

Sin este método de los Sres. Boutron y Boudet, no nos hubiera sido posible emprender en tan corto tiempo el análisis comparativo de las aguas, desde las de lluvia y los deshielos del Popocatepetl, que son las más ligeras, hasta las más calcáreas del Peñon de los Baños, que tiene 98° hidrotimétricos; no habríamos podido decir con la seguridad que hoy lo afirmamos, que el agua delgada que surte á la capital, reconocida como la mejor, es la más insalubre. Por fortuna la ciudad de México dispone de preciosos recursos, ignorados hasta hoy, en las magníficas aguas que puede hacer venir fácilmente de los manantiales abundantísimos de las orillas del lago de Xochimilco y que puede aumentarse el caudal de las de Chapultepec, ampliándolas por medio de convenientes excavaciones.

Pocos países tienen la fortuna de disponer de tan ricos y providenciales elementos de vida; los ríos que dan las aguas potables de Europa y de las más populosas ciudades de América, arrastran en su curso materiales calcáreos, orgánicos y también organizados, tan peligrosos para la propagación de las epidemias y que perjudican por sus elementos fermentescibles, á un gran número de aplicaciones domésticas de las aguas potables.

---

## FÓRMULAS PRÁCTICAS DE LA HIDRÁULICA

PARA DETERMINAR

El volúmen de agua que lleva una corriente y cuyo conocimiento es indispensable á un geólogo.

---

*Apuntes formados por el Ingeniero D. Miguel Iglesias.*

De muchas maneras puede presentárenos el agua en su movimientos de descenso, dando ocasion á variados estudios y combinaciones; pero no siendo el objeto de estos apuntes tratar esta cuestion bajo las diferentes fases que pueda tener, y sí sólo recordar las principales fórmulas de la Hidromensura para calcular el gasto ó volúmen de un curso de agua, en las circunstancias más generales que pueden presentarse á un geólogo, nos limitaremos á considerar los casos del derrame del agua de un manantial ó depósito; de un canal más ó ménos grande de seccion y pendiente uniformes; de un arroyo ó riachuelo de seccion irregular; y de un río cuyo régimen pueda considerarse constante. Los demas casos especiales que pueden interesar al ingeniero, al mecánico ó al agricultor, se hallan desarrollados y pueden estudiarse con minuciosidad en los diferentes tratados de Hidráulica, permitiéndonos citar aquí el excelente resumen de las fórmulas de la Hidromensura que acaba de publicar el Ingeniero M. Fernández Leal, y que se ha adoptado como texto en la Escuela Especial de Ingenieros de esta capital.

## PRIMER CASO.

Las aguas de un manantial ó depósito tienen generalmente salida por orificios pequeños ó grandes, según es su cantidad. Para calcular el volumen de aquellas se determinarán con precisión los dos principales elementos que entran en las fórmulas correspondientes, y son: la superficie de salida ó sección del orificio, y la velocidad media que llevan las moléculas líquidas en el momento de su escape.

Para conocer la primera bastará medir sus dimensiones, y calcularla por los procedimientos geométricos. Para determinar la segunda nos serviremos de la fórmula llamada de Torricelli, por haber sido éste su autor, basada en el teorema siguiente: la velocidad de las moléculas de un líquido al salir por una abertura hecha en pared delgada es igual á la que tiene un cuerpo grave cayendo libremente de una altura contada desde el nivel superior del líquido al centro de la abertura.

Llamando  $v$  la velocidad teórica por segundo del agua en su salida,  $h$  la altura del nivel del líquido sobre el centro del orificio, ó sea la carga ó peso del agua, y  $g$  el valor de la gravedad, ó sea la velocidad que todo cuerpo grave adquiere al fin del primer segundo de su caída, cuyo valor es constante para cada localidad, siendo para México de  $9^m7816$ , tendremos la siguiente fórmula:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{19^m56 \times h}$$

Conocidos los dos elementos mencionados, el volumen ó gasto será el producto de la sección de la abertura por la velocidad media del agua en su salida. De manera que llamando  $Q$  el gasto y  $S$  la sección del orificio, la fórmula será

$$Q = S \sqrt{2gh}$$

Pero por las experiencias ejecutadas con prolijidad y cuidado, se ha visto que el gasto teórico difiere, siendo mayor, del gasto real ó práctico, en virtud de la contracción que la vena líquida sufre en su rozamiento contra las paredes ó lados del orificio, y

hay necesidad por este motivo de multiplicar aquella expresión por un coeficiente práctico, variable según las circunstancias de cada caso, y dependientes, ya de la forma del orificio, ya de su distancia al nivel del líquido, ó ya, en fin, del espesor de las paredes que forman la sección de salida.

