

CIENCIAS.

FISICA APLICADA A LA MEDICINA, CIRUGIA, HIGIENE Y FARMACIA

(Continuación).

Agrupando estos elementos en el orden probable en que se encontrarían antes de la análisis, se puede llegar á sospechar que la leche tiene carbonato de sodio, clorido de potasio, fosfato de calcio, de sodio, de magnesio y de hierro. El peso de estas sustancias reunidas sube á 3^{gr},50 término medio por litro".

"Ensayo químico de la leche.—Los procedimientos físicos que hasta aquí hemos indicado, no se refieren sino á la manteca y al azúcar de leche, y aun estos no suministran datos seguros acerca de la naturaleza de la leche; son sí recomendables por la facilidad y rapidez de su ejecución. Pero cuando se desea obtener un resultado bastante seguro se debe preferir la análisis química que dá resultados muy precisos".

"El ensayo químico de la leche comprende la determinación ponderable del agua, las sales, la materia orgánica la manteca, el caseum (queso) y el azúcar de leche. He aquí el procedimiento que conviene seguir.

"1^o Póngase 10 centímetros cúbicos de leche en una cápsula de platino; tómese la tara exacta de todo; evapórese al baño maría; deséquese el residuo á 105^o y péscese de nuevo. La diferencia entre los dos pesos representará el de la agua que contiene la leche: este peso debe ser, por término medio, 8^{gr},70".

"2^o Calcínese el residuo elevando el calor en la cápsula gradualmente hasta el rojo y evitando todo desperdicio. Incinérese el resultado de la carbonización. La nueva pérdida de peso representa la *materia orgánica total* y el residuo el de las *sales minerales*. El peso de éstas debe ser casi 0^{gr},037". (1)

3^o Añádase á otros 10 gramos de leche una ó dos gotas de ácido acético y 60 centímetros cúbicos de alcohol á 85^o c.; agítense la mezcla y viértase el todo sobre un filtro pesado de antemano. Agréguese 30 centímetros cúbicos de líquido filtrado que servirán para la operación n^o 5. Separadamente: lávese con alcohol debil el coágulo retenido en el filtro, séqueselo al aire y tráteselo por el eter que se apodera de la materia grasa: trasládeselo en fin á una pequeña estufa calentada á 105^o y mantén-

(1) Hay que notar que estas sales que son casi todas indeseables por el calor no cambian sensiblemente de peso por la calcinación hasta el rojo.

gaselo allí hasta que ya no pierda de peso. De esta manera se obtiene el peso de la caseína cuyo peso debe ser casi $0\text{gr}.,323$.

“4º Tóñese un pequeño embudo en forma de ampolla provisto de una llave en su parte inferior y una tapa de vidrio esmerilado en su parte superior. Introdúzcanse en él 10 centímetros cúbicos de leche y añádase á este líquido una gota de potasa cáustica líquida y 10 centímetros cúbicos de eter puro. Se ve que después de la agitación la mezcla se separa en dos capas distintas. Sepárese con cuidado la capa superior, y, después de haberla lavado con una pequeña cantidad de agua destilada, recíbasele en una cápsula pesada de antemano, y abandónesele á la evaporación espontánea. El residuo seco á 100° representará la mantequilla, cuya proporción por término medio para 10 centímetros cúbicos de leche es $0\text{gr}.,350$.

“5º Introdúzcase en una bureta de Gay-Lussac graduada en décimos de centímetro cúbico el líquido filtrado proveniente de la operación nº 3. De otro lado viértase en un pequeño matraz de vidrio 10 centímetros cúbicos de licor de Fehling, adicionado de 40 centímetros cúbicos de agua destilada y de dos á tres gotas de soda cáustica líquida. Sométase esta mezcla á la ebullición y hágase caer gota á gota sobre este líquido el de la bureta. La reducción se hace al cabo de un tiempo muy corto; el óxido cúprico se deposita y el líquido de Fehling pierde poco á poco su color azul. Cuando este esté completamente decolorado, se deja de verter más líquido, y entonces se mide la cantidad gastada”.

“Se asegura que en 10 centímetros cúbicos de leche hay casi $0\text{gr}.,50$ de lactina, lactosa ó azúcar de leche”.

171 “Sustancias extrañas unidas á la leche.—Se ha dicho al principio de este capítulo que para dar á la leche sofisticada la apariencia de la leche normal, se la mezcla ordinariamente con sustancias de diversa naturaleza. No tenemos la pretensión de examinar todas aquellas que pueden hacer uso los falsificadores; examinaremos únicamente las principales, y esto muy sucintamente.

