dulong.
„ id	0,972	„	1,2627	Boussing. y Dum
„ hidrógeno bi-carburado	„	0,9816	1,2752	Thomson.
„ deutóxido de azote	1,0388	1,0390	1,3495	Berard.
„ oxígeno	1,1026	„	1,4323	Berzel. y Dulong.
„ id	1,1057	„	1,4364	Boussing. y Dum.
„ hidro-sulfúrico	1,1912	„	1,5475	Gay y Therard.
„ hidro-clórico	1,2474	1,2474	1,6205	Biot y Arago.
„ ácido carbónico	1,5245	„	1,9805	Berzel. y Dulong.
„ protóxido de azote	1,5269	1,5269	1,9752	Colin.
Vapor de alcohol absoluto	1,6133	1,6016	2,[illegible]9[illegible]8	Gay-Lussac.
Gas cianógeno	1,8064	1,8197	2,3467	Id.
Vapor de ácido cloro-ciánico	„	2,1228	2,7577	Id.
Gas sulfuroso	2,1930	„	2,8489	H. Davy.
Vapor de éter hidro-clórico	2,2190	2,2290	2,8827	Thenard.
„ de ácido fluo-bórico	2,3120	2,3070	„	Gay-Lussac.
Gas deutóxido de cloro	„	2,3155	3,0081	J. Davy.
„ cloro	2,4216	2,4260	3,2088	Gay y Thenard.
Vapor de éter sulfúrico	2,5860	2,5830	3,3950	Gay-Lussac.
„ de hidrógeno arsenicado	2,6950	2,6950	3,5020	Dumas.
„ nitroso	„	3,1800	4.1320	Colin y Robiq.
Gas cloroxi-carbónico	„	3,3990	4,4156	J. Davy.
Vapor de hidro-bi-carb. de cloro	3,4430	3,4080	4,4730	
„ de ácido fluórico silic	3,6000	3,5970	„	Dumas.
„ de cloruro de boro	3,9420	4,0790	5.1210	Id.
Gas hidriódico	4,4288	4,3399	5,7719	Gay-Lussac.
Vapor de protoclor de fósforo	4,8750	4,8080	6,3530	Dumas.
„ de esencia de trementina	5,0130	4,2110	6,5120	Gay-Lussac.
„ de éter hidriódico	5,4750	„	7,1120	Id.
„ de cloruro de silicio	5,9390	5,9600	7,7150	Dumas.
„ de proto-cloruro de arsénico	6,3010	6,2970	8,1850	Id.
„ de per-cloruro de títano	6,8560	7,0470	8,8810	Id.
„ de mercurio	6,9760	6,9780	9,0620	Id.
„ de iodo	8,7160	8,6120	11.3230	Id.
„ de percloruro de estaño	9,2000	8,9930	11,0510	Id.

134. *Densidad del agua destilada.*—Todos los cuerpos cambian de volúmen cada instante por la influencia del calor, así cada instante mudan de densidad. Pero en la ley de estas variaciones, el agua presenta una escepcion notable: partiendo de 0, cuando se eleva su temperatura se contrae, en lugar de dilatarse, y se va contrayendo mas y mas, hasta la temperatura de cerca de 4°; despues, calentándola mas, empieza á esperimentar una espansion como todos los demas cuerpos, y desde este instante, su dilatacion va continuamente creciendo hasta á la ebullicion. El agua esperimenta, pues, hácia la temperatura de 4°, un *máximum de contraccion*. Este fenómeno es palpable, cuando se observa en un termómetro de agua cuyos grados ocupen bastante estension. Este termómetro desciende como el termómetro de mercurio, cuando se les sumerge juntos en un baño líquido, que esté por ejemplo, á 10° y que se enfrie poco á poco; pero en las inmediaciones del 4°, aumentando el enfriamiento y continuando en descender el termómetro de mercurio, se ve que el termómetro de agua sube, como si se le calentase y que va así subiendo hasta á la temperatura del hielo. Siguiendo mas allá el enfriamiento, el agua del termómetro se hiela y toma súbitamente un aumento de volúmen muy considerable: se puede, pues, presumir, que desde 4° las moléculas líquidas empiezan á separarse la una de la otra, y se preparan en algun modo, á tomar las posiciones respectivas que deben tener, para pasar al estado sólido. El agua que tiene en disolucion algunas sales ú otras substancias estrañas, parece, á lo menos en algunos casos, presentar aun las propiedades del *máximum* de contraccion, pero en una temperatura mas baja, descendiendo aun el mismo punto de congelacion.