En los tratados de Hidráulica se dan los coeficientes para cada caso particular: aquí sólo diremos que en general este coeficiente varía, en el caso que consideramos, entre los límites de 0.60 á 0.65, siendo tanto mayor cuanto más disminuye la altura del orificio respecto de su base. Hay, pues, aumento de gasto con orificios prolongados en su anchura, y de poca altura respectivamente.

*Ejemplo.* ¿Cuál será el gasto efectivo de agua de un depósito que se derrama por un orificio de  $0^m10$  de altura y  $0^m15$  de ancho, siendo de  $1^m80$  la carga sobre el centro del orificio?

$$Q = 0.61 \times 0^m10 \times 0^m15 \sqrt{19^m56 \times 1^m80} = 0^m054$$

ó sean 54 litros por segundo de tiempo.

## SEGUNDO CASO.

En un canal regular de pendiente uniforme, es fácil determinar la cantidad de agua que pasa en un tiempo señalado, multiplicando la sección transversal del agua del canal por su velocidad media.

Llamando  $Q$  el volumen que pasa en un segundo,  $S$  la superficie de la sección transversal, y  $v$  la velocidad media, la expresión del gasto será:

$$Q = S v$$

de la cual obtendremos el dato que se desconozca, suponiendo conocidos los otros dos.

Mas debemos advertir aquí que la velocidad media no es igual ni á la velocidad del agua superficial, ni á la velocidad en el fondo, y ni siquiera á la que podría medirse junto á las paredes que

límitan el canal, en las que se producen resistencias en las moléculas líquidas en su choque contra aquellas, que tienden naturalmente á disminuir esa velocidad.

La relacion entre estas velocidades está expresada en la siguiente fórmula:

$$w = 2v - u$$

en la cual representa  $w$  la velocidad en el fondo;  $v$ , la velocidad média, y  $u$  la superficial; y si sólo se conoce la superficial, se puede hacer uso de la fórmula de Mr. Prony, deducida de los experimentos de Mr. Dubuat, que es:

$$v = u \frac{u + 2.372}{u + 3.153}$$

En la práctica para velocidades en la superficie comprendidas entre 0<sup>m</sup>20 y 1<sup>m</sup>50 por segundo, se toma sin error sensible

$$v = 0.8u \quad \text{y} \quad u = 1.25v.$$

Para obtener la velocidad superficial del agua se arrojan al centro de la corriente discos de madera de 30 ó 35 milímetros de diámetro, y de 5 á 10 de espesor, y se observa repetidas veces con un reloj de segundos el tiempo en que es recorrida por el flotador una distancia que se mide y señala de 30, 40 ó más metros en los que el canal esté regularizado; dividiendo un dato por el otro, se deducirá la velocidad por segundo.

La madera que se emplea es la del encino, ú otra cuya densidad se acerque lo más posible á la del agua, para suponer sustituida una masa por otra en condiciones semejantes. Tambien debe cuidarse que el viento no altere ó modifique la marcha del flotador, ya contrariándola, ó ya favoreciéndola, en cuyos casos la velocidad que indique no será la del agua, y esto sucede frecuentemente cuando el disco ó flotador sobresale mucho del nivel del líquido de la corriente.

Conocidos estos elementos, puede ya calcularse el gasto del canal por la fórmula mencionada ántes.

Ejemplo. En un curso de agua se ha medido por repetidas

experiencias una velocidad superficial de 2<sup>m</sup> por segundo: ¿cuál es la velocidad média de esta corriente?

$$v = 2^m \frac{2 + 2.372}{2 + 3.153} = 1^m696 \text{ por segundo.}$$

Existe otra fórmula debida á Mr. Prony, en la cual entran todos los elementos del problema, y en la que puede determinarse el dato que se desconozca, teniendo conocidos los demas. Es la siguiente:

$$v = 56.86 \sqrt{\frac{S}{P} \times \frac{D}{L}} - 0.072$$

en la que  $v$  es la velocidad média,  $S$  la superficie ó seccion transversal del agua,  $P$  el perímetro mojado del perfil,  $D$  el descenso del canal en la longitud  $L$  que se considera. Los números son coeficientes prácticos.

*Ejemplo.* ¿Cuál será el gasto de agua de un canal de seccion rectangular y uniforme que tiene un ancho de 3<sup>m</sup>50, y una profundidad de 1<sup>m</sup>20 con 0<sup>m</sup>08 de pendiente en 140 metros de longitud?

