TESIS

PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERO

ABASTECIMIENTO DE AGUAS

> Asegurar un copioso surtidor permanente de agua á las poblaciones, es asegurar la salubridad y el bienestar de sus habitantes.
>
> *(Monlau. Higiene púb, t. I, pág.* 43*)*

INTRODUCCION

En medio de la infinidad de temas que pudieron servirme de materia á la tesis que debo explanar, como aspirante al grado de Licenciado en Ciencias Exactas, ninguno creí más adecuado, atenta la condición higiénica de nuestras poblaciones y desde el punto de vista de utilidad pública, que aquél cuyo título encabeza el presente trabajo.

Y como la naturaleza y condiciones de una cosa se hallan en relación con la naturaleza y condiciones de su objeto; siendo el objeto del abastecimiento de aguas,— al menos en sus resultados prácticos—, conseguir mediante éllas la salubridad pública; se deduce que será tanto más importante aquél, cuanto lo sea ésta. Ahora bien: la salud pública en tanto es interesante, en cuanto dice relación á la colectividad de los hombres, seres los más nobles y perfectos de la naturaleza sensible; síguese, pues, que la importancia de la salud pública mide la del abastecimiento de aguas.

Esto supuesto, como lo que se diga del individuo, puede también afirmarse de la sociedad; resulta evidente, qne el alma del hombre,— considerado éste sobre todo como ser sociable—, "ha menester de un cuerpo bien organizado,"— esto es, que goce de salud—, "no ciertamente como órgano" indispensable, "pero sí como de instrumento" utilísimo y coadyuvante "para el ejercicio de sus facultades." (*) ¿Qué sería, en efecto, de la comunidad cuyos miembros todos, ó su mayor número, fuesen enfermos? Poco ó ningún contingente aportarían al bien general; la cultura y la industria serían desconocidas. Entre los medios, pues, descubiertos para conservar y mejorar la salud, la cual según Santo Tomás, "es el equilibrio y la armonía de los elementos del cuerpo humano;" uno de los más eficaces es el abastecimiento de aguas; pues sin agua para los usos públicos y particulares, no puede haber aseo, y sin éste, no es posible la salud de los individuos y de las naciones.

Un célebre escritor dice que "las sociedades humanas son vastas enfermerías;" y si hemos de dar crédito á los cálculos de Pettenkofer, sobre que los productos de una población cargan ó embeben el suelo de una materia putrescible equivalente á la que resultaría de la descomposición de un número de cadáveres,— igual á la mitad de sus pobladores—, enterrados anualmente en el mismo sitio; deduciremos cuánta sea la necesidad de abastecer de agua los pueblos, para mejorar su condición higiénica.

Clarísimo se manifiesta, pues, la importancia del abastecimiento de aguas; el cual no es otra cosa que la operación de proveer á una localidad, en cantidad suficiente para sus necesidades, de agua potable, y del conjunto de obras y medios empleados para conseguirlo. Procuraré por tanto, tratar esta cuestión, lo mejor que me sea posible, dividiendo mi ensayo en los cinco puntos siguientes:

Expondré:

1º— Sobre la importancia del agua.

2º— De los medios de obtener el agua.

3º— De la cantidad necesaria de la misma para una ciudad y del aforo de las aguas.

4º— Del análisis y purificación de las aguas.

5º— De la distribución propiamente dicha.

Entremos en materia.

(*) He modificado ligeramente esta frase que se halla en la pág. 504 del "Curso de Historia Natural, Fisiología é Higiene" por el P. R. Martínez—Vigil, O. P.

I

IMPORTANCIA DEL AGUA

Entre los objetos tan variados que la naturaleza ofrece pródigamente al hombre para servicio suyo, apenas hay otro que satisfaga tanto sus necesidades, como el agua. Sin este elemento, uno de los más esenciales para la vida, no sólo de los animales, sí que también de las plantas, no se concibe el establecimiento y conservación de los reinos animal y vegetal. Merced á los adelantos de la ciencia, sabemos que dichos reinos dan comienzo su existencia en el estado líquido y, por consiguiente, no se explicaría su generación, nutrición y crecimiento, sin la concurrencia de los líquidos, que tienen su base en el agua.

Debido á ésta tenemos las nubes, formadas por sus vapores á expensas del calor, que, paseándose en las alturas atmosféricas, nos defienden de los abrasadores rayos térmicos, y, vivifican la tierra con sus lluvias, á la manera que la sangre bullidora circula y se difunde por el cuerpo vivo dando actividad y fuerza al organismo.

El agua es la que elabora la perla y el coral, y la que brinda asi.o y da sustento así al microscópico infusorio que jugueteador recorre y cruza el seno de los piélagos en múltiples y caprichosas direcciones, como á la gigantesca ballena que majestuosa los surca dominando á su placer las turbulentas olas.

Al carecer del agua, nos veríamos privados de los hermosos campos cubiertos de mieses y verdura, de los perfumes que las flores exhalan y del melodioso trinar de las aves, que tanto recrean nuestro espíritu é impulsan la razón humana á admitir la existencia de una Causa Primera, principio de todas las otras causas: Dios.

Como motor en las varias industrias, el agua, con su constitución fluida, replegándose sobre sí misma y acomodándose á las formas que toca, ejerce presiones, trasmite esfuerzos y pone en movimiento simultáneo muchas máquinas simples combinadas; remendando de este modo al alma que informa los actos del ser inteligente, los cuales proceden de la voluntad regulada y dirigida por el entendimiento y dicen relación á un fin.

En la locomotora el efecto del agua en estado de gas, es prodigioso; pues con su propiedad expansiva, aprisionado en una caldera, comunica tal rapidez y potencia á aquél monstruo, que "cruzando inmensas llanuras, corriendo dentro de las perforaciones de elevados montes, salvando enormes corrientes de agua, ó atravesando profundísimos barrancos, une los más lejanos países, acorta las distancias, mejora las costumbres, trasporta los producctos, estrecha las relaciones" y despierta con su grito penetrante á los pueblos que yacen en el letargo de la barbarie; levantando, de esta suerte, el progreso material de los pueblos á su más alto grado.

En el sublime espectáculo de la navegación, donde las olas en remolino incesante

"Llegan, se agolpan y huyen del Océano
Y tornan otra vez á sucederse,"

nos ofrece el agua un camino sin huella, por el que sólo el matemático puede dirigirse con rumbo seguro y cierto, evitando las graves dificultades de un camino tardío y peligroso trazado sobre un suelo áspero é incoherente, á las veces, y economizando las construcciones de líneas que los otros medios de comunicación exigen.

La agricultura, fuente de riqueza y felicidad públicas en toda nación, y de la que dependen el comercio, las artes y la población misma, puede considerarse como imposible sin la existencia del agua.

Si las gotas de agua suspendidas en las altas regiones aéreas, no descompusiesen por refracción la luz blanca en sus siete colores simples principales, no se formaría ese bellísimo símbolo de alianza entre el Cielo y la Tierra,— establecido por el Creador cuando la masa áquea cubrió toda la superficie de nuestro planeta con el diluvio universal—, y á cuya aparición el navegante, en medio de deshecha tormenta, recobra la esperanza y la tranquilidad perdidas.

Los grandes oásis que sostienen con sus productos á setecientos mil habitantes en los vastos y yermos desiertos que se extienden en el Africa Setentrional entre 4500 kilómetros de largo y 1600 de ancho, son alimentados por surtidores de pozos artesianos. Allí, en medio de ese océano de arena, en que la vegetación se levanta como alfombra de esmeraldas incrustadas en bruñida plancha de plata, formando un impresionable contraste, es donde se adquiere mejor idea de lo benéfico del líquido aqüífero, presentándonos la naturaleza al lado de la esterilidad y desolación, la fecundidad y lozanía, y ofreciendo manutención, refrigerio y sosiego al fatigado caminante y morador de esas regiones.

. . . .

Mas? para qué extenderme en manifestar las cualidades é importancia del agua, si el espacio de que debo disponer no es suficiente para la dilucidación plena de esta inmensa cuestión?

Al terminar esta parte, diré del agua lo que dice Hediguer, hablando de la luz: "que sin ésta la tierra sería una inmensa tumba, un monstruoso cadáver que flotaría en los espacios."

En una palabra: quitad el agua y habrá desaparecido la vida material.

II

MEDIOS PARA OBTENER EL AGUA

El agua se encuentra diseminada con profusión por toda la redondez de este inmenso pedestal sobre el que la humanidad descansa, llamado Tierra. Unas veces se halla en grandes masas, puestas en movimiento ó por la acción mecánica del aire, ó por las diferencias de temperatura en las variadas capas líquidas, ó por las atracciones solar y, especialmente, lunar; ó por todas estas causas reunidas: denomínanse entonces océanos, mares, lagos etc., según la extensión y la profundidad. Otras, corre naturalmente sobre la superficie, siguiendo una dirección determinada, cuando halla un suelo más ó menos inclinado é impermeable, obedeciendo á esa tendencia universal de los líquidos á buscar su nivel: recibe, en este caso, el nombre de ríos, en general. Pero las corrientes no se verifican únicamente en la superficie de la tierra: háylas también interiores, debajo del suelo; y mientras permanecen ocultas, se apellidan *manantiales*, (*) hasta el punto donde surgen.

Ahora bien. Dos casos pueden ocurrir en la práctica del abastecimiento para una ciudad: el agua que deseamos obtener, ó se halla á descubierto, ó en manantial. Si lo primero, necesario es acudir á la Topografía; si lo segundo, viene en nuestro uaxilio la Geología.

Yo podría, pues, dividir esta segunda parte de la tesis en dos secciones, correspondientes á las dos cuestiones que acabo de mencionar; pero el estudio de nivelación se halla tan completa y extensamente tratado en los autores de Geodesia y Topografía, que poco ó nada enteramente original aduciría yo al respecto. Sin embargo, me contentaré con hacer una ligera indicación:— Si son visibles las aguas que se trata de conducir á un lugar señalado, forzoso sería proceder á una nivelación, (**) á fin de asegurarse si el punto donde éllas se encuentran tiene la altura necesaria sobre el á que deben llegar. Esta altura dependerá del desarrollo que tenga la línea nivelada, de la natnraleza é inclinación del conducto, del volumen de agua que deba afluir, etc. En la quinta parte tendré ocasión de hablar sobre los acueductos.

Pasaré, por tanto, á ocuparme del segundo punto, por ser bastante desconocido entre nosotros.

---

[*] Y no, como impropiamente se dice por el vulgo, vertientes, confundiendo con los flancos de las montañas.

(**) Se define la nivelación, de un modo general, diciendo: es la parte de la Topografía que se propone encontrar las diferencias de las distancias de dos ó más puntos de la superficie de la tierra al centro de ésta.

He dicho que cuando las aguas que se interesan son de manantial ú ocultas, la Geología nos enseña en qué lugares las hallaremos. En efecto, esta ciencia nos demuestra que las diferentes capas que constituyen la envoltura terrestre, no se hallan colocadas confusamente, sino guardando cierto orden de superposición; y el tránsito de un terreno á otro se verifica con arreglo á ciertas leyes. Así: el *granito* se encuentra por lo común sirviendo de base al *gneis;* la caliza reposa sobre la arcilla; la molasa domina á la marga; &ª.

De tal modo que un buen geólogo puede, con mucha probabilidad, en virtud de los terrenos que tiene á la vista, indicar los que están en el interior.

Mediante la Geología, sabe el minero en qué punto debe escabar la tierra y qué direcciones seguir para arrancar de sus entrañas los tesoros que ésta nos esconde, y así venir en conocimiento del éxito de una empresa; el constructor, los lugares que ha de remover para encontrar las piedras adecuadas á los proyectos que quiera realizar; el Ingeniero, la elección que hará de una vía, procurando no trazarla por terrenos susceptibles á fáciles desmoronamientos. A la misma ciencia debemos la adquisición de aguas potables que permanecerían sepultadas eternamente, formando uno como tejido arterial de nuestro planeta, si ella no nos manifestara las líneas que la masa áquea sigue en las profundidades desconocidas de la tierra.

Si hemos de dar asenso á lo que dice el eminente geólogo Cordier, el espesor de la costra del globo es de ochenta kilómetros, cuyas $\frac{19}{20}$ partes se hallan representadas por los terrenos llamados cristalinos, y la vigésima restante por los de sedimento.

Entre otros, Smith, Cuvier, Brongniart, Lamarh, Deshayes, Bertrand, el P. Faujas, Breislak y Humbolt son los creadores de la Geología ; mas, el último, de estos sabios, de quien dice Vilanova, que entre todos los hombres eminentes de nuestra época, puede considerársele, después de Aristóteles y Haller y de los enciclopedistas de la edad media, como un talento unlversal; fué el primero en presentar el cuadro clasificado, según su colocación, de los materiales que entran en la corteza terráquea, fundándose en lo que cerca de un siglo antes había ya dicho Arduino.

Nada diré acerca del proceso empleado por la naturaleza durante los tres períodos en que se divide la historia física de la Tierra, para tomar la forma que á nuestra vista presenta; nada del estado de difusión en que se encontró la materia, después de la creación, llenando los inmensos espacios y agrupándose al contorno de determinados núcleos, para formar los astros, según la hipótesis de Laplace. Tampoco hablaré del modo cómo los cuerpos todos debieron en su principio ser gaseosos, á causa de la elevadísima temperatura que entonces reinaba, penetrándose mutuamente, hasta que la irradiación del calor trajo el enfriamiento sucesivo, y las sustancias que ocupaban la parte más exterior de nuestra atmósfera se condensaron y separaron del resto de su masa, colocándose en el orden de densidades; ni de las combinaciones del cloro y del oxígeno con el aluminio, sodio, potasio, calcio, magnesio, hidrógeno, etc., con los cuales tienen mucha afinidad, para dar por resultado las principales sustancias que la química estudia y por consiguiente los minerales y rocas, constituidos por aquéllos, de las que se compone el globo que habitamos; ni de los innúmeros trastornos, cambios y modificaciones que éste experimentó en miles de centurias, desde que se le contó en el sistema planetario, hasta la aparición del hombre. No, nada de esto diré. Lo cierto es que la tierra, cubierta en su segundo período por las aguas; una vez verificados los levantamientos y hundimientos, ocasionó los continentes y los mares; las aguas habían dejado sus huellas, al retirarse, manifestadas por medio de los estratos, en tanto que la pasta interior incandescente se lanzó hacia fuera rompiendo la costra solidificada, lo que dió origen á los volcanes.