Estos fenómenos no parecen al principio mas que escepciones fortuitas y de poca importancia; pero se verá despues que tienen una grande influencia sobre la distribucion del calor, en la estension de los mares y de todos los continentes. Por este motivo en las altas latitudes, los rios los lagos y los mares pueden quedar líquidos á cierta profundidad; por esto mismo los séres vivientes, que pueblan las aguas, pueden conservarse en todas las estaciones y perpetuarse; por este motivo, en fin, se establece una circulacion de calor entre los polos y el ecuador, y una temperatura media, que es mas moderada en todos los climas.

El punto preciso del *máximum* de contraccion y las diferentes densidades del agua en diversas temperaturas, han sido el objeto de un gran número de indagaciones.

Se verán en las tablas siguientes los resultados de M. Hallström, y de M. Despretz. M. Hallström encuentra que el máximum de contraccion sucede á 4°,108; pero discutiendo todas las probabilidades de error, juzga que en esta determinacion dificil, puede uno engañarse 0°,238 en mas ó menos. En las dos primeras columnas se ha tomado por unidad, la densidad máximum y el volúmen mínimum, esto es, á 4°,1. Por el principio de Arquímedes (86). M. Hallström ha llegado á estos resultados. El cuerpo sumergido que empleaba, era una bola vacía de vidrio, lastrada con arena, de modo que quedase con muy poco peso en el agua; la suspendia por medio de un cabello, de una balanza hidrostática muy sensible, é indagaba las diversas pérdidas de peso que esperimentaba en el agua, en todas las temperaturas comprendidas entre 0 y 30°.

M. Despretz se ha servido de diversos procedimientos; pero ha dado definitivamente la preferencia al de los termómetros, haciendo con cuidado todas las correcciones dependientes de la dilatacion del vidrio. La discusion de todas sus esperiencias, relativas al máximum de densidad, le da 3°,997, es decir, exactamente 4°. Sus resultados empiezan en 9° y llegan hasta 100°.

DENSIDADES Y VOLÚMENES DEL AGUA

DESDE 0 HASTA 30° CENTIGRADOS.

	TOMANDO POR UNIDAD LA DENSIDAD Y EL VOLUMEN A 0°.		TOMANDO POR UNIDAD LA DENSIDAD Y EL VOLUMEN A 4°,1.	
Temperatura.	Gravedades especificas.	Volúmenes.	Gravedades especificas.	Volúmenes.
0°	1,0	1,0	0,9998918	1,0001082
1	0,0000466	0,9999536	0,9999382	1,0000617
2	1,0000799	0,9999202	0,9999717	1,0000281
3	1,0001004	0,9998996	0,9999920	1,0000078
4	1,00010817	0,9998918	0,9999995	1,0000002
4,1	1,00010824	0,09989177	1,0	1,0
5	1 0001032	0,9998968	0,9999950	1,0000050
6	1,0000856	0,9999144	0,9999772	1,0000226
7	1,0000555	0,9999445	0,9999472	1,0000527
8	1,0000129	0,9999872	0,9999044	1,0000954
9	0,9999579	1,0000421	0,9998497	1,0001501
10	0,9998906	1,0001094	0,9997825	1,0002200
11	0,9998112	1,0001888	0,9997030	1,0002970
12	0,9997196	1,0002804	0,9996117	1,0003888
13	0,9996160	1,0003841	0,9995080	1,0004924
14	0,9995005	1,0004997	0,9993922	1,0006081
15	0,9993731	1,0006273	0,9992647	1,0007357
16	0,9992340	1,0007666	0,9991260	1,0008747
17	0,9990832	1,0009176	0,9989752	1,0010259
18	0,9989207	1,0010805	0,9988125	1,0011888
19	0,9987468	1,0012548	0,9986387	1,0013631
20	0,9985615	1,0014406	0,9984534	1,0015490
21	0,9983248	1,0016379	0,9982570	1,0017560
22	0,9981569	1,0018465	0,9980489	1,0019549
23	0,9979379	1,0020664	0,9978300	1,0021746
24	0,9977077	1,0022976	0,9976000	1,0024058
25	0,9974666	1,0025398	0,9973587	1,0026483
26	0,9972146	1,0022932	0,9971070	1,0029016
27	0,9969518	1,0030575	0,9968439	1,0031662
28	0,9966783	1,0033328	0,9965704	1,0034414
29	0,9963941	1,0036189	0,9962864	1,0037274
30	0,9960993	1,0039160	0,9959917	1,0040245