Las sustancias feculentas se reconocen facilmente por el agua iodada (que les comunica una coloración bruñ ó parda si están crudas, y azul-violada, si están cocidas de antemano). La *albumina*, la *emulsión de almendras* ó los *granos oleaginosos* comunicarán á la leche la propiedad de coagularse por la ebullición, circunstancia que no acontece con la leche natural. La *gelatina*, la *ictiocola* (cola de pescado) serán descubiertas por el tanino (que las precipita) después de separado el caseum por algunas gotas de ácido sulfúrico diluido en agua. La *goma*, la *dextrina*, el *mucilago de goma tragacanto*, se las reconoce por el alcohol (que también las precipita) cuando se ha convertido la leche en suero por el ácido sulfúrico.

La materia cerebral que á veces se ha añadido á la leche se la reconoce por la propiedad que tiene de adherirse á las vasijas

y por la presencia del fósforo que dicha materia contiene, y reconocible por la acción sucesiva de la potasa, el ácido nítrico y el molibdanato de amonio”.

“**El bicarbonato de sodio**, que frecuentemente se suele añadir á la leche para impedir su coagulación saturando el ácido que podría ocasionarla, puede tener sus inconvenientes si la cantidad es excesiva, cuando se trata de la alimentación artificial. Para revelar su presencia y hasta cierto punto aun su proporción, se añade bastante ácido acético para coagular la leche; se filtra y se evapora el líquido hasta la sequedad. El peso del residuo comparado al de la leche normal da ya una primera indicación. Se la completa incinerando el residuo y determinando su título alométrico. Este título corresponde exactamente al bicarbonato que existía en la leche; porque el acetato de soda que la reemplaza en el residuo se transforma también en bicarbonato por la calcinación”. (*Buignet obra cit.*)

CAPITULO XIII.

172 Hemos estudiado en el capítulo anterior las leyes físicas que presiden cuando los líquidos en estado de reposo obedecen á la gravedad, ó á fuerzas extrañas que actuen sobre ellos. Aplicadas estas mismas fuerzas no ya á los líquidos en reposo sino en movimiento, cambian notablemente los fenómenos y presidenlas otras leyes que las vamos á estudiar.

Cuando un líquido cae de una cierta altura se observa que sus moléculas tienden á separarse más ó menos según las condiciones de la caída. Si el líquido es fluido y cae de considerable altura se deshace en infinidad de gotas que se precipitan en forma de lluvia; pero se observará que aun en este caso el líquido al principio de la caída forma una sola masa que lleva el nombre de *chorro ó vena líquida* que va adelgazándose poco á poco hasta que llega el momento de la separación de sus partes y su resolución en gotas. Veamos ahora la razón de esto. Ya hemos visto que los cuerpos al caer descienden con movimiento uniformemente acelerado; como las moléculas del líquido son en el caso actual solicitadas también por la gravedad, es evidente que para satisfacer la ley de la aceleración, la vena líquida tiene que contraerse á medida de la velocidad; y cuando esta supera á la fuerza

de atracción de las moléculas líquidas entre sí, se destruye su cohesión y se resuelve en gotas más ó menos pequeñas. No deja de intervenir en tal fenómeno la resistencia que opone el aire á la caída del líquido lo cual sucede también cuando el chorro asciende en vez de caer. Por último en líquidos viscosos la vena líquida es más bien formada y su parte compacta ó maciza se prolonga más, sucediendo en algunos de ellos que llegan al suelo en forma de hebras finísimas que vuelven á agruparse en masas más ó menos compactas.—Se llama *gasto* á la cantidad del líquido que fluye en un tiempo dado.

Si los líquidos se hallan encerrados en tubos cerrados ó descienden por planos inclinados, se modifica el fenómeno, y entonces la vena líquida no se arranca á pesar de la velocidad que adquiere en cada momento.

173 Principio de Torricelli.—“Cuando se practica una abertura en la pared de un vaso que contiene un líquido, éste fluye ó se derrama con una velocidad tanto mayor cuanto más alto está el nivel encima del orificio, ó, como se dice en lenguaje técnico, cuanto mayor es la carga. Torricelli ejecutó sobre este punto de la mecánica de los líquidos experimentos que le condujeron al siguiente resultado, á saber: *que la velocidad del derrame es igual á la que adquiriría un cuerpo cayendo libremente desde la superficie libre hasta el centro del orificio.*”

174 Corrimiento de los líquidos en los tubos conductores.—(*) Cuando el corrimiento de los líquidos, en vez de ser libre, se verifica en los tubos de conducción, está sometido á otras leyes que la enunciada por Torricelli. El caso más común y que más interesa al fisiólogo es aquel en que el líquido moja al sólido.