Ahora bien: los diversos terrenos, que se componen de muchas capas ó estratos, se dividen en permeables é impermeables, conforme dejen ó impidan penetrar el agua en su masa. A los primeros pertenecen: ciertos bancos de gneis, las esquistas mezcladas de mica, los filados, serpentinas, traps, espejuelos, ciertas gredas, etc., "entre las rocas de estratificación casi horizontal y divididas por fisuras verticales en pedruscos prismáticos de poca extensión y separados unos de otros por hendiduras y rajas que tienen toda especie de direcciones." La greda y la arcilla, roca esta última formada esencialmente de cilicato hidratado de alúmina, sólo ó asociado á otras sustancias, como óxidos de hierro, caliza, magnesio, pirita de hierro, etc.; resultado inmediato de la descomposición de las rocas feldspáticas y que, según Buffon y Wallerius, forman la cubierta de la masa entera del globo; junto con algunas rocas estratificadas ó no, de mucha extensión, "sin fisuras verticales ni oblicuas, ó que las tienen muy estrechas que el agua no pueda penetrarlas, como son los granitos, pórfidos, gneis, micasquistos, cuarzos, sienitas, asperones, protoginas, etc."; y ciertas rocas de agregación; se cuentan entre los terrenos impermeables.

Esto supuesto; como las capas impermeables no se presentan en todas partes á la superficie de la tierra, sin que por esto se las encuentre á mucha profundidad; resulta que, cuando los meteoros acuosos se resuelven en agua, ésta penetra las primeras capas permeables que halla, y escurriéndose por los poros ó intersticios que han abierto las aguas anteriores, se forman pequeños hiletes; los que obedeciendo á las leyes de la gravedad, bajan y se reunen con otros en su descenso, engrosando así cada vez más, hasta dar con una capa impermeable que los detiene y obliga á moverse en una pendiente, yá suave, ya pronunciada, y áun á salir fuera. Este movimiento, dice el Abate Paramelle, es parecido al de la savia en la raíz de una planta.

Queda así explicada la formación de los manantiales, cuya definición está dada en la página 220.

Como los terrenos estratificados conservan cierto paralelismo en sus estratos, salvo que alguna transformación ulterior hubiese hecho discordante la estratificación; se saca de esto que, á la profundidad de la capa permeable, casi todos los pliegues, gargantas, ó en general thalwegs ó valles contienen aguas ocultas que corren según la dirección de las líneas marcadas por éllos; pues, excepto algunos casos, los estratos tienen una dirección paralela á la de la superficie, y la corriente misma interior corresponderá al eje del vallecito ó thalweg, esto es á la intersección de las dos vertientes. De tal manera, que una vertical en un punto del eje del valle encontrará á más ó menos distancia de la superficie del suelo una corriente de agua interior, la cual contendrá tanto más caudal, cuanto mayor extensión tenga la cuenca que circunscriba al valle y más inferior ó distante del origen esté el punto que se considera. Por lo demás, los manantiales observan en su marcha las mismas leyes que las aguas visibles.

Del estudio, pues, de la configuración de la tierra y de la naturaleza de los diferentes terrenos, como también de la observación hidrográfica, depende el llegar á ser buen hidróscopo. Así sólo puede fijarse el lugar que encierra manantiales, los cuales se conseguiría extraerlos mediante una excavación ó perforación ya sea vertical ú horizontal, según las circunstancias, para conducirlos después, una vez obtenidos, por conductos especiales á los lugares que se desee, previos los trabajos que esta clase de obras exigen.

El Abate Paramelle, á fuerza de una contracción asídua durante veintinueve años y de una práctica asaz penosa, logró tratar satisfactoriamente sobre el descubrimiento de manantiales; y en más de 30000 experiencias consiguió indicar con precisión, en lugares para él desconocidos, tanto los manantiales recientemente surgidos como los que permanecían todavía ocultos, que allí estaban contenidos: predecía el volumen que tenían y la profundidad á que se encontraban, dejando asombrados á los que asistían á las excursiones.

Entre los terrenos favorables á los manantiales, se enumeran:

Los primitivos, si son mesetas terminadas por terreno detrítico.

Los de transición, "cuando están colocados inmediatamente sobre terrenos primitivos," en cuyo caso, "las infiltraciones bajan generalmente por éllos hasta la superficie de estos últimos, siguiendo sus diversas pendientes, y derramándose al exterior por entre las hendiduras que separan los unos de los otros;" las almendrillas; el asperón rojo y el ullero, las molasas, las pizarras, la esquista arcillosa, los mármoles, la caliza bituminosa, etc., pertenecen á este grupo. De los secundarios,— que poseen manantiales visibles en gran número, aunque poco voluminosos—, sólo suministran agua, "los calcáreos oolítico, compacto, sacaroide, silíceo, conchoso, marmoso y grosero;" así también, los calcáreos que tienen ceritas, troquites y encrinas, los de agua dulce y las arcillas alternadas con capas de arena; completando este conjunto los calcáreos y las marmas con grafitas, y los calcáreos con ammonitas y belemnitas. Se hallan igualmente entre los mismos, "los asperones verdes, la caliza espática, la de ceritas, la de agua dulce, las margas verdes, etc." y "los terrenos de aluvión y terromontero." (*)

No debe perderse de vista la inclinación y el espesor de las hiladas estratificadas que se supone conducen las aguas, para poder de esta suerte definir las zanjas ó excavaciones que deben hacerse, y cumplir así con la economía.

Por lo hasta aquí dicho, se ve que, con alguna práctica, y previo el examen de la cuenca hidrográfica de una localidad que interese, se encontrarán casi siempre manantiales, yá visibles, ya ocultos, á una distancia más ó menos considerable del lugar que se quiere abastecer; pero á no ser posible disponer de manantiales visibles, por encontrarse éstos demasiado bajos, con respecto al lugar á donde deben conducirse, sin que basten á subirlos ni las máquinas elevadoras, conviene muchas veces hacerla menos egoista á la naturaleza, arrebatándole cuanto antes el líquido que élla nos negara y que iría á brotar muy lejos; con lo cual puede conseguirse agua potable según el procedimiento general indicado en la página 223.

Vemos, pues, que este caso se reduciría al de la conducción de aguas corrientes visibles, que ya hemos considerado en la página 220.

Los pozos artesianos proporcionan agua de muy buenas condiciones; y los pueblos donde los hay, poseen una verdadera riqueza y maravilla, pues supera á toda otra adquisición para abastecer, por lo puro é inagotable de sus aguas.

Cuestión es que interesa en gran manera investigar qué parte de nuestro territorio se presta á la obtención de un pozo

(*) Puede consultarse al respecto la obra del Abate Paramelle, titulada: "De cubrimiento de manantiales."

artesiano. Para la resolución de este problema, hay que estudiar detenidamente y ver si la cuenca hidrográfica es de grande extensión, y si el terreno, detrítico ó permeable, reposa sobre otro impermeable, á fin de que así se forme una verdadera corriente interna y pueda saltar el agua á la superficie, ó subir lo necesario para alcanzarla.

Los pozos artesianos más notables en la actualidad, son el de Passy y el de Grenelle, este último antes fuera y hoy dentro, de la ciudad de Paris. Manan del primero 8000 metros cúbicos por día á la temperatura de 28°, y del segundo 700 á 27°. En el de Grenelle se ha construido una hermosa columna monumental de hierro fundido, de treinta metros de elevación, desde cuya altura se derrama el agua que viene de una profundidad de 548 metros.

Hay otros medios de auxiliar con agua, especialmente en las comarcas que de élla carecen; tales son: los pozos de filtración; los practicados á orillas de los ríos; las cisternas; las charcas, y la filtración de aguas cenagosas. Pero únicamente en lugares muy privados de agua debe recurrirse á estos modos de abastecimiento.

Pasemos ya á la tercera parte.

III

DE LA CANTIDAD NECESARIA Y DEL AFORO DE LAS AGUAS

Al abordar al tercer punto de nuestra tesis, es indispensable considerar las necesidades que el agua satisface en las poblaciones: tales son, según Monlau:

"1ª Usos domésticos, incluyendo la bebida de personas y animales y la limpieza de las casas.—2ª El consumo industrial por las fábricas.—3ª El empleo que desempeña en las casas de baños, lavaderos y otras industrias especiales del agua—4ª Limpieza, riegos de calles y servicios de incendios.—5ª Fuentes públicas de vecindad y riego de jardines."

Para calcular, pues, la cantidad de agua de alimentación de una ciudad, es preciso atender á los cinco oficios, arriba puntualizados, que el precioso mineral líquido desempeña; pero, salta á la vista, que infinidad de circunstancias locales influyen en la determinación de dicha cantidad; pues, como dice M. de Freycinet, ella varía con el clima, los vestidos, el número de establecimientos industriales y, sobre todo, con la superficie relativa de la ciudad ó lo que se llama la densidad media de la población. (*)

(*) Las poblaciones màs densas, para una misma superficie, consumen menos agua.

Desde luego, el agua potable nunca estará demás en una ciudad, porque cualquier exceso de aquélla, actualmente, se compensará á poco con el incremento de la población. No obstante, por razones de economía y por no encontrarse siempre manantiales voluminosos, se acostumbra fijar el mínimun de las aguas de alimentación. En cuanto á este mínimum discrepan los autores; pues mientras unos, como Paramelle, asignan 40 litros diarios por individuo; otros, como Darcy, señalan 150; pero los más convienen en que no debe bajar de 100 litros.

Suélese calcular la cantidad de agua, por individuo y por día. Sabiendo el número de fábricas que una ciudad tiene y lo que cada una de ellas gasta diariamente; el número de carruajes que se cuente, y lo que exigen para ser lavados cada ocho días; que el riego de las calles supone que se gasta un litro de agua por metro cuadrado; que el hombre, para la bebida y aseo personal, consume 20 litros por día; etc., etc.; se ve á cuánto asciende la cantidad, y ésta se divide, para sacar sólo el término medio por persona, por el número total de pobladores. Así es como Darcy, por ejemplo, señalaba como base general 150 litros del modo siguiente, para París:

1º Para usos domésticos, riegos de jardines, baños, establecimientos industriales, incendios, fuentes monumentales, 90 litros

2º Para fuentes de vecindad y riego de las vías públicas.. 60 litros

Total por habitante.............................. 150 litros

Monlau distribuye 100 litros, como á continuación se pone:

10	litros	para	bebida.
15	,,	,,	limpieza y aseo personal.
15	,,	,,	limpiar los comestibles y platos, guisar, etc.
10	,,	,,	un pediluvio semanal y un baño general cada dos meses.
20	,,	,,	el lavado de ropa.
20	,,	,,	el riego de la casa (en verano), asear los suelos, refrescar el ambiente, etc.
10	,,	,,	el riego de jardines, macetas, etc.

100 litros.... Total por individuo y por día.

Mas, según lo dicho antes, no puede precisarse el mínimun, de un modo general, y, por tanto, la cantidad de agua que un autor señale, no representa un tipo, un patrón. En el Ecuador mismo, se comprende que más agua necesitan en la costa que en el interior; pues aquí no son frecuentes ni tan temibles los incendios como en el litoral; la temperatura fuerte que allá trae sofocantes á sus habitadores, les obliga á un aseo más esmerado; la industria y la agricultura, por la facilidad de transporte, son superiores á las de la sierra; etc..... Concretándonos algo á Quito, diremos que, con las aguas, obsequiadas por el Pichincha y el Atacazo (*), que ascienden poco más ó menos á ocho molinos, tiene más allá de lo suficiente para las necesidades públicas y particulares; pues sólo la chorrera del volcán, medida en tiempo de sequía directamente por mí, produce un molino ochenta y nueve pajas, ó sean 4660 metros cúbicos en 24 horas; los que dividiendo por 55000, número de habitantes, según arrojan los últimos datos de estadística, da por persona algo más de 84 litros, cantidad excedente en más del duplo á 40 litros que nos parece bastante en la actualidad. Si á esto se añade que algunas fábricas funcionan con las aguas del Machángara, y que casi todas las casas de baños cuentan con agua propia; viene quedando un sobrante considerable de agua, el que se reservaría para la canalización de la ciudad. En cuanto á agua, pues, no debemos fatigarnos, por lo pronto, en conseguir mayor caudal.

Los antiguos, especialmente los romanos, comprendieron cuán necesaria era el agua en los poblados; y así, en el tiempo que ellos dominaron, tanto en su patria como en los Estados que sujetaron á su poder, construyeron obras gigantescas y costosísimas,—de las que todavía quedan restos—, para conducir y abastecer de abundantísima agua á esas poblaciones. Por veinte magníficos acueductos (**) recibía Roma 800000 metros cúbicos diarios, de los que dedicaban gran parte para los baños públicos y salas de termas, que hacían el verdadero lujo de las habitaciones de aquel pueblo belicoso; pues, en el tiempo de la República, llegó á ser el baño una necesidad cuotidiana, tanto para el patricio como para el plebeyo, y bañábanse hasta tres veces al día en invierno, y hasta cinco en verano, desde que Agripa hizo donación de sus termas al público y los Emperadores que vinieron después de este yerno de Augusto mandaron construir baños que merecieron los más grandes encomios de los escritores de la antigüedad: había en ellos exedras, salas de conversación, pórticos, calles de árboles con asientos, ricas bibliotecas, etc.—Mas casi todo se destruyó, y en 1860 no contaba la Señora del mundo más que con 180000 metros cúbicos por día, que le llegaba por los tres acueductos: Virginie, Felice y

(*) Las aguas de este monte, hace ya más de tres años que llegaron á la parte oxidental de la ciudad, sin que se aproveche de éllas con ventaja, dejándolas correr por una quebrada.

[**] "Los acueductos," diremos con Manjarres, "quizá sean una prueba del atraso en que á la sazón estaban las ciencias físicas acerca del verdadero nivel de las aguas; pero no puede negarse que son modelos de construcción." Sin embargo hoy, á diferencia de aquella época que no conocía el refinamiento del lujo creado por las sociedades modernas, y gracias al perfeccionamiento de la ciencia de las construcciones que introduce como factor la economía, se ejecutan esas obras con menos dispendio y mayor facilidad.

