

ESTUDIO ACERCA DE LAS AGUAS.

POR

J. ALEJANDRINO VELASCO,

INGENIERO CIVIL Y PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD DE QUITO.

LIBRO III.

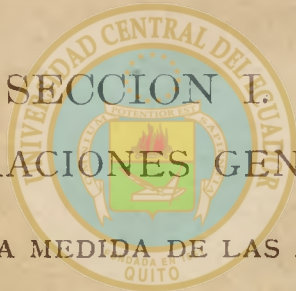
PRÁCTICA DEL AFORO,

CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LAS AGUAS. (I)



ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

(1) **Obras que pueden consultarse.**—Ariño: *Mecánica Racional.*—Armengaud Ainé: *Traité Des Moteurs Hydrauliques.*—Beudant: *Traité De Physique.*—Benoit: *Guide Du Meunier.*—Bours: *Cours De Mécanique.*—Calvo: *De Las Aguas.*—Cámara: *Agrimensura Legal.*—Collignon: *Cours De Mécanique Appliquée Aux Constructions.*—Daguin: *Traité Élémentaire De Physique.*—Delaunay: *Tratado Elemental De Mecánica Teórica Y Aplicada.*—Debaube: *Distributions D' Eau.*—Doui-liot: *Cours Élémentaire Théorie Et Pratique De Construction.*—Dulos: *Cours De Mécanique.*—Dumas: *La Science Des Fontaines.*—Ganot: *Tratado Elemental De Física.*—Galván: *Ordenanzas De Tierras Y Aguas.*—Gironi: *Manual del Molinero.*—Graëff: *Traité D' Hydraulique.*—Hidalgo Tablada: *Manual De Riegos.*—Laguna: *Manual De Aguas Y Riegos.*—Llauradó: *Tratado De Aguas Y Riegos.*—Morin: *Mecánica Industrial.*—Poncelet: *Mecánica Industrial.*—Poncelet: *Mécanique Appliquée Aux Machines.*—Prony: *Recueil De Cinq Tables.*—Rankine: *Civil Engineering.*—Resal: *Traité De Mécanique Générale.*—Silliman: *Principles Of Physics.*—Sonnet: *Dictionaire Des Mathématiques Appliquées.*—Vallejo: *Tratado Sobre El Movimiento Y Aplicaciones De Las Aguas.*—Vicuña: *Agricultura Moderna.*—Vigreux: *Théorie Et Pratique De L'Art De L'Ingenieur.*—Violle: *Cours De Physique.*—Weisbach: *Lehrbuch Der Theoretischen Mechanick.*



SECCION I
CONSIDERACIONES GENERALES

SOBRE LA MEDIDA DE LAS AGUAS.

ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

I

CURSOS DE AGUA

155. **Diferentes clases de cursos.**—Si se prescinde de los grandes depósitos conocidos con el nombre genérico de *aguas estancadas* (Libro I, Seccⁿ I, n^o 43), las aguas se encuentran circulando por la tierra, subterránea ó superficialmente (Libro I, id. n^o 45 y 46); estas corrientes obedecen á la ley de la gravedad, y forman las que se denominan *cursos de aguas corrientes*. Estudiando ahora los superficiales, como los demás inmediata aplicación á la industria, pues los subterráneos deben ser, por lo regular, transformados en superficiales, decimos, que aquéllos se encuentran de dos maneras: 1^a corriendo por *cauces naturales*, como ríos, arroyos, cañadas, &.; ó *artificiales*, y éstos son ó á *cielo descubierto*, como las acequias, canales, &. ó *subterráneos*, como las cañerías; 2^a, pasando por aberturas ú orificios practicados en paredes más ó menos gruesas: de aquí el estudio de las consideraciones analíticas que se originan de la salida de los líquidos por orificios *en pared delgada* ó *en paredes de espesor más ó menos considerable*, y que determinan los tubos *cortos y largos*: son un caso especial de éstos, los tubos de conducción para cañerías y otros usos.