Sea M (fig. 22) un depósito lleno de agua hasta el nivel H, y cuya pared lateral está perforada en la parte inferior donde hay un orificio circular O. Si esta abertura se abriese libremente al exterior, el líquido se escaparía con la *velocidad debida á la altura H*, formando una vena que ofrecería el fenómeno de la contracción. Mas, como se ha adaptado al orificio un tubo cilíndrico corto y de la

(*) Este párrafo así como los demás que tratan de la hidrodinámica y sus aplicaciones, los extractamos de la obra del Sr. Wundt (Physique medicale 1871).

misma sección, llamado *tubo adicional*, las moléculas líquidas las más exteriores son atraídas por la pared interna del tubo; ellas caminan, por tanto, paralelamente al eje del tubo sin oponerse unas á otras y en tal caso no hay contracción de la vena, y el gasto

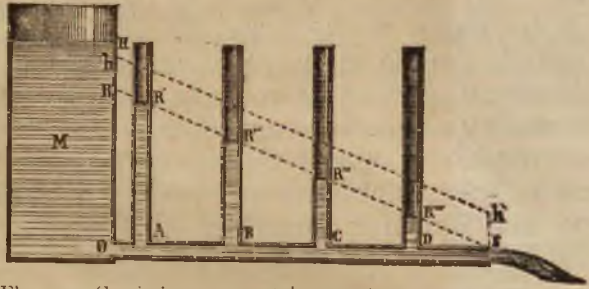


Fig. 22.—Corrimiento en un tubo rectilíneo y de sección variable. RR' R'' R''' Rv F, línea de los niveles piezométricos que indica el curso decreciente de la presión lateral.

se aumenta, lo que no sucedería si no hubiese tubo adicional.

No sucede lo mismo cuando en vez de un tubo corto se añade otro de alguna longitud; entonces la adhesión del líquido á la superficie interior del tubo perturba ó debilita el gasto, porque entonces las moléculas que están en contacto con el tubo permanecen fijas mientras se mueven las del centro, siendo el roce de las unas con las otras la causa que retarda la salida del líquido.

Resumiendo lo dicho, tengamos presente, que hay contracción de la vena líquida, y por tanto menor gasto, cuando el líquido sale por un orificio hecho en pared delgada; hay mayor gasto si se adapta á la abertura de salida un tubo cilíndrico corto, y menor si el tubo es de alguna extensión.

175 Corrimiento de los líquidos en tubos de diámetro variable.— La velocidad del corrimiento de los líquidos no es constante sino en tanto que el calibre del tubo es invariable; pero si aquel cambia, se modifica también la velocidad en virtud de la misma causa que la hace constante en los tubos de diámetro uniforme; y esta misma causa es la que mantiene la continuidad de la vena líquida; porque á la verdad, es necesario de todo punto que las cantidades de líquido que pasen en tiempos iguales al nivel de cada sección sean también iguales; pues el volumen de líquido que cabe en un punto dado del tubo es tanto más considerable cuanto mayor es la sección á ese nivel. Por tanto, *la velocidad de progresión de las moléculas líquidas debe variar en razón inversa del calibre del tubo.* Tal es la ley formulada por Leonardo de Vinci y conocida con el nombre de *ley de la continuidad.*

176 Influencia de los codos en el corrimiento de los líquidos.—En hidrodinámica se sabe que en un tubo rectilíneo y de diámetro igual la presión lateral decrece de una manera uniforme desde el orificio de entrada hasta el de salida; no sucede lo mismo cuando el tubo en vez de ser recto presenta ángulos ó codos. Sea ABC. (fig. 23) un tubo acodado en B: llegando el líquido en la dirección AB. chocará contra la pared opuesta del codo, y se verá obligado á dirigirse en sentido opuesto, por cuya razón obrará el mismo como resistencia. Si el tubo es más encorvado, el choque producido determinará á este nivel una especie de remolino que á veces podrá verificar la suspensión del movimiento de una parte del líquido; pero como el gasto debe ser uno mismo en toda la extensión del tubo, se sigue que el remolino en cuestión ejercerá sobre la velocidad el mismo influjo que tendría el estrechamiento del tubo á la altura del codo: el movimiento de las moléculas líquidas será más rápido en toda aquella región en que domina el remolino, y este aumento de velocidad irá seguido precisamente de disminución en la presión.

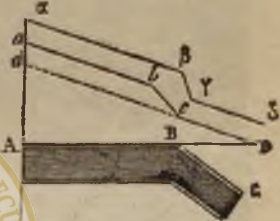


Fig. 23.—Influencia de los codos en el corrimiento de los líquidos.

177 Corrimiento de líquidos al traves de los tubos ramificados.—Cuando el corrimiento se efectúa en un sistema de tubos *ramificados*, las causas perturbadoras que hasta aquí hemos mencionado se encuentran casi todas reunidas. En cada punto de división existe un cambio de dirección más ó menos considerable: la suma de calibres que resultan de la ramificación difiere á menudo del calibre del tubo primitivo de donde emanan los tubos secundarios; en fin, la superficie de las paredes contra las cuales frota el líquido está por lo general aumentada.