Paola; pero el primero es el único que conduce agua potable; los otros dos llevan aguas cargadas, respectivamente, de sustancias calcáreas y orgánicas.

En el día, que la civilización ha llegado á su apogeo, no podían descuidarse del agua las naciones más adelantadas. La ciudad de París cuenta actualmente con una cantidad prodigiosa del benéfico líquido, que hace cuatro años fué conducida desde l' Avre, (*) lugar distante de la capital 102 kilómetros. De la cañería correspondiente, 72 kilómetros son á cielo descubierto y 26 de galerías subterráneas. Disfruta de 710000 metros cúbicos diarios de toda clase de aguas, de los cuales, 250000 le entran de rios. A cada habitante corresponde 290 litros por día.

Washington ofrece á sus 700000 pobladores 300000 metros cúbicos diariamente.

En general, ningún pueblo omite esfuerzo ni sacrificio á fin de adquirir el agua que ha menester para llenar sus exigencias; pues, ¡tan inmensos son los bienes que ella produce!

Pero no podrá determinarse una cantidad cualquiera de agua, sin saber medirla. El conjunto de operaciones conducentes á obtener el gasto del agua, constituye el aforo de las aguas.

Llámase gasto el volumen líquido que mana por un orificio ó pasa por una sección determinada en la unidad de tiempo.

Según esta última definición, el gasto es un volumen, un prisma que tiene de expresarse por tres dimensiones: dos que se dan en la superficie ó sección que se considera, y la otra que es la longitud recorrida por el fluido en la unidad de tiempo; esta tercera dimensión llámase velocidad. De tal modo que, si G es el gasto, S la sección y V la velocidad, la fórmula general del gasto será

$$G = S . V. \qquad (1)$$

Ahora bien: conforme á lo que ocurre en la práctica, consideremos las aguas que deben medirse: 1º corriendo á *cielo descubierto*; 2º en *conductos cerrados* (**). En el primero de estos dos modos se cuentan los ríos, los canales, etc; en el segundo se incluyen la salida del agua de depósitos por orificios y por tubos adicionales, y los tubos de conducción, que no son más que un caso particular de los tubos largos, los cuales ya estudiaremos.

(*) No debe confundirse con la ciudad: l' Havre.

(**) Por *cielo descubierto* se entiende aquí, no precisamente el que la superficie libre del curso esté expuesta al raso, sino el caso en que aun cuando las aguas estén abovedadas ó en un conducto cualquiera, no lo llenan completamente; mas si en éste no dejan espacio, dícense aguas en *conducto cerrado*. Esta distinción la hago con Vallejo.

En cuanto á las operaciones mismas de aforo, conviene distinguir las medidas de roconocimiento de las de distribución, para evitar grandes yerros. Los primeros tienen por objeto "determinar el volumen que pasa por una sección dada en condiciones particulares, é independientes del hidrómetra, por lo menos en el momento de practicar la medida, como son mayor ó menor profundidad en el curso, velocidad más ó menos grande, etc." Las segundas, "fijar las condiciones particulares de un orificio ó sección para que dé paso á un volumen de agua determinado de antemano; y viceversa: dada una sección arbitraria, determinar el volumen que por ella pasa." (Véase "Consideraciones generales sobre la medida de las aguas" por el Señnr Ingeniero J. Alejandrido Velasco, en los "Anales de la Universidad" de Quito, serie 6ª, Nº 43).

Sentado lo que antecede, veamos cómo se procede á la medida de las aguas en cada uno de los dos casos señalados, esto es: á cielo descubierto, y en conductos cerrados.

A — AFORO DE LOS CURSOS DE AGUA A CIELO DESCUBIERTO

Concretémonos á un río, hablando de un modo general, y habremos resuelto lo más difícil. Lo que se diga de los ríos se aplica directamente á los canales, etc.

En la fórmula típica (1) hay que calcular la sección y la velocidad.

Sección es la intersección formada por el curso de agua con un plano perpendicular al eje de aquél ó dirección común de los hilos fluidos. Para obtenerla, se elige la parte del río en que la corriente sea más regular y tenga un trecho en lo posible recto; se fijan en las orillas dos jalones verticales aa' y ll', (fig. 1ª), cuyo plano que por ellos pase debe procurarse hacer perpendicular al eje de la corriente; en seguida se coloca horizontalmente de un jalón á otro una regla ó cinta métrica al, (dividida de ordinario en decímetros), y de cada división se baja, lo más vertical que se pueda, la sonda, que no es sino una varrilla AB, (fig. 2), con escala en metros y sus submúltiplos, y cuyo cero empieza en un disco A que impide el hundimiento de la sonda cuando el fondo del cauce es fangoso. Con la sonda, pues, desde cada uno de los puntos de divisón de la regla al se toman las profundidades $b'u$, $c't$, $d's$,......... Así se determinan las superficies de los triángulos y trapecios $a'b'u$, $b'utc'$, $c'tsd'$,........, $j'ml'$. Sumadas todas estas superficies, se obtendrá el área entera de la sección trasversal.

Si se trata de un río caudaloso, la regla al será sustituida por un cable graduado, y las profundidades se miden por medio de otra sonda, como la marina, desde una embarcación que se la varará en los puntos señalados para el sondeo.

Esta es la manera más fácil de calcular la sección.

Pero sucede que el fondo ó cauce del curso es, á veces, muy irregular en el sentido de su sección trasversal; en cuyo caso se aplica otro método más elegante y aproximado, que es el descubierto por Tomás Simpson para la cuadratura de las curvas planas. Vamos á exponerlo. Supone que la distancia de las ordenadas extremas esté dividida en un número par de partes iguales.

Método de Tomás Simpson:

Sábese de la Geometría Analítica que por tres puntos próximos que no están en línea recta, pasa una parábola cuyo eje es paralelo á una dirección dada. Sea, por tanto ACE el arco de una curva parabólica cuyo eje esté paralelo á Cb; dicho eje será un diámetro de la curva, pues viene á ser el lugar geométrico de los puntos medios de todas las cuerdas paralelas á AE; luego, si se traza por C la tangente BD, (fig. 3), ésta será paralela á la cuerda AE. Dedúcese, pues, que el segmento parabólico $ACEA$ es los dos tercios del paralelogramo $ABDE$, y tendrá, consiguientemente, por medida, según un teorema de la misma Geometría, los $^2/_3$ del paralelogramo AD, esto es:

$$s' = {}^2/_3\ Ci \cdot ac,$$

llamando s' el área del segmento.

La superficie del trapecio rectilíneo $AacE$ es, si aquélla se representa por s'':

$$s'' = bi \cdot ac;$$

y el curvilíneo tiene por valor, si $ACEca$ se pone igual á s:

$$\begin{aligned} s''-s'=s&=ac(bi-{}^2/_3\,Ci)=ac[bi-{}^2/_3(ib-bC)] \\ &=ac({}^3/_3\,bi+{}^2/_3\,Cb-{}^2/_3\,bi)=ac({}^1/_3\,bi+{}^2/_3\,Cb) \\ &={}^1/_3\,ac(bi+2Cb)={}^1/_3\,2ab(bi+2Cb) \\ &={}^1/_3\,ab(2bi+4bC). \end{aligned}$$

Ahora, de la fig. 3ª se saca, poniendo, $ab=bc=h$, $Aa=y_1$, $Cb=y_2$, $Ec=y_3$:

$$2\,bi=y_1+y_3.$$

Por tanto,

trapecio curv. $ACEca=s={}^1/_3\,h(y_1+4y_2+y_3)$ (2):

fórmula que se verifica también cuando la curva vuelve su concavidad hacia el eje ac, como se ve en la fig. 4. En efecto:

$$\text{trap. rectil. } AacE=acbi,$$

$$\text{segmento parabólico } ACEA={}^2/_3\,ac.Ci;$$

luego

$$\begin{aligned} \text{trap. curv. } aACEc&=ac(bi+{}^2/_3\,Ci)=ac[bi+{}^2/_3(Cb-bi)] \\ &=ac({}^3/_3\,bi+{}^2/_3\,Cb-{}^2/_3\,bi)={}^1/_3\,ac(bi+2Cb). \end{aligned}$$

que es una de las formas que nos condujo á la ecuación (2). Luego la (2) es general; y áun puede hacérsela más extensa.

En verdad, considerando una área $A_1 B_1 B_{n+1} A_{n+1}$ limitada por el eje de abscisas, dos ordenadas cualesquiera y una curva MN, (fig. 5), divídase $A_1 A_{n+1}$ en número n de partes muy pequeñas iguales cada una á h, siendo n una cifra par; y si se designan por y_1, y_2, y_3, y_4, ... las ordenadas correspondientes á los diferentes puntos de división, es claro que, según el principio geométrico citado, por cada tres puntos consecutivos pasará una parábola cuyo eje será paralelo á OY. Según esto, la primera parábola estará determinada por los puntos B_1, B_2, B_3; la segunda, por los B_3, B_4, B_5; etc.; la última deberá pasar por B_{n-1}, B_n, B_{n+1}.

Aplicando, pues, á cada tres puntos de la curva la ecuación (2), se ve que es para cada uno de los trapecios $A_1 A_3 B_3 B_1$, $A_3 A_5 B_5 B_3$, ..., $A_{n-2} A_n B_n B_{n-2}$, cuyas superficies respectivas señalaremos con s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, ..., s_n:

$$\begin{aligned} s_1 &= \tfrac{1}{3} h\,(y_1 + 4y_2 + y_3) \\ s_2 &= \tfrac{1}{3} h\,(y_3 + 4y_4 + y_5) \\ s_3 &= \tfrac{1}{3} h\,(y_5 + 4y_6 + y_7) \\ s_4 &= \tfrac{1}{3} h\,(y_7 + 4y_8 + x_9) \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \end{aligned}$$

$$s_n = \tfrac{1}{3} h\,(y_{n-1} + 4y_n + y_{n+1}).$$

Sumando ordenadamente, se tiene:

$$s_1 + s_2 + s_3 + \ldots + s_n = S = \tfrac{1}{3} h\,(y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 2y_5 + 4y_6 + 2y_7 + \ldots\ldots\ldots + 4y_{n-1} + y_n)$$

$$(3) \qquad \left\{ \begin{aligned} S = \tfrac{1}{3} h\,[(y_1 + y_n) + 4\,(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots\ldots + y_n) \ldots \\ + 2(y_3 + y_5 + y_7 + \ldots\ldots\ldots\ldots + y_{n-1})]; \end{aligned} \right.$$

expresión algébrica que traducida dice: el área buscada tiene por valor aproximado *el tercio del producto de la distancia de dos ordenadas consecutivas por: la suma de las ordenadas extremas, más cuatro veces la suma de las ordenadas de lugar par, más dos veces la suma de las ordenadas intermedias de lugar impar.*

La fórmula (3) se aplica á la determinación de la sección trasversal de un curso de aguas, cuando el cauce, en el sentido que estudiamos, es muy irregular; debiendo advertirse que la curva misma, que limita el área supuesta en la figura 5, viene á ser, entonces, el fondo del curso, exactamente como se ha considerado en la figura 1ª; también nótese, en ese caso, que las ordenadas extremas en a' y l' de la superficie libre del agua, son cero (fig. 1).

Si la curva, que constituye la sección trasversal del lecho, resultase discontínua, convendrá el cálculo de la sección, por partes, las que estarán comprendidas entre dos puntos discontínuos de la misma curva; y se sumarán en seguida.

Hasta aquí sólo hemos calculado el un factor S de la fórmula (1). Veamos ahora cómo se obtiene el otro V, la velocidad.

Por ésta se entiende, de un modo general, el camino recto ó curvo que recorre un punto material, ó un sistema de puntos, en un segundo, (entre nosotros el sexagesimal), de tiempo.

En el agua hay que distinguir la *velocidad media* de la *velocidad real ó local:* ésta es la que corresponde á una molécula de uno cualquiera de los hilos fluídos en movimiento; pero los infinitos hilos que pueden imaginarse en un curso de aguas no poseen iguales velocidades; en efecto: se comprende que el agua sufrirá más resistencias, al deslizarse por el fondo y las paredes, que son cuerpos sólidos que por la superficie libre, donde sólo el aire, tranquilo ó en movimiento, está en contacto con el agua; y como los líquidos casi no tienen poros, ó los tienen muy reducidos, razón por la cual hasta hace poco se los ha mirado como incompresibles, resulta que las capas ó hilos próximos á aquéllos que padecen más obstáculos en la marcha, participan, por esa unión de las moléculas, algo de aquel retardo; y, á medida que los hilos van separándose de las paredes y del fondo, experimentan menos resistencia, hasta cierto punto donde se encuentra el mínimun de ésta; y, por tanto, el máximum de velocidad; este máximum, pues, se halla á cierta profundidad de la superficie libre del curso.

Velocidad media, como indica el nombre, es el término medio de las velocidades reales correspondientes á los varios hilos; ó en otros términos: es "*aquélla con la cual, el volumen que discurriera por una sección dada, en la unidad de tiempo, sería igual á la que realmente discurre.*" Él factor V de la fórmula (1) representa esta velocidad media: calculémosla.

Varios aparatos, que se llaman hidrómetros ó hidrotaquímetos, se han ideado para medir la velocidad de las aguas en movimiento. Divídense en flotadores y en hidrómetros propiamente dichos, conforme sea necesario abandonarlos á la corriente en un cierto trecho más ó menos largo, ó tenerlos fijos para aprovechar sólo el empuje del agua. Pertenecen á los primeros: la oblea, el asta ritrométrica, el nadador esférico simple y el nadador compuesto; y entre los segundos, se cuentan: el péndulo hidrométrico, el hidrodinámetro de Brunings, el molinete ó reómetro de Woltmann y el tubo de Pitot.

Diremos algo de cada uno de ellos, por ser los principales.