En la aplicación de las aguas á la industria, lo primero, por lo regular, es conocer el volumen ó cantidad necesaria para fines especiales, ya sea con el objeto de producir el riego, ya para el consumo y aseo de las poblaciones, el movimiento de máquinas &. Por consiguiente, la medida del volumen ó caudal en los cursos de agua, es una operación primera é indispensable para las ótras que se hacen con dichos fines. Luego, es necesario, ante todo, precisar las reglas científicas que fijan ese caudal para los casos en que se presentan los cursos; y así se debe inquirir: 1^o, la manera de conocer la cantidad de agua que pasa por aberturas ú orificios practicados en paredes ó cuerpos cualesquiera: 2^o el modo como se puede fijar el volumen de las aguas que corren por un cauce cualquiera natural ó artificial. Y como, por lo dicho, de esta medida dependen importantes operaciones industriales, se sigue que ella debe ejecutarse de modo que el resultado obtenido se aproxime lo más que se pueda á la verdad: ¿cómo emprender en una acequia, costosa quizás, para conducir un cierto volumen, si por no conocer el cuanto de éste, no se sabe si llegará al término una cantidad capaz

de satisfacer, en parte siquiera, supuesta la absorción del terreno y la evaporación del agua, las necesidades á que se quiera atender.

156. **Aforo.**—Según lo dicho, en el n^o precedente, es necesario *aforar* el agua. *El aforo es la operación por la cual se determina, aproximadamente, el volumen ó caudal de las aguas que, en la unidad de tiempo, pasan por un orificio ó caño, ó circulan por el cauce de un río, arroyo, canal, acequia, &c.:* tal volumen se llama el *gasto del orificio ó cauce dado*.

De los varios métodos de aforo, ya se trate de orificios, ya de cauces, nos ocuparemos en las dos Secciones siguientes. Ahora decimos, que si llamamos *G* el gasto de un cauce ú orificio, este volumen equivaldrá siempre al de un prisma que tiene por base la sección del orificio ó cauce dado, y por altura la longitud corrida en la unidad de tiempo, que supondremos ser siempre un segundo sexagesimal; si, pues, con *S* y *V* señalamos el área de la sección y la altura ó longitud corrida, la geometría manifiesta que dicho volumen se expresa por

$$G = S \cdot V \quad [191]$$

Y esta ecuación indica la operación que debe hacerse al aforar un curso de aguas: *el gasto es igual al producto de la sección por el espacio que corren las aguas en la unidad de tiempo, ó sea por la velocidad del curso*.

Puede también determinarse el peso *P* del volumen que la fórmula [191] suministra para una sección dada; porque, si llamamos *D* la densidad ó peso específico del líquido considerado, la física enseña que tal peso es (Libro II, Seccⁿ II, n^o 145, ecuaⁿ 184),

$$P = G \cdot D = S \cdot V \cdot D; \quad [192]$$

ó sea *el producto del volumen por la densidad*.

Como respecto del agua el peso específico es

$$D = 1 \text{ Kilogramo}$$

por cada litro ó decímetro cúbico, lo cual supone agua destilada, es decir, en el mayor grado de pureza y á 4^o del termómetro centígrado, parece que en los ríos esta densidad debe ser diferente; pues las aguas en ellos, sobre tener distinta temperatura, son generalmente impuras; sin embargo, en la práctica, para los ríos con aguas transparentes, puede tomarse aquella densidad, por haber una compensación de errores, á saber: 1^o, las aguas de los ríos, como tienen sales y otras sustancias en disolución, pesan por litro, más de un kilogramo, y por esto puede decirse que son *más densas*; 2^o, por ser mayor la temperatura de los ríos, pues la media es ordinariamente de 16^o, en cada litro las aguas están más dilatadas, y por esto son *menos densas*;

ya se ve que las dos circunstancias mencionadas influyen en sentidos contrarios, y, por lo mismo, sensiblemente se compensan; de modo que puede tomarse un kilogramo de peso por cada litro de agua de río. Por tanto, si el resultado que suministra la ecuación [191], se expresa en decímetros cúbicos, el mismo será litros; y así,

$$P = S. V \text{ kilogramos}$$

es el peso del agua que, en la unidad de tiempo, pasa por la sección S dada.

157. **Velocidad media.**—La velocidad V, factor en la ecuación [191], no es la de cada uno de los hilos líquidos que pasan por la sección que se considera, sino la que tendría la masa á fin de que, en la unidad de tiempo, discurra por dicha sección, el mismo volumen que producen las diferentes velocidades con que corren las moléculas de los hilos mencionados. Esa velocidad se llama *velocidad media*; de modo que este nombre, en hidráulica, se aplica á aquella con la cual, el volumen que discurriera por una sección dada, en la unidad de tiempo, sería igual al que realmente discurre. Es objeto de la ciencia descubrir la manera de encontrar esa velocidad media; pues ella, y no otra, es la que se introduce en los cálculos; y así, el factor V contenido en [191], es dicha velocidad media.