Hay en este caso una disposición especial que nos interesa particularmente, en razón de su analogía con el sistema vascular del organismo animal.

Un tubo se ramifica por bifurcaciones repetidas en un número mayor ó menor de ramos; estos ramos vuelven á unirse aquí y acullá para constituir nuevos troncos cuya sección es más ó menos igual á la del tubo primitivo, y el calibre de las ramas reunidas sobrepaja al del tronco de donde emanan. La fig. 24 representa un corte ver-

tical de esta disposición, y la misma fig. en II la proyección horizontal en su mayor simplicidad.

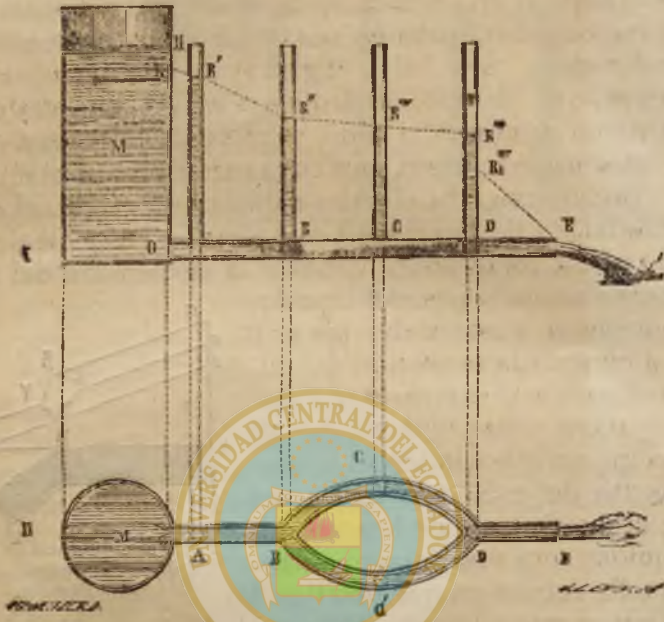


Fig. 24.—Corrimiento de los líquidos en un sistema de tubos ramificados.

ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

La línea quebrada $R R' R' R' R' E'$ representa las variaciones de la presión lateral. En el punto B de bifurcación, la presión experimentaría una alza brusca si el aumento de calibre total estuviese puesto en juego por sí sola; pero también decendería rápidamente si no tuviese que sufrir otra alteración que la presencia del codo en este sitio. Estas dos influencias á veces se destruyen mutuamente y se compensan; de lo que resulta que en R' las líneas de las presiones cambia de dirección siguiendo una pendiente menos fuerte; este efecto es consecuencia necesaria del ensanchamiento del sistema en los puntos B y D .—En el punto D en donde las ramificaciones vuelven á reunirse en un tronco común, hay á la vez estrechamiento en el lecho de la corriente y flexión angular de las paredes del tubo: las dos causas modificadoras obran aquí en el mismo sentido, y la presión lateral experimenta una baja brusca más grande que si sólo se tomase en cuenta la disminución de calibre.

178 Aplicación de las leyes de hidrodinámica á la circulación de la sangre: Hemodinámica.—Antes de entrar á tratar de las aplicaciones de las leyes de hidrodinámica á la circulación, conviene hacer una reseña sucinta de la parte anatómica del aparato circulatorio. (*)

La anatomía nos enseña que en el organismo del hombre y demás animales superiores existe un órgano hueco de naturaleza muscular, el *corazón*, dividido en dos cavidades distintas, si bien soldada la una á la otra, *el corazón derecho y el corazón izquierdo*; cada una de sus cavidades á su vez está subdividida en dos compartimientos, la *aurícula* y el *ventrículo* que comunican entre sí por intermedio de una válvula movable, la *válvula tricúspide* á la derecha y la *mitral* á la izquierda.

Del ventrículo izquierdo parte un conducto ó tubo elástico, la *aorta*, que se divide tan luego como se separa del corazón en una multitud de *ramificaciones*, las *arterias*, siendo estas tan numerosas que á medida que se alejan del corazón aumenta más y más el calibre reunido de ellas con relación al conducto primitivo. Cuando estas ramificaciones han llegado al interior de los tejidos se dividen y subdividen tanto, que llegan á una extrema tenuidad, y entonces toman el nombre de *capilares*, y forman por sus anastomosis una verdadera red vascular. Por el contrario, los capilares por una disposición universal á la que pasa en las arterias, se unen sucesivamente entre sí, de lo que resulta un



Fig. 25.—Esquema del aparato circulatorio, *cc*) Ventriculos.—*aa*) Aurículas.—*aa*) Sistema arterial de la circulación mayor.—*c*) Capilares generales.—*cc*) Sistema venoso de la circulación mayor.—*ap*) Sistema arterial de la pequeña circulación.—*p*) Capilares pulmonares.—*ap*) Sistema venoso de la circulación menor.