FLOTADORES:

a).— Por su sencillez y precisión descuella entre los flotadores la oblea, que introdujo M. Boileau en 1845. Tiene la propiedad, á más de un pequeño volumen, la de adeherirse al líquido: circunstancias que neutralizan, en parte, la acción de la gravedad y reducen casi totalmente el roce del aire, quieto ó en actividad, contra el cuerpo flotante.

b).—Vienen después los bastones lastrados de madera ó astas ritrométricas, de las que se valió Buffon hace dos siglos en el aforo de las aguas del Tigris. Posteriormente han elegido con preferencia este flotador varios ingenieros, entre otros, Lombardini en las medidas del Pô, sir Roberto Gordon en el Mississipí y en el Yrrawady y Allan Cunningham en el canal del Ganges. Con esta clase de flotadores, si se les sumerge poco en el agua, se obtiene una velocidad mayor que la *media* del plano en que se han movido; y si se los hunde hasta cerca del fondo, acaecerá lo contrario.

c).—El nadador esférico simple no es otra cosa que un cuerpo, por lo regular de forma esférica, algo menos denso que el agua, de tal modo que, dejándolo libre en la corriente, pueda la superficie de ésta, en lo posible, quedar tangente á la parte superior de la esfera, para evitar los frotamientos con el aire, que alterarían la velocidad. Debe procurarse, en el uso de este nadador, escoger la parte menos pendiente del curso y la más regular, á fin de que "la resultante horizontal formada por el peso del cuerpo y el empuje del agua, no produzca una volocidad mayor que la de la corriente en ese punto."

d).—El nadador compuesto consta de dos nadadores esféricos simples, uno de los cuales, el inferior, lastrado, se mueve en el seno del líquido, en tanto que el otro, superior, camina inmediatamente debajo de la superficie libre. Ambas esferas se unen por una varilla metálica *a b* (fig. 6),—cuya magnitud depende de la profundidad del curso—, para hacer algo rígido al sistema.

Con este flotador se obtiene la velocidad media, siempre que arrojado aquél en el curso, la bola superficial *S* vaya á flor de agua, y la otra *F* camine cerca del fondo.

HIDROMETROS:

e).—Tenemos entre éstos el péndulo hidrométrico simple, que consiste en un cuadrante graduado C (fig 7) del centro O del cual pende un hilo en cuya extremidad inferior se halla agarrada una esfera de metal ó de marfil E que recibe el empuje del líquido. Ahora bien, si P es el peso de la esfera E, V su volúmen y P' su peso dentro del agua, resultará, según el principio de Arquimedes,

$$P'=P-\pi V \qquad (a)$$

Además, para el estado de equilibrio, si en la corriente es F el empuje y v la velocidad, hallaremos, admitiendo que aquél es proporcional al cuadrado de ésta,

$$F=K.v^2\,,$$

donde K es un coeficiente, dado por la experiencia.

Si δ es el ángulo de desviación del hilo con la vertical, se tendrá

$$P' \text{ tang. } \delta=F=Kv^2\,;$$

pero la ecuación (a) se puede escribir

$$P' \text{ tang. } \delta=P.\text{ tang. } \delta-\pi.V.\text{ tang. } \delta=Kv^2\,;$$

luego $$K.v^2=(P-\pi V)\text{ tang. } \delta;$$

de donde $$v=\sqrt{\frac{P-\pi.V}{K}\text{ tang. } \delta}.$$

Conociendo, pues, δ, la velocidad no es ya una incógnita.

f).—Hidrodinámetro de Brunings. En vez de la bola del hidrómetro anterior, es ahora una plancha inclinada Q (fig 8) la que recibe el empuje $K.\,v^2$, el cual se comunica al extremo F de la palanca EF por intermedio de una cadena BGF. El empuje se equilibra con un peso P movible en la palanca EF que tiene una escala. Sea x la distancia de P al punto de apoyo O, y a la de O á F. Estando todo en equilibrio, se saca, conforme á la teoría de los momentos,

$$a.\,K.\,v^2=P.\,x;$$

luego $$v=\sqrt{\frac{P.\,x}{a.\,K}}\,.$$

El empuje mismo sobre la plancha, se lee en el arco C.

Así que, conociendo x, la velocidad queda ya calculada.

La plancha Q se ha representado en proyección horizontal en H.

g).—Tubo de Pitot.—Este sabio notó que, al introducir en una corriente un tubo de vidrio de la forma SN (fig. 9), abierto en sus extremidades y recurvado en ángulo recto por su parte inferior, si la abertura A dirigíase contra la corriente, el nivel del agua dentro del tubo se eleva de una cantidad ab sobre el nivel exterior HH; y dicha altura es proporcional á la velocidad. Mas, colocando la abertura en sentido contrario, según $N'S'$, el nivel del tubo queda inferior.

En la propiedad, pues, de elevarse y bajar el agua en el tubo con relación al nivel exterior proporcionalmente á la velocidad de la corriente, fundaba Pitot su cálculo de la velocidad de la misma. Darcy procuró reunir los dos efectos en uno solo, uniendo ambos tubos, después de haberlos alterado ligeramente su forma, según indica la figura 10. Un grifo G se abre el rato de exprimentar, y ciérrase al sacarlo. Como la lectura no podría hacerse en la rama $A'GG'$ estando aún sumergido el aparato, mediante otro grifo G' se extraía convenientemente el aire de los tubos, poniéndolos en comunicación con una máquina neumática mediante un tubo T de plomo; con lo cual se conseguía la elevación del agua en cantidades iguales en los dos tubos, y podíase leer las alturas en escalas dispuestas en aquéllos, girando antes ambos grifos que estaban en comunicación con las ramas. Hecho esto, el cálculo de la velocidad lo efectuaba Darcy como sigue:

Sean α_1, α_2 dos coeficientes de proporcionalidad para ambas ramas, y h_1, h_2 las respectivas distancias ab, $b'a'$ de los niveles interiores al exterior; según el teorema de Torricelli, que veremos más adelante, se tendrá, para cada tubo:

$$h_1 = \alpha_1 \frac{v^2}{2g}, \qquad h_2 = \alpha_2 \frac{v^2}{2g};$$

sumado las dos ecuaciones y representando $(h_1 + h_2)$ por h, resulta

$$h = h_1 + h_2 = (\alpha_1 + \alpha_2)\frac{v^2}{2g};$$

de donde

$$v = \frac{1}{\sqrt{\alpha_1 + \alpha_2}} \sqrt{2gh} = \beta\sqrt{2gh},$$

poniendo $\dfrac{1}{\sqrt{\alpha_1 + \alpha_1}} = \beta$.

h).—Tenemos, por último, el molinete de Woltmann, destinado á medir la velocidad de una corriente á cualquiera profundidad. La figura 11 representa el aparato, tal como Woltmann lo imaginó en 1790, según puede verse descrito en las páginas 217 y siguientes del tomo II de la obra de M. A. Graëff, titulada: "Traité d' Hydraulique." Consiste en un arbol horizontal giratorio *HH'* que lleva un tornillo sin fin, el cual engrana con una rueda dentada, la que á su vez pone en movimiento á otra segunda rueda mediante el engranage, con ésta, de un piñón que aquella tiene en su eje; las dos ruedas y el piñón se acomodan en un bastidor *B B'* movible al rededor de *B* en un plano vertical,—suponiendo el molinete orientado—. En el un extremo del arbol va montada una rueda de aletas inclinadas *A*, *A*, de las que sólo dos muestra la figura, Todo el sistema está asegurado en un semianillo *BCC*, que se halla sostenido por la pieza *H'ab'*, la cual puede subir y bajar á lo largo de la espiga *cc'* clavada verticalmente en el fondo del lecho el tiempo de la observación. La profundidad misma á que deba mantenerse el instrumento en el agua, consíguese por el anillo *a*; para lo que éste se sube ó baja, y con él todo el sistema, y después se lo afirma con el tornillo *b'* contra la espiga. Esto supuesto, para proceder á la observación, no hay sino sumergir verticalmente el aparato en el plano de la corriente, cuidando de que las paletas miren hacia la parte de arriba de la misma, á fin de que sufran la acción del líquido. Un cierto tiempo, mientras tomen las paletas un movimiento uniforme, no se establece el contacto entre el piñón y la rueda; pues mientras no se tira de un cordón *cc*, mantiene separados á aquéllos un resorte *r*; pero una vez establecido dicho régimen, tírase del cordón, y las ruedas se ponen en marcha; entonces se observa el tiempo, que el aparato funciona, en un buen cronómetro. Concluída la observación, para impedir que las ruedas dentadas sigan moviéndose, se afloja la cuerda, y después se retira el aparato. Las ruedas,—cuya graduación, que tampoco se ve en la figura, y debió arreglarse, ante todo, haciendo coincidir los ceros—, dan el número y franción de giros de la rueda de aletas.

Como se ve, la teoría de este aparato se funda en el número de rotaciones que hace la rueda de aletas en un tiempo fijo; y está probado, por multitud de experimentos, que el número de vueltas es, sin error sensible, proporcional á la velocidad de la corriente. Los fabricantes suelen marcar en cada aparato los números de vueltas, por segundo, correspondientes á las velocidades ordinarias; y si no se conoce esas relaciones, hay que determinarlas por observación en una corriente de velocidad conocida; ó también en el agua estancada, moviendo con ciertas velocidades el aparato durante un camino dado.

Llamando, pues, *v* la velocidad de la corriente, *n* el número de vueltas del molinete en un segundo, y a y b constantes (propias para cada molinete), tendremos la fórmula

$$v=a+bn\ ;$$

pero como a es comunmente muy pequeño, considérase á v como proporcianal á n.

Harlacher, notando que el molinete de Woltmann exigía sacarlo después de cada experiencia para hacer la lectura, y que el contacto entre la rueda y el piñón podía ajustarse más ó menos, marcando así una velocidad falsa; introdujo varias reformas en 1878: suprimió las ruedas dentadas, las aletas inclinadas las hizo helizoidales, y el aparato, á cada giro, registraba, sin sacarlo del agua, en una especie de receptor telegráfico que se dispone á orillas del río, y, si éste es caudaloso, en una embarcación, en la que se colocan las pilas y se instala el observador.

En fin, para no ser muy largos, remitimos, en lo que concierne á las modificaciones de este aparato, á la obra y páginas citadas de Graöff, donde se halla todo muy bien detallado (*)

Hecha esta ligera descripción de los principales aparatos que se destinan á investigar la velocidad de los cursos de agua, manifestemos ya cómo se procede para obtener, primeramente, la velocidad local; y después veremos el método que conduce á la obtención de la velocidad media.

Desde luego, prescindiendo de los aparatos de que se ha hablado en b) y d), que pueden dar directamente la velocidad media, todos los demás miden la velocidad real.

Para determinar ésta, conviene, ante todo, escoger el trecho del río donde el cauce y el curso estén más regularizados; entónces se mide en la orilla una distancia AB (procurando tomarla paralelamente al eje del río), (fig. 12),que será más ó menos consirable en proporción á la intensidad de la corriente; en seguida se colocan en las extremidades de la parte medida, esto es en A y B, así como en C y en D, algunos centímetros encima, paralelos á la superficie libre y perpendiculares al eje, las varillas ó cables graduados AD y BC que se se apoyan en jalones verticales clavados en A y D, B y C. Así preparadas las cosas, instálase el observador, con un buen cronógrafo en A (ó en D), de modo que sus visuales con el jalón que tiene á los pies, formen un plano con el otro jalón que pasa por D; en tanto que dos ayu-

[*] Por lo demás, cuánto se refiere á los instrumentos cuya teoría hemos expuesto, véanse las obras siguientes: la misma obra de Graëff, desde la pág. 212 del tomo II; el "Tratato di Ydráulica práctica," de A. Nazzani, t. I, págs. 77 y siguientes; y el "Dictionaire de Mathématiques apliquées," por H. Sonnet, pág. 363.

dantes, situado el uno en B, (ó en C, según que la observación se haga de la orilla izquierda é de la derecha), está listo á dar la voz en el instante que el flotador pasa por debajo de la regla ó cable BC, y el ótro se encarga de soltar, uno ó dos metros más arriba de esta primera señal AD, (*) y de coger el flotador del agua, cuando éste haya pasado por la segunda señal. Así es que, en el instante en que el observador ve pasar el cuerpo por debajo de la primera señal, inmediatamente comprime el resorte del cronógrafo cuya aguja instantera no marchaba, para ponerla en movimiento; cuando el jefe recibe la voz del ayudante, al pasar el flotador por la segunda señal, vuelve á comprimir el resorte, y cesa de andar es instantero; el arco recorrido por la aguja desde las doce, número que al principio marcaba, hasta que se detiene, indicará el tiempo empleado por el flotador en recorrer la distancia medida. Con una nueva compresión del resorte, regresa el puntero á las doce, y está otra vez listo para nueva experiencia. No queda ya sino dividir el espacio por el número de segundos que marcó la aguja, y se tiene la velocidad real.

Esta operación se repite, con el fin de asegurarse de la verdad, comparando el segundo resultado con el primero; y sólo en caso de que no estén conformes, se experimentará una tercera vez.

Hay que advertir, que de los aparatos para determinar la velocidad real,—se entiende, naturalmente, del agua—, sólo los indicados en *a)* y *c)* necesitan usarse del modo que acabamos de exponer; los ótros tienen procedimientos y fórmulas especiales, según se vió en el lugar respectivo.

Ahora, para deducir la velocidad media, con alguna aproximación,—pues que, prácticamente, es imposible obtenerla con toda exactitud, por la razón de no poderse conseguir todas las velocidades de los ínfinitos hilos fluídos—, exigente será tomar algunas velocidades locales que correspandan á diferentes puntos de una misma sección trasversal. lo que especialmente se logra con el molinete; y hecho esto, no hay más que deducir el término medio; ó lo que es lo mismo: llamando v_1, v_2, v_3, ..., v_n las velocidades reales observadas, la velocidad media V será dada por la fórmula

$$V = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + \ldots\ldots\ldots\ldots + v_n}{n} \qquad (4)$$

(*) Con el objeto de que el nadador, cuando pase por debajo de AB, ya participe de la velocidad real del agua.