Sólo en cada uno de los hilos líquidos, cuya sección es infinitamente pequeña, la velocidad queda constante al pasar por la sección indicada; por tanto, si llamamos $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots$ el volumen de cada hilo, el total de las aguas, para la sección S, será la suma de los volúmenes de aquéllos; es decir,

$$G = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \dots \quad [193]$$

y resulta, pues, que el volumen producido con la velocidad media, es la suma de los volúmenes elementales correspondientes á los hilos líquidos que pasan por la sección considerada, con sus velocidades reales.

Si se expresan también, respectivamente, por v_1, v_2, v_3, \dots ; s_1, s_2, s_3, \dots las velocidades y secciones de los hilos líquidos á que se refiere la ecuación anterior, tendremos

$$G = S. V = v_1 s_1 + v_2 s_2 + v_3 s_3 + \dots = \Sigma [vs],$$

ó

$$V = \frac{G}{S} = \frac{v_1 s_1 + v_2 s_2 + v_3 s_3 + \dots}{s_1 + s_2 + s_3 + \dots} = \frac{\Sigma [vs]}{\Sigma [s]}; \quad [194]$$

por lo cual, la ecuación [191] se escribirá también,

$$G = S. V = [s_1 + s_2 + s_3 + \dots] V = \Sigma [s.] \frac{\Sigma [s.v]}{\Sigma [s]} = \Sigma [s.v];$$

y si

$$s.v = \gamma$$



es el volumen de un hilo cualquiera, será así mismo

$$G = \Sigma [\gamma].$$

De otro modo: si por $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots$, cantidades muy pequeñas, se expresan las diferencias entre la velocidad media de la masa total y las velocidades verdaderas de un número n muy grande de porciones ó hilos muy delgados, en que se considere dividida la masa indicada, tendremos, para la sección S ,

$$v_1 = V + \mu_1$$

$$v_2 = V + \mu_2$$

$$v_3 = V + \mu_3$$

.....

$$\text{ó } v_1 + v_2 + v_3 + \dots = nV + [\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots],$$

$$\text{ó } V = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots}{n} - \frac{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots}{n};$$

y como

$$\frac{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots}{n} = 0$$

para n más y más grande, resulta

$$V = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots}{n}, \quad [195]$$

nueva forma de la velocidad media contenida en [191]; y ésta puede escribirse también

$$G = S \cdot \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots}{n}. \quad [196]$$

158. **Observación.**—Discutir la ecuación [191] y encontrar todas las transformaciones que se originan de la consideración de pasar el agua por orificios ó cauces cualesquiera; y determinar, al mismo tiempo, los valores de V que correspondan á las suposiciones particulares hechas respecto de S , son las grandes cuestiones que nos proponemos estudiar en las Secciones siguientes de este Libro. Por ahora nos basta insistir en esto, á saber: que dicha fórmula es la expresión más general que puede ofrecerse en el asunto de que tratamos al presente; las ótras son casos especiales de ella.

II

UNIDADES EN LAS MEDIDAS DE AGUA.

159. **Casos que pueden ocurrir.**—En la medida de las aguas pueden presentarse dos cuestiones muy diferentes, y que es necesario considerar atentamente para no incurrir en inexactitudes al fijar la unidad. Tales son: 1.^a, determinar el volumen que pasa por una sección dada, en condiciones particulares, é independientes de todo acto voluntario 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, &^a, &^a. El Sr. Galvan [1] llama con mucha propiedad, *medidas de reconocimiento* las que se hacen en este caso; y entre ellas enumera, expresamente, *las medidas que se practican en un río, canal &^a, con el objeto de conocer la cantidad de agua que llevan estos acueductos.* 2.^a *Fijar las condiciones particulares de un orificio ó sección para que dé paso á un volumen de agua determinando de antemano; y viceversa: dada una sección arbitraria, determinar el volumen que por ella pasa.* Tal operación se ejecuta, generalmente, en el caso de venta, arrendamiento, distribución, &^a de las aguas; y el autor citado emplea los términos muy propios, de *medidas de distribución*, para designar las que entonces se hacen. Es evidente que en estas medidas interviene, de todo en todo con antelación, el acto humano, ya sea que se consideren las condiciones particulares de la *sección para que produzca el volumen conocido, ya se tenga en cuenta este mismo volumen.*