(*) La figura esquemática contigua dará á comprender la disposición del sistema circulatorio.

sistema de vasos diversos, las *venas*, que volviendo al corazón disminuyen sucesivamente en número y calibre total. Todas las venas excepto las propias del corazón, se reúnen en dos gruesos troncos venosos, la *vena cava superior* y la *vena cava inferior* que desembocan en la aurícula derecha. Tal es en pocas palabras el sistema de la *circulación mayor ó circulación general*.

Del ventrículo derecho parte igualmente un tubo elástico, la *arteria pulmonar* que forma un sistema semejante al anterior, distribuyéndose en el pulmón: este es el sistema de la *circulación menor ó pulmonar* que aboca en la aurícula izquierda. El circuito de las dos circulaciones es pues completo y dividido por el corazón en dos mitades de longitud desigual.

La aorta y la arteria pulmonar están provistas en su origen de tres válvulas cada una, las *válvulas sigmoideas ó semilunares*, destinadas á interceptar á su tiempo la comunicación entre los ventrículos y el conjunto de vasos arteriales.

Por fin, todo el interior del sistema circulatorio está repleto de un líquido especial la *sangre*, que tiene en suspensión corpúsculos sólidos designados con el nombre de *glóbulos sanguíneos*, los unos de forma discoidea y de color rojo, y los demás en menor número, *blancos*, esféricos y más gruesos.

Pasando ahora á la función de que está encargado el aparato circulatorio, se sabe desde el inmortal descubrimiento de Hervey que el corazón se contrae *periódicamente* en virtud de su naturaleza muscular, y que obra á la manera de una bomba aspirante impelente, repartiendo por todo el organismo el líquido contenido en el sistema vascular. Como consecuencia de esto, resulta un movimiento en la totalidad de la masa de la sangre cuya dirección está determinada por el mismo juego de las válvulas situadas en los orificios de cada ventrículo. Estas válvulas están dispuestas de tal manera, que por la *contracción ó sistole* de los ventrículos se cierran las válvulas aurículo-ventriculares, mientras se abren las que separan los ventrículos del sistema arterial, siendo de este modo arrojada la sangre en las arterias. Cuando cesa la *contracción* de los ventrículos, tienden al reposo tomando su forma primitiva ó de *relajación*; entonces su volumen aumenta y queda interceptada la comunicación con el sistema arterial por la *cerradura* de las válvulas sigmoideas; desde este momento y bajo la influencia de la desigualdad de presión entre el interior del ventrículo, y el interior de la aurícula correspondiente, diferencia que está aumentada por la *contracción* de esta última, la válvula aurículo-ventricular se abre y la sangre llena el ventrículo. En seguida el fenómeno *sistólico* comienza; á éste sigue el *diástole (dilatación)* y así sucesivamente: de esta manera pasa la sangre de las arterias á los capilares, luego á las venas, con lo que atraviesa los sistemas venoso y arterial, constituyendo así la *circulación*. Las *contracciones* de los ventrículos son *sincrónicas* (al mismo tiempo) y se hacen inmediatamente después de la de las aurículas.

Tales son los hechos más generales que debe conocer al físico: tócale ahora á él determinar el funcionamiento de la máquina, sin preocuparse de la causa que la pone en acción: correspóndele también establecer las leyes que presiden el movimiento de la sangre en el sistema circulatorio, y explicar todos los fenómenos físicos que son el resultado del movimiento del líquido.

Al Sr. Wolkmann cúpole la honra de ser uno de los primeros en haber llevado la cuestión de la circulación á su verdadero terreno, aplicando al curso de la sangre las leyes ya conocidas de la hidrodinámica, habiéndolas comprobado con experimentos.

Cualquiera que sea el origen de la fuerza en virtud de la cual tiende á fluir un líquido, se puede representar su intensidad por una columna líquida de cierta altura H , que es lo que hemos llamado *carga*. En el aparato circulatorio, es el corazón el que por la contracción periódica de sus ventrículos desenvuelve una presión hidrostática equivalente á la carga de que tratamos. Pero esta fuerza se puede descomponer en dos, la velocidad y la resistencia: la primera indica la velocidad con la cual la sangre se escapa del corazón; la segunda representa la presión lateral, ó como dicen los fisiólogos la *tensión sanguínea* que existe en el origen de la aorta ó de la arteria pulmonar. El valor de esta presión lateral mide la resistencia que la sangre tiene que vencer en toda la extensión de su trayecto al través de la pequeña y grande circulación. A medida que se aleja de los ventrículos, la fuerza motriz llega á ser más y más debil porque se invierte en destruir la resistencia, disminuyendo también la presión lateral en la misma relación. Este resultado que lo anuncia la teoría está confirmada por la experiencia; pues midiendo la presión lateral en diversos sitios del aparato circulatorio por medio de los *hemomanómetros*, se ha comprobado que la tensión de la sangre decrece á medida que se aleja del origen de la fuerza motriz, es decir, del ventrículo.