No es difícil comprender que en cualquier curso de agua, entre la infinidad de filetes imaginables, uno habrá de éstos que posea la velocidad media, por el hecho de que los hilos parietales son los que tienen menor velocidad, y la máxima corresponde á un hilo que próximamente pasa por el centro de la sección trasversal. Cunningham ha encontrado para la velocidad media las siguientes fórmulas prácticas:

$$U = \tfrac{1}{4}\left(V_{0} + 3\,V_{\frac{2}{3}H}\right), \qquad U = \tfrac{1}{2}\left(V_{0,211\,H} + V_{0,789\,H}\right),$$

(véase la obra citada de Graëff, t. II, pág. 172), en las que los índices de V señalan las profundidades correspondientes. Así, la primera fórmula dice: *la velocidad media es ¼ de: la velocidad superficial, más tres veces la que se obtiene á los ⅔ contando la profundidad desde la misma superficie.*

Según el mismo Graëff, la velocidad media se encuentra á los 0,73 cerca de los bordes, y á los 0,62 de la profundidad en pleno lecho; y en los tubos, según Bresse, está á los 0,71 del diámetro.

M. Lecreulx,–según dice D. José Mariano Vallejo en su "Tratado sobre el movimiento y aplicaciones de las aguas," t. I, pág. 263–, teniendo en cuenta que muchos autores pretenden que "la velocidad media de una corriente es *igual á los 4/5 de la velocidad de la superficie*," examinó esta opinión y también la de M. Dubaut contenida en estos términos: "*La velocidad media de una corriente uniforme y reglada es aproximadamente proporcional aritmética entre la velocidad de la superficie y la del fondo;*" y halló, escogiendo 48 de las experiencias de Dubuat, que, el parecer más concorde con los resultados prácticos, era el primero; pues de las 48 experiencias, 23 confirmaban la primera opinión, mientras que la segunda encontraba apoyo sólo en 12.

M. de Prony obtiene directamente la velocidad media por la de la superficie, mediante la fórmula

$$V = \frac{v(v + 2{,}37187)}{v + 3{,}15312},$$

en donde V es la velocidad media y v la de la superficie.

Tiene esta fórmula la ventaja, como dice Vallejo, á más de ser expedita para el cálculo y de representar fielmente los experimentos, de hacer á un tiempo nulas ambas velocidades, como debe ser, cuando una de ellas lo es.

En la última parte de mi trabajo se verá otra fórmula que se aplica también á los cursos á cielo descubierto.

Queda, de esta suerte, determinado perfectamante el segundo factor V de la fórmula (1). que es la general, conforme veremos más adelante.

Pasemos ahora al

B— AFORO DE LAS AGUAS EN CONDUCTO CERRADO.

Para las consideraciones que vamos á hacer, recordemos el teorema de Torricelli. que corresponde á la fórmula

$$v = \sqrt{2\,g\,h}$$

relativa al eflujo de los líquidos por orificios practicados en pared delgada (*). Esta fórmula dice: "*La velocidad de un líquido que sale por un pequeño orificio practicado en pared delgada, es igual á la que adquiriría un cuerpo que cayese libremente en el vacío, desde la superficie libre hasta el centro del orificio.*"

La demostración de este teorema traen todas las obras de Mecánica é Hidráulica; puede verse, por ejemplo, la de D. Tomás Ariño y Sancho, en su "Mecánica Racional," t. II, pág. 452. Por razón de laconismo no entramos en los pormenores.

Esto supuesto, comencemos esta sección estudiando la salida del agua por orificios hechos en pared delgada.

Pondré aquí una brillante demostración de la fórmula, que suministra el gasto para este caso, y que la extracté de las explicaciones orales del profesor de Hidrotecnia.

La fórmula es

$$S \cdot V = Q = \pi\, r^2 \sqrt{2\,g\,h}\left[1 - \frac{1}{32}\left(\frac{r}{h}\right)^2 - \frac{5}{1024}\left(\frac{r}{h}\right)^4 - \cdots\right]$$

Para demostrarla, imaginemos que en la pared P de un depósito se abra un orificio de *forma embudada*, cuya boca más reducida se ve en la figura 13; y sea NG el nivel del líquido. Descompóngase la superficie del orificio en anillos circulares concéntricos del mismo ancho; los radios para cada anillo, serán: $\frac{r}{m}, \frac{2\,r}{m}, \frac{3\,r}{m}, \ldots\ldots, \frac{(m-1)\,r}{m}$, siendo m un número muy grande y, por tanto $\frac{r}{m}$, que llamaremos b, muy pequeño. Claro es que el número de anillos será proporcional á la magnitud de m. Aparte de esto, divídase cada anillo en los elementos paralelográmicos que la figura muestra entre A y D: cada elemento se acercará tanto más á un paralelogramo, cuanto

(*) Entiéndese por tal, aquélla cuyo grueso es menor que la mitad de la menor dimensión del orificio.

sean más pequeños; sea n el número de tales elementos para cada anillo; el valor en longitud de cada elemento será, puesto que la circunferencia se expresa por $2\pi r$, $(r=AC)$,

$$\frac{2\pi r}{n};$$

y como hablamos de cada elemento anular, ó mejor dicho de una de las dimensiones de cada elemento, resulta que el área para cada uno de los mismos, es

$$\frac{2\pi r}{n}\cdot b=\frac{2\pi r b}{n}=E.$$

Si $GC=h$, y el ángulo $ACE=\varphi$,—al rededor del cual se consideran los elementos, como desde E hasta A—, la presión sobre cada elemento E será

$$EN=CG-CL=h-r\cos\varphi;$$

y el gasto para cada elemento anular, es

$$Q'=S\cdot V=S\cdot\sqrt{2gh'}=\frac{2\pi r b}{n}\sqrt{2g(h-r\cos\varphi)}$$

$$=\frac{2\pi r b}{n}\sqrt{2gh\left(1-\frac{r}{h}\cos\varphi\right)}=\frac{2\pi r b}{n}\sqrt{2gh}\cdot\sqrt{1-\frac{r}{h}\cos\varphi}$$

$$=\frac{2\pi r b}{n}\left[1-\tfrac{1}{2}\cdot\frac{r}{h}\cos\varphi-\tfrac{1}{8}\left(\frac{r}{h}\right)^2\cos^2\varphi-\ldots\right]\sqrt{2gh}$$

$$a)\quad=\frac{2\pi r b}{n}\sqrt{2gh}\left[1-\tfrac{1}{2}\frac{r}{h}\cos\varphi-\frac{1}{16}\left(\frac{r}{h}\right)^2(1+\cos 2\varphi^{(*)}\ldots\right]$$

El gasto para todo el anillo obtiénese, cuando por 1 se toma

[*] De la fórmula general $\cos^2\varphi=\dfrac{1+\cos 2\varphi}{2}$. El 4º termino sería

$$\frac{1\cdot-1\cdot-3}{1.2.3}\left(\frac{r}{h}\right)^3\cos^3\varphi=-\frac{1}{1.2}\cdot 3\left(\frac{r}{h}\right)^3\sum_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi}\cos^3\varphi=0,$$ haciendo la suma indicada; el 5º término es: $-\dfrac{5}{2^7}\left(\dfrac{r}{h}\right)^4\dfrac{3+4\cos 2\varphi+\cos 4\varphi}{2^3}$

$n.\,1=n$; por $\cos\varphi$, la suma de todos los *cosenos* de φ desde $\varphi=0$ hasta $\varphi=2\pi$; por $\cos 2\varphi$, la suma de todos los *cosenos* de 2φ desde $2\varphi=0$ hasta $2\varphi=4\pi$; &.ª Pero la suma de todos los *cosenos* de un círculo entero es cero; luego los *cosenos* desaparecen. La fórmula (a) vale para cualquier paralelogramo de los que forman el anillo; luego el gasto para cada anillo estará representado por la suma de los gastos de los elementos anulares; y así es para cada anillo

$$Q_1=\frac{2\pi r b}{n}\sqrt{2gh}\left[\sum_1^n 1-\tfrac{1}{4}.\frac{r}{h}\sum_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi}\cos\varphi\right.$$

$$\left.-\frac{1}{16}\left(\frac{r}{h}\right)^2\left(\sum_1^n 1+\sum_{2\varphi=0}^{2\varphi=4\pi}\cos 2\varphi\right)-\ldots\ldots\right];$$

y por lo explicado es

$$\sum_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi}\cos\varphi=0,\quad \sum_{2\varphi=0}^{2\varphi=4\pi}\cos 2\varphi=0,\ \ldots\ldots;\quad \sum_1^n 1=n;$$

y por esto,

$$Q_1=\frac{2\pi r b}{n}\sqrt{2gh}\left[n-\frac{1}{16}\left(\frac{r}{h}\right)^2 n-\ \ldots\ldots\right]$$

Tal es la fórmula que da el gasto para un anillo infinitamente delgado que corresponde al radio r; pero hemos hecho $\frac{r}{m}=b$; luego

$$Q_1=2\pi r\sqrt{2gh}\left[\frac{\frac{r}{m}}{n}n-\frac{\frac{r}{m}}{n}n\left(\frac{r}{h}\right)^2\frac{1}{16}-\ldots\right]$$

$$=2\pi r\sqrt{2gh}\left[\frac{r}{m}-\frac{1}{16}\cdot\frac{r}{m}\left(\frac{r}{m}\right)^2-\ldots\right]$$

Pero, si esta fórmula se verifica para un anillo de radio r, también se verificará para los radios

$$\frac{r}{m},\ \frac{2r}{m},\ \frac{3r}{m},\ldots\ldots,\ \frac{(m-1)\,r}{m},\ \frac{mr}{m}=r,$$

que corresponden á los anillos que forman el orificio de salida; luego, si en la fórmula precedente se pone por r los valores indicados, obtiénense las siguientes ecuaciones:

$$Q' = 2\pi r\sqrt{2gh}\left[\frac{\frac{r}{m}}{m} - \frac{1}{16}\cdot\frac{\frac{r}{m}}{m}\left(\frac{\frac{r}{m}}{h}\right)^2 - \cdots\right]$$

$$= 2\pi r\sqrt{2gh}\left[\frac{r}{m^2} - \frac{1}{16}\cdot\frac{r^3}{m^4h^2}\cdots\cdots\right] \text{, para el 1º}$$

$$Q' = 2\pi r\sqrt{2gh}\left[\frac{2r}{m^2} - \frac{1}{16}\cdot\frac{2^3r^3}{m^4h^2} - \cdots\cdots\right] \text{ para el 2º}$$

$$Q'' = 2\pi r\sqrt{2gh}\left[\frac{3r}{m^2} - \frac{1}{16}\cdot\frac{3^3r^3}{m^4h^2} - \cdots\cdots\right] \quad \text{,, ,, 3º}$$

....

....

La suma será el gasto total, es decir,

$$Q = 2\pi r\sqrt{2gh}\left[\frac{r}{m^2}(1+2+3+4+\ldots+m)\right.$$

$$\left.-\frac{1}{16}\cdot\frac{r^3}{m^4h^2}(1^3+2^3+3^3+\ldots)\ldots\right]$$

$$= 2\pi r\sqrt{2gh}\left[\frac{r}{m^2}\cdot\frac{m^2}{2} - \frac{1}{16}\cdot\frac{r^3}{m^4h^2}\cdot\frac{m^4}{4} - \cdots\cdots\right]$$

$$= \pi r^2\sqrt{2gh}\left[1 - \frac{1}{32}\left(\frac{r}{h}\right)^2 - \frac{5}{1024}\left(\frac{r}{h}\right)^4 - \cdots\right] \quad (4)$$

Q. E. L. Q. Q. D.

Si el nivel del agua pasa por el vértice del círculo, será, entonces

$$h = r, \text{ ó } \frac{r}{h} = 1,$$

y por tanto,

$$Q=\pi r^2 \sqrt{2gh}\left(1-\frac{1}{32}-\frac{5}{1024}-\ldots\ldots\right)=\pi r^2 \frac{987}{1024}\sqrt{2gh}$$

$$=0{\cdot}964\pi r^2 \sqrt{2gh}=0{\cdot}964 S \sqrt{2gh},$$

donde $S=\pi r^2$.

Ahora, veamos la fórmula para la salida del agua por un orificio circular que tenga tubo adicional cilíndrico. El gasto producido por un tubo de cualquiera longitud, ya lo dijimos, no es sino un caso particular del que se trata á continuación.

Sea: R un receptáculo que contenga agua, y el nivel de ésta indique la línea NN', (fig. 14); $EFF'E'$ un tubo adicional cilíndrico; y h la distancia de la superficie libre NN' al centro del orificio. Al salir el agua por el tubo, nótase en el interior de éste cierto nodo, contracción, vientre ó disminución de la vena fluída, á una distancia igual al radio de tubo contada desde la boca del mismo tubo, que se une á la pared. Hay, pues, en la vena líquida dos partes: la primera, contraida, que acabamos de ver; y la segunda, ya ensanchada, al salir el líquido rozando las paredes del tubo, y entonces se dice que el agua corre á *boca llena*. La relación ó cociente entre estas dos secciones, es el coeficiente de contracción; esto es, si S' y S son las secciones respectivas en EE' y FF', se tendrá, llamando α dicho coeficiente,

$$\alpha=\frac{S'}{S} \qquad (a)$$

Si q es la cantidad de agua que sale por EE', y v' la velocidad de salida, la cantidad que pasa por EE' será

$$q=\alpha.S.\,v'; \qquad (b)$$

pero la misma cantidad que pasa por EE' pasa también por FF'; luego, si v_1 es la velocidad en FF', tendremos

$$F'v'=F.v_1; \qquad (c)$$

mas, por la contracción es $F'<F$; luego $v'>v_1$.

Dedúcese, pues, que las capas elementales que pasan por F', salen por F á boca llena, con una velocidad menor de la que antes tenían; luego hay una pérdida de velocidad, que se expresa por

$$v'-v_1,$$

que no es otra cosa que una pérdida de fuerza viva, la cual pérdida tiene por valor la mitad del producto de la masa q por el cuadrado de la velocidad; si este valor representamos por p, será

$$p=\tfrac{1}{2}q(v'-v_1)^2 .$$

Además, la misma pérdida para las moléculas que atraviesan por FF' es

$$\tfrac{1}{2}qv_1^2 \qquad (d)$$

"Para que el agua salga, pues, por FF', es necesario que el trabajo del cilindro líquido, solicitado por la gravedad y presión, sea equivaleute á las dos fuerzas vivas indicadas; ó en otras palabras: que el trabajo mecánico que la gravedad y presión ejercen en la masa del indicado cilindro, sea equivalente á la resistencia expresada" por la fórmula (b) "y á la fuerza viva producida (d); pues se sabe de la mecánica racional que el trabajo de una fuerza es igual al de la resistencia, más el aumento de la fuerza viva; es decir,

$$T=f.s=rs+\tfrac{1}{2}m(v'-c)^2 ." \qquad (c)$$

($f=qg$, cantidad de movimiento).