Es manifiesta la diferencia que existe entre las dos clases de medidas que deben hacerse, según sea la cuestión que se trate de resolver: en las *medidas de reconocimiento*, que llamaremos también *medidas de aforo*, nadie para mientes en las condiciones particulares del curso; porque éstas, por lo regular, dependen de las causas naturales que intervienen en cada corriente; y basta que el perito hidrómetra ejecute con precisión la medida del área ó perfil trasversal del curso, y de su velocidad, con lo que se obtiene un resultado muy aproximado á la verdad, que es lo necesario; y debe observarse que, en esta operación, el resultado final es el *conocimiento del volumen*, aunque *sección, veloci-*

[1] Obra citada, pág. 280 y siguientes.

dad, y volumen sean cantidades incógnitas al principio. Mas, en las *medidas de distribución*, como lo hemos dicho, sucede lo contrario: ó conocido el volumen, se trata de hallar las condiciones particulares que debe tener un orificio ó sección para que en cierto tiempo que generalmente es un segundo, pase el volumen determinado; ó conocido el orificio se trata de hallar el volumen. De esta manera, siendo diferentes las cuestiones, han de ser diferentes los procedimientos de medida; y, por ende, ha de haber cierta diferencia entre las unidades con que se hacen las medidas.

Presentar, con la claridad posible, las unidades de medida que se deben de adoptar, según el caso que haya de resolverse, es lo que nos proponemos en los n^{os} siguientes.

160. Unidad en las medidas de aforo ó reconocimiento.—El objeto principal en esta clase de medidas es, según lo expuesto, *calcular el volumen que pasa por una sección determinable*. Se deduce, por tanto, que lo esencial es observar las reglas que enseñan á conocer las áreas de los orificios ó perfiles, según sus formas, y determinar con precisión las velocidades que corresponden á los cursos que por ellos pasan: tales reglas se expondrán en las siguientes Secciones de este Libro, al tratar de la *salida por orificios* y de las *corrientes por cauces cualesquiera*. Con esa práctica, el volumen ó gasto será la expresión volumétrica de la unidad lineal, que sirvió para medir las dimensiones del área ó perfil y la magnitud de la velocidad, al multiplicar las tres dimensiones. No hace al caso que el valor cuantitativo de estas dimensiones sea dado en varas, metros, &^a: el producto de los tres factores dará varas cúbicas, metros cúbicos, &^a, números que, respecto de una misma cantidad determinable, tienen, á lo más, diferencia en la forma, mas no en el fondo; porque ellos significarían, siempre, el mismo valor cuantitativo de una magnitud determinable, con expresiones diferentes, como lo son, por ejemplo, los miembros de la ecuación

$$[12]_{10} = [10]_{12},$$

que expresa la reunión de doce unidades en el sistema cuya base es 10, y en el que tiene por base el número doce.

Decir que se fije, por ley, el metro cúbico y sus submúltiplos, por segundo, para la medida de aguas, es decir algo que no tiene sentido, en países como la República del Ecuador, donde, legalmente, es de observancia obligatoria el sistema métrico. En efecto, para nuestra República es obligatorio el sistema indicado, desde el año 1856; pues, en la ley de 5 de diciembre del mismo año, se dispone:

“Art. 1^o— En toda la República habrá un solo sistema monetario, y de pesas y medidas.

“Art. 2^o— Este sistema será el decimal francés: la uni-

dad fundamental para la moneda es el franco, igual en ley á 0. 900 (novecientas milésimas); la unidad fundamental para las pesas y medidas, *es el metro*, igual en longitud á la diez millonésima parte del arco del meridiano que viene del polo Norte al Ecuador." &^a.

Luego ya están fijados como unidades de medida para cualesquiera extensiones y, por ende, para las aguas corrientes, el metro cúbico y sus submúltiplos, por un segundo; porque, desde el momento que se trata de medir un volumen, como es la extensión del cuerpo agua, hay que emplear la unidad adecuada al caso, que es el metro cúbico; y, conocido el número expresión de esta medida, por un tiempo dado, se puede conocer, mediante una simple división, el que corresponde á 1 segundo, si éste no fué aquel tiempo: el resultado será metros cúbicos por 1^s, número que puede también ser expresado en submúltiplos de metro cúbico, si se le multiplica por 1000 para litros ó decímetros cúbicos, por 1 000 000 para *militros* ó centímetros cúbicos, &^a. Así, no es necesario que, en la República del Ecuador, una nueva ley fije como *unidad de medida, para las aguas corrientes, el metro cúbico y sus submúltiplos, por un segundo*: ya lo están.