He aquí algunos valores de la tensión media, expresada en centímetros cúbicos de mercurio.

Arteria carótida del buey.....	16. ° 5
— metatarsiana.....	14. ° 6
Vena facial de la cabra.....	4. ° 1
— yugular.....	1. ° 8

Para el hombre admiten los fisiólogos como tensión media en el origen del sistema arterial casi 15 centímetros de mercurio, lo que equivaldría á una columna sanguínea de 2 metros de altura; mientras que en el sistema venoso cerca del corazón no es sino de 2 centímetros de mercurio, ó sean 27 centímetros de sangre.

Sabemos por otra parte que el sistema vascular en-

sancha mucho su calibre reunido á medida que se aproxima á los capilares, miéntras que se estrecha considerablemente en los troncos venosos y arteriales cercanos al corazón. De esta disposición anatómica resulta que la velocidad de progresión de la sangre disminuye paulatinamente en el sistema arterial, del ventrículo hacia los capilares, y que aumenta en la misma relación desde éstos hacia la aurícula. Nobstante, en los troncos venosos no llega á ser tan fuerte la tensión como lo es en los arteriales; porque el calibre reunido de las gruesas venas que desembocan en el corazón, es mucho mayor que el que tienen las arterias en su origen. Los experimentos que se han hecho con aparatos especiales corroboran lo que indica la teoría. En vista de esto los fisiólogos han establecido la siguiente proposición como un hecho verdadero:

La velocidad de la sangre disminuye en el sistema arterial á medida que se aleja del corazón; es casi igual en todo el sistema capilar, y va aumentando en el sistema venoso á medida que se aleja de los capilares.

La velocidad de la sangre presenta la misma singularidad que la tensión: en igualdad de circunstancias tiene sensiblemente el mismo valor en todos los mamíferos de talla mayor. Así que, se puede adoptar como término medio las cifras siguientes que representan en centímetros la velocidad por segundo.

Arteria carótida.....	26. ^c	Capilares....	0. ^c 05 á 0. ^c 01
— facial.....	16. ^c	Vena yugular	22. ^c

Los Sres. Chanveau, Bertolus y Laroyenne han encontrado que la velocidad de la sangre en *el momento del sistole ventricular* y en las arterias cercanas al corazón es de 52 centímetros por segundo.

Sé podría calcular la velocidad de la circulación en un punto dado del aparato vascular, si se conociese el calibre total de los vasos en el punto considerado, y la velocidad en otro sitio cualquiera cuyo calibre fuese también conocido; puesto que por la ley de la continuidad se deduce que la cantidad de sangre que atraviesa por uno de los puntos en cuestión debe ser la misma que pasa por el otro. En otros términos: es de suponer que las venas arrojen en un tiempo dado la misma cantidad de sangre que conducen las arterias, porque de otra manera quedaría interrumpida la circulación.

Esta relación entre la cantidad de sangre que entra al corazón y la que sale de este órgano debe haber sobre todo en las dos circulaciones, la menor y la mayor; y aunque es verdad que la tensión de la sangre en la arteria pulmonal es apenas $\frac{1}{3}$ de la que existe en la aorta, en cambio, la sangre que va por la aorta tiene que recorrer un espacio mayor, lo que exige que la fuerza de impulsión ó fuerza motriz sea también mayor. Estos hechos que la teoría anuncia se explican anatómicamente si se atiende á la mayor masa muscular de que consta el ventrículo izquierdo comparado con la del derecho, porque en la época de desarrollo de los dos ventrículos cada uno tiene que formarse en relación con la función que debe desempeñar.

Respecto de la tensión en las arterias y venas colaterales, la teoría enseña que casi no hay alteración; porque si es verdad que aumenta el calibre en proporción al número de ramificaciones, en la misma relación aumenta también el roce, lo que ocasiona una especie de compensación. Mas en la práctica no pudiera sostenerse esto mismo, porque cuando se liga una arteria colateral la tensión aumenta en la que le dió origen, porque la sangre que debía ir por dos conductos va por uno sólo.

179. Aparatos destinados á medir la presión lateral ó la tensión de la sangre.—Hemomanómetros.—Todos los hemomanómetros, excepto dos que son debidos, el uno á M. Marey, y el otro á M. A. Fick, tienen por fundamento el manómetro.