Por consiguiente, para nuestro caso, será

$$T=\tfrac{1}{2}qv_1^2+\tfrac{1}{2}q(v'-v_1)^2 , \qquad (f)$$

puesto que rs de la fórmula (c) es el trabajo que hemos señalado en (d).

Ahora bien, una masa 1 con una aceleración ó camino 1 y con una preslón 1, produce el trabajo 1;

luego una masa q con una aceleración ó camimo 1 y con una presión 1, da el trabajo q;
„ „ „ q „ „ „ „ „ g „ „ „ „ 1, „ „ „ q g;
„ „ „ q „ „ „ „ „ g „ „ „ „ h, „ „ „ q g h,

que es el trabajo total T; luego

$$T=qgh. \qquad (g)$$

De (f) y (g) sacamos

$$q\,g\,h=\tfrac{1}{2}\,[q\,v_1^2+q\,(v'-v_1)^2] \qquad (h)$$

Pero la cantidad de agua es la misma que pasa, ya por EE', ya por FF'; será pues

$$a\,F\,v'=F\,v_1 , \quad ó \quad v'=\frac{v_1}{a} ;$$

luego, (h) transfórmase en

$$qgh = \tfrac{1}{2}\left[q\, v_1^2 + q\left(\frac{v_1}{a} - v_1\right)^2\right] = \tfrac{1}{2}\, q\left[v_1^2 + \left(\frac{v_1}{a} - v_1\right)^2\right],$$

ó $$2gh = v_1^2 + \left(\frac{v_1}{a} - v_1\right)^2 = v_1^2 + \left[v_1\left(\frac{1}{a} - 1\right)\right]^2$$

$$= v_1^2 + v_1^2\left(\frac{1}{a} - 1\right)^2 = v_1^2\left[1 + \left(\frac{1}{a} - 1\right)^2\right];$$

luego $$v_1^2 = \frac{2\,g\,h}{1 + \left(\frac{1}{a} - 1\right)^2}, \text{ ó } v_1 = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{a} - 1\right)^2}} \qquad (i)$$

Los demás coeficientes se hallan como sigue:
Ya sabemos que el gasto teórico tiene por fórmula la

$$q = S\,V = S\sqrt{2\,g\,h}; \qquad (j)$$

pero la sección S varía por el coeficiente de contracción, el que se vió que era $\frac{S'}{S} = a$; de donde $S' = a\,S$;

tendremos, pues,

$$q_1 = S'.\ v = a\,S\sqrt{2gh}. \qquad (k)$$

La fórmula *(j)* cambia además, por el coeficiente de velocidad; pues tendríamos $\frac{v'}{v} = \varphi$, ó $v' = \varphi v$; luego, si q_2 es el gasto efectivo, será

$$q_2 = Sv' = \varphi S\sqrt{2gh}. \qquad (l)$$

La misma fórmula sufre una modificación por el coeficiente de salida; pues, llamando q_3 el gasto efectivo, será $\frac{q_3}{q} = \eta$, ó

$q_3 = \eta\, q$. Este cambio debe considerarse engendrado por el cambio de los elementos que entran en el gasto teórico; estos son: 1º la sección S que se transforma en S', según hemos visto; por lo cual sale de (a),

$$S' = a\,S \qquad (m)$$

donde α es el coeficiente de contracción; 2º la velocidad v que se altera en v'; pues al pasar las moléculas por S experimentan, por el roce, una pérdida de velocidad, y es

$$v' = \varphi\, v\,; \qquad (n)$$

S cámbiase en S' por la convergencia de los hilos líquidos, que, en el interior del vaso se acercan de todas partes, concurriendo por lo mismo á S. Según esto, se tiene

$$q_3 = S'\, v' = \alpha\, S\, \varphi\, v = (\alpha\, \varphi)\, S\, \sqrt{2\, g\, h}\,; \qquad (o)$$

y como, además, $q_3 = \eta\, q = \eta\, S \sqrt{2\, g\, h}$, sale de ésta y de la anterior $\eta = \alpha\varphi$, y

$$q_3 = (\alpha\varphi)\, S \sqrt{2\, g\, h} = \eta S \sqrt{2\, g\, h}; \qquad (p)$$

es decir: "el coeficiente de eflujo, salida ó gasto es igual al producto de los coeficientes de contracción y velocidad, para el mismo orificio en iguales condiciones."

Por último la fórmula (j) es influida por el coeficiente de rozamiento ó resistencia

$$z = \frac{h - h'}{h'} = \frac{\dfrac{v^2}{2g} - \dfrac{v'^2}{2g}}{\dfrac{v'^2}{2g}} = \frac{v^2 - v'^2}{v'^2} = \left(\frac{v}{v'}\right)^2 - 1 = \left(\frac{\frac{v'}{\varphi}}{v'}\right)^2 - 1$$

$$= \left(\frac{1}{\varphi}\right)^2 - 1, \text{ ó } \varphi = \frac{1}{\sqrt{z + 1}}\,.$$

Llamando, pues q_4 el gasto, será

$$q_4 = zq = zS\sqrt{2gh} \qquad (q)$$

Las ecuaciones (k), (l), $(o$ ó $p)$ y (q) se pueden representar por la (j) multiplicando ésta por la indeterminada ω. De tal suerte, que el gasto efectivo en su expresión más general, será

$$q'_1 = \omega S \sqrt{2gh},$$

en la que ω representa al coeficiente de contracción, ó de velocidad, ó de gasto, ó de resistencia; "lo cual debe tenerse en cuenta, porque cada coeficiente significa cosa distinta."

Valiéndonos de las fórmulas que expresan los diferentes coeficientes, sácase el valor de cada uno de éstos en función de uno ó más de los mismos. Aquí los ponemos:

$$\varphi=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)^{2}}}, \qquad \alpha=\frac{1}{1+\sqrt{\left(\frac{1}{\varphi}\right)^{2}-1}},$$

$$\varepsilon=\left(\frac{1}{\varphi}\right)^{2}-1, \quad \varphi=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon+1}}, \quad \eta=\alpha.\varphi, \quad \alpha=\frac{\eta}{\varphi}, \quad \varphi=\frac{\eta}{\alpha}.$$

Para secciones circulares es α=0·64. Asi que, la fórmula (i) se reduce á

$$v_1=\sqrt{2gh}\,\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{1}{0{\cdot}64}-1\right)^{2}}}$$

$$=\frac{16}{\sqrt{16^2+9^2}}\sqrt{2gh},=\frac{16}{18{\cdot}35}\sqrt{2gh}=0{\cdot}87\sqrt{2gh};$$

fórmula que expresa la velocidad del agua por un orificio circular con tubo adicional cilíndrico. Por tanto, el gasto mismo, será

$$q=Sv_1=0{\cdot}85S\sqrt{2gh}, \text{ ó } q=0{\cdot}87S\sqrt{2gh}.$$

O según la notación establecida al principio, la fórmula (1) transformaráse en

$$G=SV_1=0{,}87S\sqrt{2gh},$$

que es la que deseábamos obtener.

Hagamos ahora una ligera consideración respeto de los tubos cónico-convergentes; los divergentes, por su ninguna importancia práctica, no estudiaremos.

Las líneas de puntos BF, $B'F'$ (fig. 14) manifiestan un tubo cónico-convergente. En esta clase de tubos hay dos contracciones (*): la una interna, que acabamos de ver en los tubos adicionales cilíndricos; la otra exterior, ó sea la de fuera de la acción de descarga, que hace adquirir al agua una velocidad considerable.

El coeficiente de gasto en estos tubos se ha encontrado que varía entre 0·829 y 0·950, conforme que el ángulo de convergencia varíe entre 0° y $48^{\circ}50'$. Además la experiencia confirma que dicho coficiente no se altera con el cambio de altura de presión; pues mientras que llega el ángulo á 13°, el coeficiente aumenta; pero pasado ese límite, disminuye.

"El coeficiente de contracción externa, que es igual á la unidad para una convergencia de 6°, próximamente, después decrece grado por grado, creciendo el ángulo de convergencia, y de allí el crecimiento de la velocidad, la que alcanza su valor máximo, igual al que produciría la altura de presión h, para α (ángulo de convergencia)$=50^{\circ}$ aproximadamente; y por esto, con tales tubos se obtendría, si se usa agujeros horizontales, saltos de agua tanto más elevados, cuanto mayor sea el ángulo de convergencia, pero dentro de los límites indicados."

El gasto, pues, es inversamente proporcional á la contracción, en estos tubos.

En la quinta parte, que viene á ser el complemento de esta tercera, veremos cuánto se refiere á los tubos largos. Pasemos á otro punto.

IV

DEL ANALISIS Y PURIFICACION DE LAS AGUAS

De nada serviría en una ciudad un caudal de aguas, si éstas no fuesen de buena calidad, potables, esto es, á propósito, adecuadas para la bebida de personas y animales.

En la naturaleza no se encuentran aguas químicamente puras; es necesario que contengan, como en todas sucede, más ó

(*) De paso diremos, de un modo general, que, "si la posición del orificio es intermedia á las paredes (delgadas) del depósito, distando por lo menos una y media veces ó dos veces su diámetro, la contracción se dice completa; y parcial ó incompleta, cuando uno de los lados del orificio es prolongación del correspondiente del depósito, en cuyo caso la contracción disminuye, aumentando el gasto; éste será tanto mayor, cuanto más sean los lados en que la contracción se suprima. Si tal aconteciera en los cuatro costados, el gasto sería el mismo que si se hubiera adaptado al orificio un tubo prismático."

menos principios extraños á su composición, "obedeciendo así á una ley providencial," si hemos de decir con Monlau Se ha encontrado que el agua químicamente pura es perjudicial á la bebida.

Por manera que, "la potabilidad del agua ó sea su pureza higiénica no está en razón de su pureza química."

Entre las sustancias que el agua puede tener en disolución, únas son provechosas, y nocivas ótras para la salud; á las primeras pertenecen: el aire atmosférico, el ácido carbónico, el cloruro de calcio y el carbonato de cal; y corresponden á las segundas: las demás sales calizas, algunos óxidos y los despojos orgánicos.

La atmósfera,—de la que dice el P. Cappa, "que es viva imágen de la Providencia, que por do quier se halla prodigando al hombre inmensos raudales de gracias y beneficios"—,contiene en su seno el aire, que, al decir de Solanilla, "es la lengua de la naturaleza, sin la cual ésta permanecería eternamente silenciosa," tan esencial así á la respiración, que es signo cierto de la vida material, como al agua que nos sirve de alimento; pues, para considerarla ésta como potable, debe también tener aire, toda vez que los ensayos químicos así lo prueban, y más que todo la experiencia en cada organismo, que es el mejor criterio para juzgar de la bondad de una agua, conforme demostró el Señor Bouchardat en las discusiones de la Academia de Medicina de París, en 1862. Así que, el agua para la bebida debe ser lo más expuesta al aire.

El ácido carbónico, el cloruro y el carbonato de cal, pero este último en cortas proporciones, contribuyen á saturar los ácidos del estómago; y la presencia del primero, especialmente, se reconoce por cierto sabor picante que comunica á las aguas.

Cuando surgen éstas de la tierra con un exceso de carbonato de cal, ó de otras sales en disolución, pronto abandonan una parte de dichas sales; entonces se dicen *incrustantes*, porque cubren de una cierta capa los objetos que en ellas se sumergen por cierto tiempo. Este fenómeno se explica así:

Las calizas son arrastradas por las aguas, porque los agentes atmosféricos corroen á aquéllas en virtud del ácido carbónico que éstos tienen; pues el carbonato de cal, cuando lleva exceso de ácido, pasa á bicarbonato soluble. El ácido carbónico llevado por las aguas pluviales, satura dichas rocas y determina una erosión, representada por surcos más ó menos pronunciados; pero los materiales conducidas por ellos llegan á un punto donde el ácido carbónico excedente se desprende, y allí la caliza, insoluble de nuevo, se deposita al rededor de los cuerpos que encuentra, formándose de esta suerte la sedimentación química cada vez que se restablece el equilibrio.

Entre las materias que hacen impotable al agua, la más perniciosa es el sulfato de cal; en cuyo caso se dice selinitosa al agua que le contiene, porque antiguamente llamábase selenita á dicho sulfato. También es selenitosa, por extensión, el agua que contiene hidroclorato y nitrato de cal. Esta clase de aguas descomponen el jabón, formando grumos de jabón calizo insoluble; precipitan con abundancia al tratarlas con alguna sal barítica insoluble; y no sirven para lavar la ropa ni cocer las legumbres.

Varios medios hay para saber si una agua es potable y conocer qué clase de sales contiene.

El principal es el sabor. Cuando no tiene sapidez, en general es de buena condición; mas no pasa lo mismo con el color: que no siempre toda agua cristalina es pura; puede ser agua mineral, en cuyo caso hay temor de que sea venenosa.

Si impresiona al olfato, desecharemos para el uso, porque de seguro es también agua mineral ó está iniciada de despojos orgánicos, que la desoxigenan y al fin la vuelven pútrida, á causa de su descomposición, favorecida por el contacto del aire y por el calor.

Pero, para asegurarse de la existencia de sales calcáreas en el agua, hay que acudir al procedimiento hidrotimétrico. Este se funda: 1º en la facilidad con que la más pequeña cantidad de jabón vuelve al agua espumosa, cuando ésta no contiene sales capaces de descomponerlo; 2º en la propiedad que tienen el anhidrido carbónico, las sales de cal y las de magnesia, de impedir que el agua forme espuma por la solución alcohólica de jabón, mientras que no estén saturadas con este reactivo; 3º en que una molécula de sal y otra de magnesia exigen cada una dos de jabón para precipitarse en su totalidad, en tanto que una molécula de jabón se transforma enteramente, por otra de anihidrido carbónico, en jabón ácido que no forma espuma sino por agitación con el agua, y en bicarbonato alcalino. Este método para conocer la bondad de una agua, se debe á M Klark, quien lo inventó en 1854, y á los señores Boutron y Boudet, que lo peafeccionaron.