De lo expuesto se deduce, que en *las medidas de aforo*, puede ser unidad el pie cúbico, la vara cúbica, el metro cúbico, &^a; es decir, *cualquiera unidad volumétrica*; mas, los países que han admitido legalmente el sistema métrico, el cual ha de ser, por lo mismo, obligatoriamente observado, *deben de usar, ipso jure, como unidad de aforo, el metro cúbico ó sus submúltiplos, por un segundo ú otro espacio de tiempo.*

161. **Unidad en las medidas de distribución.**—

Con los términos *medidas de distribución*, felizmente empleados, á nuestro juicio, por el Sr. Mariano Galván en la obra citada, designaremos la operación que tiene por objeto *determinar, para un volumen de agua mayor ó menor, á voluntad, según las unidades de aforo contenidas en él, la sección que le corresponde, al correr en la unidad de tiempo*; é, inversamente: *si la sección se fija á voluntad, encontrar el volumen, expresado en unidades de aforo, que pasa por ella durante el mismo tiempo.* De esta manera, el volumen que corresponde á la sección arbitraria, con una velocidad determinada, puede ser *una nueva unidad* que sirve para medir distributivamente otros volúmenes en condiciones análogas; por tanto, si en la distribución, los volúmenes están en una razón dada, y se dispone de modo que las velocidades sean iguales, *aquéllos serán como las secciones por las cuales pasan*: en este caso, la medida de los volúmenes se efectúa considerando la relación entre las indicadas secciones; mas, si en el mismo supuesto, se hacen éstas iguales, las medidas distributivas darán, para los volúmenes, números que estén entre sí como las velo-

ciudades; y, por la determinación de éstas, puede conocerse el valor de aquéllos.

Es evidente, por lo expuesto, que la unidad en las *medidas de distribución*, se emplea principalmente cuando se trata de distribuir un volumen dado de aguas entre varios partícipes, ó de fijar los elementos que corresponden á una cantidad concedida por venta, arrendamiento &^a; y, como son estos los ordinarios de la vida social, de aquí la importancia que tienen *las medidas de distribución*; y lo segura y cierta que ha de ser la unidad correspondiente, de cuyos elementos se tratará en el número 163. Sin embargo, como esta unidad ha de contener partes ó unidades de las de aforo, se puede también expresar el volumen determinado en las *medidas de aforo*, por unidades de las *medidas de distribución*, como se expresan, por ejemplo, las diferentes unidades del 2^o, 3^o, &^a órdenes del *sistema de numeración*, por las unidades simples, decenas, &^a, diciendo, verbigracia, *una centena, ó diez decenas, ó cien unidades*.

Y no se diga, empero, que no son necesarias las *medidas de distribución*, y, por ende, su unidad, porque bastan las de simple aforo, ó son iguales á ésta: la Economía Política enseña que, si bien la unidad es, matemáticamente, tan arbitraria como se quiera, civilmente esta arbitrariedad tiene cierta limitación considerado el objeto, la sencillez de la expresión ó el número que resulta, y la frecuencia de la demanda; deben, pues, ser unidades, en cada clase de medidas, aquellas cantidades que más á menudo se presenten en las transacciones, que sean las mejores y más generalmente conocidas y de fácil comprobación, al menos de una manera suficiente para el uso. Esto supuesto, un metro cúbico de agua, por un segundo, ó sea el volumen de 86 400 metros cúbicos en un día de 24 horas, no podría ser unidad en las medidas de distribución, para la generalidad de las provincias de la República, por lo costoso que es obtener ese caudal en un segundo: si dicho volumen fuera unidad en el caso que estudiamos, como su consecución no está al alcance del mayor número de los que demandan aguas, las cantidades adquiridas por éstos serían fraccionos más ó menos pequeñas de aquel volumen, y por lo mismo, expresiones poco sencillas en la vida práctica; sin embargo, un metro cúbico ó un múltiplo de éste puede pasar por un cauce dado, de modo que en las *medidas de aforo* no hay inconveniente al tomar un *metro cúbico* como unidad. Si el mismo metro cúbico fuera unidad en las *medidas de distribución por 24 horas*, los volúmenes ordinarios en las transacciones ó las unidades corrientes, serían también de expresión molesta en la vida civil, por los grandes múltiplos que se emplearían; y, sin embargo, hay muchos cauces por los que corren, en 24 horas, uno ó pocos metros cúbicos, de modo que para el caso de aforo, un metro cúbico puede ser unidad muy adecuada.

(Continuará)