Al principio del siglo pasado se le ocurrió al fisiólogo inglés Hales aplicar el manómetro á la medida de la tensión arterial. Su procedimiento consistía en cortar una arteria cualquiera é introducir en ella un largo tubo de vidrio colocado verticalmente: entonces la sangre se elevaba en el tubo y según la altura á que llegaba daba indicio de su tensión. Poiseuille más tarde prestó un positivo servicio á la ciencia, sustituyendo al manómetro de columna sanguínea el de mercurio, mucho más manejable por su menor elevación: además, por la adición de un líquido alcalino impidió la coagulación de la sangre, lo que tenía el inconveniente de perturbar el experimento.—Por su parte Magendie empleó con el nombre de *hemómetro* un manómetro formado de una espaciosa cubeta *m* llena de mercurio (Fig. 26) sobre la cual se efectúa la presión sanguínea, y que comunica con un tubo vertical *T* que contiene la columna mercurial. Este instrumento un poco perfeccionado ha sido descrito por el Sr. Claudio Bernard con el nombre de *cardiómetro*.

El modo como Hales y Poiseuille aplicaban sus manómetros era defectuoso, porque suprimiendo la circulación en el vaso que operaban, comunicaban tensión al tronco que le daba origen, más no al vaso mismo. Tomando en consideración esta causa de error los fisiólogos alemanes Ludwig, Valentín, Vierordt & buscaron la manera de obviar el inconveniente aplicando el manómetro á la manera que Bernoulli se servía de su piezómetro. Se hace una abertura en forma de ojal en el vaso

cuya tensión se trata de averiguar por dicha abertura se pasa el tubo manométrico, valiéndose de dos placas que se las ajusta á tornillo y entre las que se halla aprisionada la pared arterial. A pesar de ser este un nuevo recurso, con todo, estos instrumentos así como los anteriores no carecían de inconvenientes, siendo dos las principales causas de error. La primera consiste en que por la velocidad que el mercurio adquiere en el momento del sistole y su caída ó descenso en el diástole, sobrepuja á la máxima y mínima que da la tensión por lo cual, no se puede tomar el verdadero término medio. La segunda dificultad, como hace notar Marey, consiste en que el término medio aritmético no corresponde al dinámico, puesto que el mercurio sube con más velocidad que la que emplea en la caída; por esta razón y para evitar las dos causas de error construyó un pequeño aparato llamado *manómetro compensador* [Fig. 27] con que se evitan ambas causas de error, con haber añadido solamente un tubo capilar entre las dos ramas del manómetro de Magendie. La resistencia que este tubo opone al movimiento del mercurio, tiene por objeto hacer subir el nivel del líquido por pequeñas sacudidas hasta un punto tal, según el autor, que la longitud de la columna levantada viene á ser proporcional á la duración de la presión: las oscilaciones que vienen entonces son tan pequeñas que pueden muy bien despreciarse.



Fig. 26.—Hemómetro de Magendie. —T T Tubo manométrico; m cubeta llena de mercurio; n porción de la cubeta que contiene disolución alcalina, así como el tubo t c C; C cánula que se encaja en el cabo central de la arteria.

Hacia la misma época el Sr. Claudio Bernard imaginó su *manómetro diferencial* destinado á medir la diferencia de tensión entre dos arterias. Este es simplemente un tubo en U, que con-

tiene mercurio y cuyas dos ramas se ponen en comunicación con una arteria diferente.

En 1862, los Sres, Chauveau y Marey emplearon un aparato registrador fundado en la trasmisión de las presiones al traves de los medios elásticos.

Dos ampollas elásticas llenas de aire comunican entre sí á beneficio de un tubo flexible; la ampolla exploratriz se halla introducida en la arteria; la otra que tiene la forma de un pequeño tímpano se halla en conexión con una palanca semejante á la del esfigmógrafo de Marey (Fig. 28) y que sirve para inscribir los movimientos en un cilindro en rotación.—M. Marey le ha dado el nombre de *poli-grafo* á su instrumento.

Por último, el Sr. A. Fick ha imaginado un *ci-mógrafa* de resorte fundado en el principio del manómetro metálico de Bourdon. La principal pieza de este aparato registrador consiste en un resorte hueco de sección elíptica en corvada en forma circular. Una de las extremidades está abierta y en comuni-



Fig. 27.—Manómetro compensador de Marey.

cación con el vaso sanguíneo por medio de un tubo; la otra se halla cerrada é inmóvil.—Se llena de alcohol el interior del resorte, y el tubo de comunicación de una solución de carbonato de sodio. Cuando la presión aumenta en el interior del manómetro, se desenvuelve el tubo manométrico; por el contrario se encorva en el caso opuesto. La extremidad libre señala con una palanca que termina en una punta metálica los movimientos en una cinta de papel ó un cilindro en rotación. Parece que este aparato presenta también causas de error debidas á la impulsión brusca de la palanca.