El aparato mismo, llamado hidrotímetro, y que sirve para determinar con bastante aproximación y rapidez el análisis de una agua potable, consiste en un frasco *F* dividido de 10 en 10 centímetros cúbicos, desde ó hasta 40, y en una bureta ó hidrómetro *H*, (fig. 15), que contiene una escala dividida en centímetros cúbicos por el un lado y la escala hidrotimétrica por el otro. Cada ensayo exige cuarenta gramos de agua, que se mide en el frasco *F*. La división entre *o* y *a* del hidrómetro *F*, representa la proporción de líquido necesario para producir espuma con el agua pura destilada. Los grados, á partir de *o*, son los grados hidrotimétricos.

Para ensayar, se prepara antes la solución alcohólica de jabón, según la fórmula siguiente:

Jabón blanco de Marcella	100	Gramos
Alcohol á 90°	1600	
(cuya mezcla se disuelve en caliente, añadiéndole después de filtrada:		
Agua destilada	1000	
Total	1700 grs.	

El líquido de prueba que resulta «contiene, para cada grado hidrotimétrico, 0·1 de gramo de jabón neutralizado por cada litro de agua sometida al experimento; y corresponde á la vez á 0·0114 gramos de cloruro de calcio, ó á 0·01 de carbonato de cal para la misma cantidad de agua.»

Ahora bien: para proceder al ensayo, se mide en el frrsco *F* cuarenta gramos del agua que se quiere experimentar, y se añade de poco á poco el licor de prueba, del que precisamente se habrá llenado la bureta, viendo de vez en cuando si se produce, por agitación, una espuma ligera y persistente. Esta espuma formará en la superficie del agua del frasco una capa regular de medio centímetro de espesor, y permanecerá lo menos diez minutos sin desbaratarse. El grado en que queda el líquido en la bureta, cuando se obtiene la espuma en el frasco, representa el grado hidrotimétrico del agua ensayada; de modo que, si por ejemplo, el aparato señala 20, indica qne un litro del agua examinada contiene 0·20 gramos de sales térreas, toda vez que cada grado hidrotimétrico representa, próximamente, 1 centigramo de sales térreas contenidas en un litro de agua.

El Señor Secligmann clasifica las aguas del modo que sigue:

1ª clase.—Cuando no pasan de 30°; excelentes para la bebida, lavado de ropa y cuecen bien las legumbres. Son ligeras para el estómago.

2ª " —De 30—60, sin ser por esto insalubres, son menos favorables á la salud que las anteriores y no gozan de las otras propiedades de éstas,

3ª " —De 60—150 ó más, no sirven para la economía doméstica ni para la industria.

Naturalmente, si las aguas son tan variadas, es porque al pasar por los diferentes terrenos, se apoderan de ciertas sustancias que ellos contienen. Esto sabíase desde muy antiguo; pues ya Plinio el naturalista, en el siglo primero de nuestra era, dijo: las aguas son tales, cual es el terreno por donde pasan.

Como consecuencia de esto, sucede que las aguas destinadas á la bebida, al correr por terrenos vegetales, se enturbian y no se prestan para usarlas. A fin, pues, de ponerlas en buenas condiciones, se les hace pasar á travez de filtros, ó lo que es lo que es lo mismo, se las filtra.

La filtración es una operación por la cual se desembarazan las aguas de las materias sólidas que tienen en suspensión. Los filtros mismos son cuerpos porosos que por sus canales finos dan paso únicamente á la materia líquida, en tanto que las partículas sólidas quedan en la superficie.

Darcy, valiéndose de una columna hueca de fundición, de alguna altura, y haciendo variar las cargas de agua y las alturas de las capas de arena, después de muchos ensayos, pudo concluír que *el gasto crece proporcionalmente á la carga y en sentido inverso de la altura de la arena, con tal que ésta conserve una naturaleza constante.*

Por razones de laconismo, pues que está saliendo muy extenso nuestro trabajo, no nos detenemos á considerar la acción de las materias en suspensión y en disolución en el agua, sobre los filtros. Basta decir un poco del uso de ellos.

Cuando los cantidades de agua son pequeñas, se deja pasar ésta á travez de un cuerpo poroso, como por ejemplo la piedra pomez, al que se ha dado la forma de una vasija para que pueda recibir el líquido; entonces las partículas toscas detiénense en la superficie, y las más diminutas, de las sólidas, penetran algo en las canales reducidísimas, y el líquido sale más ó menos transparente según sea la clase de filtro que se haya empleado. Se renovará éste cada cierto tiempo.

Hay un procedimiento muy sencillo y fácil para purificar un agua turbia, dado que el reposo, por un tiempo no muy largo, sea insuficiente. En una disolución de cloruro férrico, de 43/00, y 57/00 de agua se sumerge una hoja de papel de filtrar, y cuando está bien impregnado se lo deja secar. Así mismo, en otra solución de 43/00 de bicarbonato de sosa y 57/00 de agua, se hace lo mismo con otra hoja. La primera se coloca en el agua turbia, que después de algunos minutos adquiere un color amarillo por la presencia de la sal de hierro. Tan luego como toma dicho color, y sin sacar la primera hoja, introdúcese la segunda, que da al agua un color oscuro por la formación de carbonato férrico, cuya sustancia absorve por completo las impurezas del agua, por fangosa que esté, quedando cristalina y potable. Este sistema tiene el inconveniente de no ser económico.

Si las cantidades de agua que desea purificarse, es en grande, se hace uso entonces de filtros para este objeto. No reproducimos sino uno de los muchos que M. A. Debauve trae en su "Manuel de l'Ingénieur," fascicule 16; se lo encuentra en la página 85. Es un filtro á capas verticales de arena. Llega el agua por el conducto *a* [fig. 16], llena el primer depósito A, pasa el interior B, atravesando un filtro vertical C, se dirige á un segundo filtro vertical E para volverse á un segundo depósito interior, de donde la extrae la bomba g.

Las capas filtrantes son construidas como las palizadas, el macizo interior comprende un núcleo central de arena fina mantenido sobre los dos lados por arena gruesa; la arena fina no puede ser puesta en contacto con las paredes, porque no se escurriría por los intersticios.

Para tratar la quinta parte, diré sólo algo del carbón, tan recomendado como descolorante y desinfectante. Los Señores Gaultier de Claubry, H. Royer—Collard y Donné han estudiado este punto y deducen que, "admitiendo por límité extremo que un kilogramo de carbón pueda purificar completamente 10 hectólitros de agua apenas fétida, se concederá una parte muy grande á está acción," y que "la proporción de carbón empleado no tiene ninguna relación con la masa de agua que se quiere purificar, y que, si este cuerpo ejerce en los primeros instantes una acción desinfectante, no actúa bien pronto sino como materia filtrante."

V

DE LA DISTRIBUCION PROPIAMENTE DICHA

Al llegar á esta parte, conviene primeramente que comencemos por la manera de determinar la presión de un conducto en un punto cualquiera de aquél. Esto se consigue por medio del piezómetro, que no es otra cosa que un tubo flexible de plomo que se adapta por su extremidad inferior al punto del conducto cuya presión se trata de determinar. La extremidad superior remata en un tubo de vidrio que permite ver la altura á que el agua se eleva en el aparato; dicha altura representa el exceso de la presión del agua en el conducto sobre la presión atmosférica. En efecto, en estado de equilibrio estático ó dinámico, sábese de la Hidrostática que, si P es la presión en el conducto, P_1 la atmosférica, h la altura del agua en el tubo y p el peso del agua por métro cúbico; entre estas cantidades existe la relación

$$P = P_1 + p\,h \qquad (5)$$

Ahora bien, vengamos á considerar un conducto inclinado, cilíndrico, en cuyo interior corra agua; y sean AB y CD dos secciones cualesquiera. Además, S la sección trasversal del conducto,

L la longitud del mismo,

p el peso del metro cúbico del líquido,

P la presión media por metro en AB,

P' id. id. id. id. en CD,

V la velocidad media que será igual en cada sección, puesto que el volumen líquido que se escapa en la unidad de tiempo es el mismo para cada una de ellas,

t un tiempo muy pequeño, durante el cual el fluído haya sido desplazado de una pequeña cantidad, esto es, que las moléculas que estaban en AB vengan á $A'B'$, y las CD á $C'D'$,

$gk=z$ y $g'k'=z'$; también d el diámetro del conducto.

Si se considera que el incremento total del movimiento para la masa líquida es el mismo, no obstante que la velocidad cambia en los diferentes hilos, en los que, para cada uno, sí es nulo dicho incremento; conforme á un teorema de las cantidades de movimiento, la suma algébrica de las proyecciones, sobre la dirección del eje del conducto, de todas las fuerzas aplicadas al cuerpo líquido $ABCD$, (fig. 17.) debe ser cero. Dichas fuerzas son: la presión actuada en CD, el peso del fluído, las reacciones normales de las paredes contra el líquido, y por último, el roce de éste sobre aquéllas.

Según esto, como la presión media en AB es P, la total será $P.S$; la en CD, es $P'S$, aunque en sentido opuesto á $P.S$; luego el peso del prisma líquido será $p.S.L$: su proyección sobre el eje del conducto es

$$p \cdot S \cdot L \cdot \frac{z-z'}{L} = p \cdot S\,(z-z');$$

las presiones normales sobre las paredes, se destruyen; y en cuanto á la resistencia longitudinal, la experiencia confirma que aquélla es proporcional al área de la pared mojada, esto es, á $\psi.\ L$, y á una función de la velocidad.

De tal modo, que tendremos

$$P \cdot S - P'.S + p.S\,(z-z') - \psi.\,L\,f(V) = 0;$$

pero $$\frac{S}{\psi} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2} = \frac{2r}{4} = \frac{d}{4};$$

luego $$\frac{P}{p} \cdot \frac{1}{4} d - \frac{P'}{p} \cdot \frac{1}{4} d + \frac{1}{4} d\,(z-z') - \frac{L}{p} f\,(V) = 0;$$

de donde $$\frac{1}{4} d \left(\frac{P}{p} - \frac{P'}{p} + z - z' \right) = \frac{L}{p} f\,(V) \qquad (6)$$

ecuación general, que sirve también cuando el conducto es curvilíneo, puesto que éste podría dividirse en partes suficientemente pequeñas para que se consideren como rectas, para cada una de las cuales se aplicaría la fórmula general, y después se sumarían las ecuaciones que resultasen. Obtendríamos así la misma ecuación general.

El paréntesis del primer miembro expresa la diferencia de los niveles en los piezómetros N y N'; esto es, la diferencia de las presiones en AB y CD. En efecto:

Según la fórmula del piezómetro, y por la notación arriba establecida, tenemos

$$\frac{P}{p}=\frac{P_0}{p}+h\,, \qquad \frac{P'}{p}=\frac{P_0}{p}+h'\,;$$

y restando de estas dos ecuaciones resulta

$$\frac{P}{p}-\frac{P'}{p}=h-h'\,.$$

Pero $h-h'+z-z'=(h+z)-(h'+z')=(Ng+gK)-(N'g'+g'K)$

$$=NK-N'K'\,,$$

es la diferencia indicada; luego si ésta se expresa por I, sale

$$\tfrac{1}{4}\,d\cdot I=\frac{L}{p}\,f(V)\,, \quad \text{ó} \quad \tfrac{1}{4}\,d\cdot\frac{I}{L}=\frac{1}{p}\,f(V)\,.$$

La cantidad I llámase *pérdida de carga*, la cual no es otra cosa que la disminución de la altura piezométrica, que ya vimos, y que mide la presión en un conducto de agua; pues áun cuando ésta, en estado de equilibrio hidrostático, debiera elevarse hasta el nivel del agua en el estanque superior, resulta que en verdad se eleva á una altura mucho menor, á consecuencia del movimiento del líquido y del roce contra las paredes del conducto. Esta diferencia, pues, es la pérdida de carga; y el cociente $\frac{I}{L}$ es la pérdida de carga por metro de longitud, y se la designa con la letra J; por lo que la ecuación anterior se escribe

$$\tfrac{1}{4}\,D.\,J=\frac{1}{p}\cdot f(V)\,, \quad \text{ó} \quad \tfrac{1}{4}\,D\cdot J=0{,}001\,f(V)\,,$$

para el agua.

M. de Prony en 1875 dió á la función $0{\cdot}001\,f(V)$ la forma

$$0{\cdot}001\,f(V)=a\,V+b\,V^2\,,$$

donde $a = 0{\cdot}0000173$ y $b = 0{\cdot}000348$ son dos coeficientes determinados por este sabio, á quien la ciencia de las aguas debe excelentes investigaciones. Dubuat, Couplet y Bossut habían hecho muchas experiencias, y de 51 de éstas se valió de Prony para el cálculo de los indicados coeficientes.

Más tarde, Eytelwein, entre ótros, fijando su atención en la pérdida de carga, que los demás observadores habían despreciado, halló, para a y b los valores respectivos: 0,0000222 y 0·000280; valores de los coeficientes que deben preferirse en los cálculos.

Darcy dió á los coeficientes la forma

$$a = 0{\cdot}000032 + \frac{0{\cdot}00000000376}{R^2}, \qquad b = 0{\cdot}000443 + \frac{0{\cdot}0000062}{R};$$

y en caso de que pudiera ser despreciable a, por ser la velocidad media muy grande, este hidrómetra insigne toma para b el valor

$$b_1 = 0{\cdot}000507 + \frac{0{\cdot}00000647}{R}.$$

Ahora bien, llamemos H á la altura del nivel en el depósito sobre el centro de la sección AB. Como la entrada del agua en el conducto produce otra pérdida de carga, la cual no debe descuidarse al empalmar las diferentes piezas de aquél, tendremos

$$V = 0{\cdot}82\sqrt{H + \frac{P_0}{p} - \frac{P}{p}};$$

luego

$$\frac{P}{p} = \frac{P_0}{p} + H = 1{\cdot}49\,\frac{V^2}{2g}.$$

Reemplacemos este valor en la ecuación (6), y será

$$\tfrac{1}{4}d\left[\frac{P_0}{p} - \frac{P'}{p} + H + z - z' - 1{\cdot}49\frac{V^2}{2g}\right] = \frac{L}{p}\,f(V). \qquad (9)$$

Aquí tenemos otra vez que los primeros 5 términos del paréntesis son la diferencia de altura entre el nivel del depósito y aquél del piezómetro en CD; volvamos á llamar I esta diferencia, y resulta

$$\tfrac{1}{4}d\left(I-1'49\frac{V^2}{2g}\right)=\frac{L}{p}f(V) \qquad (10)$$

Si comparamos esta fórmula con la obtenida antes, (7), se deducirá que, para que las dos fuesen iguales, sería menester poner en aquélla,

$$J=\frac{I-1'49\dfrac{V^2}{2g}}{L}.$$

El término $-1'49\frac{V^2}{2g}$ es el que, los demás observadores anteriores á Eytelwein, despreciaron en los cálculos; más éste sí lo tuvo encuenta para determinar los coeficientes a y b, según dijimos arriba.

En la ecuación (9), la cantidad $H+z-z'$ es la distancia vertical entre el nivel del estanque y el centro de la sección CD; llamándola A, dicha ecuación se transforma en

$$\tfrac{1}{6}d.\left[\frac{P_0}{p}-\frac{P'}{p}-A-1'49\frac{V^2}{2g}\right]=\frac{L}{p}f(V); \qquad (11)$$

ecuación que, cuando se conocen la altura A, el gasto y el diámetro, sirve para el cálculo de P'; más, alguna vez pudiera encontrarse un valor, para P', negativo ó muy inferior a P_0; entonces no sería aplicable la fórmula al caso que se presentara.

El gasto para tubos se obtiene directamente, como va á continuación:

$$Q=SV=\pi r^2\,V=\pi.\left(\frac{d}{2}\right)^2V=\pi\frac{d^2}{4}V=\frac{1}{4}\pi d^2\,V. \qquad (12)$$

Con esta ecuación, pues, y la (7), determínanse d, J, Q y V, cuando son dadas las otras cantidades. Gran parte de las cuestiones que ocurren en la distribución de aguas se resuelven mediante estas fórmulas y con el auxilio de la siguiente tabla de Darcy:

D	$\frac{J}{Q^2}$	D	$\frac{J}{Q^2}$	D	$\frac{J}{Q^2}$	D	$\frac{J}{Q^2}$
0·^{m}027	444920	0·^{m}081	1237·2	0·^{m}216	7·80	0·^{m}500	0·11034
0·040	52500	0·100	411·8	0·250	3·70	0·600	0·04398
0·050	15858	0·108	276·04	0·300	1·465	0·700	0·02022
0·054	10524	0·135	86·98	0·325	0·976	0·800	0·01034
0·060	6008	0·150	50·54	0·350	0·670	0·900	0·005716
0·080	1320·6	0·162	34·02	0·400	0·3408	1·000	0·003364
		0·200	11·56	0·450	0·1876		

M. Dupuit, viendo que el término, de la ecuación (8), afectado de la primera potencia es despreciable comparativamente con el que tiene la segunda potencia de la velocidad, redujo la función de ésta á

$$f(V)=0.0003855\ V^2\,;$$

de modo que es

$$\frac{1}{4}d.J=b_1\ V^2\,.$$

Despejando J, resulta

$$J=\frac{4b_1\cdot V^2}{d}\,;$$

pero de (12) sale

$$V^2=\frac{16\cdot Q^2}{\pi^2\ d^4}\,;$$

luego

$$J=\frac{64\ b_1}{\pi^2}\cdot\frac{Q^2}{d^5}\,,$$

y por tanto

$$I=\frac{64 b_1}{\pi^2}\cdot\frac{Q^2\ L}{d^5}$$

Según las investigaciones de Darcy, el coeficiente b_1 cambia con el diámetro, siempre que éste no exceda de $0^{\cdot m}06$, lo que no todas las veces sucede en la práctica. Así es que las mutaciones de b_1 son poco importantes; razón por la que Darcy trasformó la ecuación anterior en esta otra, sencillísima:

$$I=\frac{Q^2\ L}{(3\ d)^5} \qquad (13)$$

Con estas fórmulas, que son las del movimiento permanente del agua en los conductos, y las obtenidas en la III parte, hay casi todo lo necesario para los cálculos de una distribución de aguas.

Por distribución de aguas, pues, se entiende "un sistema de conductos que reciben el agua de uno ó varios depósitos ó estanques para conducirla, sea á otros depósitos, sea á puntos de vertedero determinados, alimentando en su trayecto, y en puntos dados de éste, otras salidas también determinadas."

Según Sonnet, (obra citada, letra correspondiente), el problema más sencillo que se ofrece en la práctica es el siguiente:

Un conducto de diámetro constante toma el agua en un punto A_0, (fig. 18), de un depósito cuyo nivel es conocido y también constante, y suministra en los puntos A_1, A_2, A_3, ..., A_n de su trayecto volúmenes de agua dados. Se trata de determinar el diámetro del conducto, de manera que la carga cerca del último orificio sea suficiente para suministrar el gasto deseado.

Para resolver este problema, establezcamos la siguiente notación:

$A_0\ A_1 = l_1$, $A_1\ A_2 = l_2$, $A_2\ A_3 = l_3$, $A_3\ A_4 = l_4$, ..., $A_{n-1}\ A_n = l_n$; y_1, y_2, y_3, ..., y_n las distancias (verticales) de los niveles piezométricos á los puntos A_1, A_2, A_3, . ., A_n; los gastos en cada uno de estos puntos sean, respectivamente, Q_1, Q_2, Q_3, ..., Q_n.

Valiéndonos de la fórmula general (13), se tendrá:

$$y_1 = \frac{Q_1^2\, l_1}{(3\, d)^5}, \quad y_2 - y_1 = \frac{Q_2^2\, l_2}{(3\, d)^5}, \quad y_3 - y_2 = \frac{Q_3^2\, l_3}{(3\, d)^5}, \ldots.,$$

$$y_n - y_{n-1} = \frac{Q_n^2 . l_n}{(3\, d)^5}.$$

Sumando ordenadamente, resulta

$$y_n = \frac{\Sigma Q^2\, l}{(3 d)^5},$$

si se llama á la suma de todos los términos, desde $Q_1^2\, l_1$ hasta $Q_n^2\, l_n$, $\Sigma Q^2\, l$.

Ahora bien, como entre la variedad de causas que modifican el movimiento del líquido en las cañerías, se encuentran: la pérdida de carga producida por el roce entre las paredes y el líquido; las efectuadas por los cambios bruscos de sección, por los grifos intercalados, &.ª; veamos siquiera ligeramente las diferentes pérdidas de carga, ya que no es posible reunir todas éstas en una sola fórmula.

Se comprende que en el movimiento del agua se producen muchas resistencias: únas son interiores y exteriores ótras, que unidas, forman la resistencia total. Entre las primeras se cuentan: la cohesión y el roce interno de las moléculas; y entre las segundas, la adhesión, la resistencia del aire y el frotamiento contra las paredes del conducto. De las internas prescindiremos, en la hipótesis del paralelismo de los hilos fluídos y la igual velocidad de los mismos; no quedan más que las externas.

Pérdida de carga causada por el roce contra las paredes.—Este roce es proporcional, según la experiencia, al cuadrado de la velocidad sobre las paredes. De tal suerte que, conforme á la notación hasta aquí establecida, será, si R es el radio del tubo, $V^2 = \eta\, R\, I$, en la cual es forzoso, para que se pueda aplicar, que $\frac{V^2}{I}$ sea constante; al contrario η es variable.

Ya conocemos, por lo demás, que de Prony llegó á la ecuación (8), que es la que sirve para calcular esta pérdida de carga.

Pérdida causada por un tubo adicional ú orificio en pared delgada.—Calcúlase representando "el trabajo perdido por la fuerza motriz que es igual á la mitad de la fuerza viva producida por el choque." Así es que, si β es un coeficiente de velocidad, se obtiene

$$v = \beta\sqrt{2gh}, \text{ ó } h = \frac{v^2}{\beta^2\, 2g};$$

más, $\frac{v^2}{2g}$ es la altura útil de presión; luego la pérdida de carga será,

$$\varepsilon = \frac{v^2}{\beta^2\, 2g} - \frac{v^2}{2g} = \left(\frac{1}{\beta^2} - 1\right)\frac{v^2}{2g} = K\frac{v^2}{2g},$$

poniendo

$$K = \left(\frac{1}{\beta^2} - 1\right);$$

este es el coeficiente de resistencia.

Pérdida por un ensanchamiento brusco.—Por la figura adjunta (19) que nos representa el agua pasando de A á B, se ve que, siendo la sección y la velocidad dos factores de los que depende el gasto, la velocidad que es mayor en A, será menor en B; y lo contrario sucede en cuanto á las secciones. Aplicando, pues, el teorema de las cantidades de movimiento, sale

$$Sv = S'v'\,; \quad \text{luego} \quad v = \frac{S'}{S}v'\,;$$

por tanto

$$\xi_2 = \left(\frac{S'}{S} - 1\right)^2 \frac{v'^2}{2g} = K\,\frac{v'^2}{2g} \qquad (r)$$

Esta pérdida de carga es, pues, proporcional á la altura debida á la velocidad que adquiere el agua después del cambio de sección

Pérdida por cambio de dirección.— Al pasar el agua de la una rama á la otra (fig. 20) se establece al principio una contracción y después vuelve á llenarse el resto del tubo B. Sea a el coeficiente de contracción; conforme á la ecuación (r) tendremos

$$\xi_3 = K\frac{v^2}{2g}\,;$$

luego

$$K = \left(\frac{1}{a} - 1\right)^2 = \left(\frac{S'}{S} - 1\right)^2,$$

que debe determinarse por la experiencia, por ser difícil obtener a.

Por último, en cuanto á

La pérdida por derivación, con un ligero razonamiento se llega á la fórmula

$$h_1 = h - \frac{v^2}{2g} + \frac{(v\cos a)^2}{2g} = h - \mathrm{sen}^2\ a\,\frac{v^2}{2g}\quad .$$

Estas fórmulas era menester recordarlas, por la importancia que tienen en los problemas de distribución de aguas.

Ahora volvamos á lo anterior.

Sucede que, conforme van separándose del estanque los conductos, van disminuyendo los caudales de agua que encierran, porque van dejando en su marcha parte de lo que llevan. Por consiguiente, tratándose de economizar, suélese ir disminuyendo el radio en proporción á la disminución del caudal. Si, pues los puntos $A_1, A_2, \ldots$ (fig 18) están bastante retirados unos de otros para poder despreciar las pérdidas de carga por ensanchamiento brusco, en comparación con las producidas por el fortamiento contra las paredes, tendremos, si $d_1, d_2, d_3, \ldots$ son los diámetros sucesivos de cada una de las partes,

$$y_1 = \frac{Q_1^2 l_1}{(3d_1)^5}, \qquad y_2 - y_1 = \frac{Q_2^2 l_2}{(3d_2)^5}, \ldots;$$

ó

$$y_n = \Sigma \frac{Q_2 l}{(3d)^5}.$$

Para que esta fórmula se aplique, necesario es que la diferencia entre H é y_n sea por lo menos igual á la carga h, á fin de que el agua salga por el último orificio.

No resta sinó determinar el espesor que debe darse á las paredes de los tubos. Dichas fórmulas son las siguientes:

$$e = \frac{rp}{2T}, \qquad e' = \frac{rp}{T};$$

en las que e y e' designan los espesores respectivos de las paredes, r el radio interior del tubo, p la presión hidrostática por unidad de superficie del conducto y T la tenacidad del material; la primera fórmula considera la resistencia trasversal, y la segunda la longitudinal. Hállanse demostradas en la obra ya citada del Señor Alejandrino Velasco, bajo el Nº 123.

Con esto tenemos todo lo relativo á la teoría de la distribución de aguas; siéndonos forzoso, por razones de laconismo, poner ya fin á nuestro trabajo.

Señores Profesores: no sé si he conseguido lo que dije al principio: esto es, explanar del mejor modo posible el tema que he elegido. Vuestro fallo lo dirá.

Quito, Junio 15 *de* 1897

JULIO C. GARCIA

La disertación que antecede se publica oficialmente en virtud de la aprobación del siguiente informe:

"En diez de Julio de 1897, reunido el Tribunal examinador compuesto de los Señores Ingenieros J. Gualberto Pérez, Presidente, J. Alejandrino Velasco, Antonio Sánchez, Eudoro Anda y C. Arturo Martínez, para fallar sobre la TESIS del Señor J. C. García que trata de optar al grado de Ingeniero, aprobó el siguiente informe:

"SEÑOR PRESIDENTE DEL JURADO EXAMINADOR

Hemos estudiado la tesis sobre "Abastecimiento de aguas," compuesta por el Sr. D. Julio C. García, para optar al grado de Ingeniero civil. Trata de la importancia de las aguas, de los medios de obtenerlas, de la cantidad necesaria para el abasto público y aforo consiguiente, del análisis y purificación de las mismas, y, finalmente, de la distribución de ellas.

No hay duda que el trabajo es importante, por serlo, y mucho, las partes sobre que discute.

A nuestro juicio, en la tesis hay que considerar, la exactitud científica; la exposición de ciertas cuestiones prácticas de mayor ó menor utilidad; y, en fin, las opiniones especiales del autor.

Respecto de lo primero, los puntos están bastante bien dilucidados, en lo que se refiere á la parte matemática. Con relación á lo segundo, como por ejemplo, los medios de obtener las aguas, influencia de los varios coeficientes en los cursos por orificios ó tubos, etc.; el autor se ha tomado demasiado trabajo, que no era, tal vez, de mucha importancia en una tesis; y, respecto de lo tercero, son discutibles algunas de esas opiniones; si bien es cierto que se notan diferencias aún en los autores que tratan de un modo especial la materia.

En todo caso, la extensión dada á la tesis, demuestra la buena voluntad y un cierto entusiasmo del autor por las ciencias matemático-prácticas, que merecen la consideración del tribunal, y que éste dé su aprobación á la tesis presentada.

Tal es nuestro parecer, salvo el más acertado juicio de los miembros que componen la Junta examinadora.

Quito, Julio 10 *de* 1897

J. G. Pérez

J. Alejandrino Velasco."

Recogida la votación, resultó aprobada con cinco primeras.

Quito, Abril 7 *de* 1898.

El Secretario de la Universidad Central,

Daniel Burbano de Lara."