En estos últimos tiempos M. Marey se ha servido del aparato de Fick con algunas modificaciones habiéndole dado el nombre de manómetro metálico inscriptor. Nos contentaremos con poner la plancha que lo representa (Fig. 29).

180 Métodos y aparatos empleados para medir la velocidad de la corriente sanguínea.—Hemadromómetros.—Dos son los métodos principales imaginados para medir la velocidad de la corriente sanguínea. Los designaremos con los nombres de *método hidráulico* y *método óptico*.

I *Método hidráulico.*—Necesitando el empleo de aparatos relativamente voluminosos y la sección del vaso sobre el que debe operarse, es aplicable únicamente á los troncos de grueso calibre. Describiremos solamente el más importante.

En 1860, M. Chauveau se ha servido de un hemadromómetro que consta de un tubo metálico abierto por sus dos extremos para recibir en cada uno de ellos los cabos de una arteria previamente cortada (fig. 30). En la parte media del tubo hay una pequeña abertura cuadrangular cerrada por una membrana de caucho bien templada. En el medio de esta membrana existe una pequeña hendidura por la que pasa una aguja de aluminio (fig. 30, 1 bis); la parte que hace salida en el interior del tubo es aplastada; la extremidad exterior se mueve delante de un semicírculo graduado. La corriente sanguínea desvía la aguja en relación con la velocidad sanguínea.

II *Método óptico.*—Este método se usa en aquellos casos en los que es inaplicable el método hidráulico, singularmente cuando se quiere determinar la velocidad de la sangre en los capilares, eso sí con la condición que éstos puedan ser vistos por transparencia; entonces el microscopio puede seguir la progresión de un glóbulo sanguíneo y medir el espacio recorrido en un tiempo dado.

Vierordt en 1856 se ha valido de otro procedimiento: ha llegado á determinar en sí mismo la velocidad de la sangre en los capilares retinianos valiéndose de la *imagen vascular de Purkinje*.

181 Fuerza motriz y trabajo mecánico del corazón.— Apenas hay una cuestión en la que los fisiólogos hayan discrepado tanto como en la avaluación de la *fuerza del corazón*: desde las 180.000 libras de Borelli hasta los 45 gramos de D. Bernoulli hanse recorrido todas las cifras intermedias. Esta divergencia proviene en gran parte, del sentido diferente que cada autor ha creído dar á la expresión *fuerza del corazón*. Para dilucidar el asunto, es conveniente plantear el problema como es debido y especificar las cantidades que se tratan de avaluar.

En toda máquina se debe considerar:



Fig. 28. — Palanca del poligrafo articulada con la membrana del tambor iscriptor.

1º *La fuerza motriz ó potencia*; es decir la fuerza que produce el movimiento después de haber vencido la resistencia: se la representa por un peso;

2º El *trabajo mecánico* desarrollado por las fuerzas, ó sea el *trabajo motor*; es el efecto producido por la fuerza motriz.

Se ha adoptado como unidad del trabajo el *quilográmetro*, es decir, el producto de la unidad de fuerza (el kilogramo) por la unidad de longitud (el metro); esta cantidad representa el trabajo correspondiente á la elevación de un kilogramo ó un metro de altura.

I Fuerza motriz del corazón.—Se halla representada por el peso de una columna de sangre de altura H , que corresponde á lo que se llama la *carga* en hidrodinámica.

El peso de esta columna mide la presión que las paredes del corazón ejercen sobre la sangre allí contenida, y en virtud del principio de *igualdad de acción y reacción*, es también igual á la presión soportada por la superficie interna del corazón.

La *fuerza motriz* y la *presión soportada por el corazón* son pues dos cantidades equivalentes, pudiéndose tomar indiferentemente la una por la otra. Esta es la que algunos autores designan con el nombre de *fuerza estática* del corazón.

Hales avaluaba el peso de la columna sanguínea, dándole por sección la superficie interna del ventrículo; Poiseuille no tenía en cuenta sino el area del orificio aórtico. Pero, lo que sobre todo importa conocer es la presión soportada por la unidad de superficie; es necesario, pues, calcular el peso de una columna de sangre que tenga por sección 1 centímetro cuadrado y una altura H .

Si se desea conocer la presión total soportada por el ventrículo, habría que multiplicar el peso obtenido por la superficie interior de esta cavidad.

Chauveau y Marey han encontrado, á beneficio de su esfigmógrafo comparativo los siguientes números expresados en milímetros de altura mercurial:



Fig. 29.—Manómetro metálico inscriptor de Marey.—*a* tubo manométrico.—*b* tubo de comunicación con la arteria.—*c* palanca inscriptora.—*m* manómetro de mercurio.