La seccion transversal será  $S = 3^m50 \times 1^m20 = 4.20$  metros cuadrados.

El perímetro mojado  $P = 3^m50 + 1^m20 \times 2 = 5^m90$ .

Con estos datos resulta la velocidad média de  $v = 1^m065$  por segundo.

El gasto de agua del canal será entónces de  $4^m^220 \times 1^m065 = 4^m^3473$  ó sean 4473 litros por segundo.

#### TERCER CASO.

Para avaluar aproximadamente la cantidad de agua que lleva un arroyo ó riachuelo de seccion irregular, se procederá de la misma manera, es decir, se determinarán en su parte más regularizada dos, tres ó más secciones transversales, y el promedio de ellas se multiplicará por la velocidad média obtenida, como ya hemos indicado. La exactitud del resultado dependerá de la que

se haya tenido al procurarse los datos del problema; mas si se desean resultados más seguros, es mejor proceder de la manera siguiente:

Fórmese con tablas de madera un dique trasversal á la corriente sobre el que pueda derramarse el agua: en su anchura, y ocupando próximamente una tercera parte, hágase un corte rectangular de nivel más bajo para que dé paso libre á toda la corriente. Establecido así este vertedor ó derramadero, se deja pasar algun tiempo para que se regularice el gasto del agua, y tome un régimen constante. Mídase con exactitud el ancho del vertedor y el grueso de la lámina de agua que se derrama. Con estos datos las fórmulas que debemos aplicar son las siguientes:

$$v = \sqrt{2gh} \text{ y } Q = mth \times v$$

en las cuales  $v$  es la velocidad média,  $g$  la gravedad cuyo valor hemos dicho ser en México de  $9^m7816$ ,  $h$  la altura de la caída que es aquí el espesor de la lámina ó capa de agua que se derrama sobre el vertedor,  $l$  el ancho del mismo, y  $m$  un coeficiente práctico, que en este caso oscila entre los límites de 0.40 á 0.44, segun es la relacion de la base del vertedor á la anchura del canal, siendo el primero cuando es una cuarta parte, y el último cuando son iguales y el agua pasa libremente por todo el ancho del dique sin estrechar la corriente.

Se debe advertir aquí que como la superficie del líquido al derramarse sobre el vertedor forma una curva desde algunos decímetros ántes de su caída, debe cuidarse de medir el espesor de la capa de agua desde el nivel superior del depósito ántes de llegar al vertedor, y no sobre este mismo, en el que la lámina del agua ya es menor. En el caso de que esto no sea fácil, puede medirse sobre el mismo umbral del vertedor y aumentarle una cuarta parte, pero siempre deberá preferirse determinar ese dato con la mayor exactitud.

*Ejemplo.* En un arroyo cuyo ancho es próximamente de  $3^m$  se ha establecido un dique de paredes delgadas, en el cual la sección de derrame es de  $0^m95$  de ancho, y la capa de agua que

pasa sobre él tiene un espesor de  $0^m21$ ; ¿cuál es el volúmen ó gasto de agua de este arroyo?

$$v = \sqrt{19^m56 \times 0^m21} = 2^m027 \text{ por segundo.}$$

$$Q = 0.40 \times 0^m95 \times 0^m21 \times 2^m027 = 0^m162.$$

es decir, 162 litros por cada segundo de tiempo.

Si en lugar de establecer en el arroyo un dique con el derramadero en la parte superior, se estableciese en su medio ó parte baja una abertura de salida del agua, como una compuerta, las fórmulas variarían en algunos de sus elementos en virtud de la contracción de la vena líquida que se efectuaría sobre uno, dos, tres ó los cuatro lados de la figura de la compuerta, segun la posición de ésta en el dique mencionado. En las aberturas grandes el coeficiente práctico varía entre 0.62 y 0.69, siendo el primero cuando el rozamiento de la vena de agua tiene lugar sobre los cuatro lados, y el último cuando sólo es sobre un lado.

*Ejemplo.* ¿Cuál será el gasto práctico en un segundo de tiempo, de una compuerta situada en la parte média de un dique, y á mayor altura del fondo cuyo claro es de  $0^m80$  de largo y de  $0^m25$  de alto, con una carga de agua de  $2^m50$ ?

$$Q = 0.62 \times 0^m80 \times 0^m25 \sqrt{19^m56 \times 2^m50} = 0^m867$$

es decir, 867 litros por segundo.

Si la compuerta estuviere colocada en el fondo ó parte baja del dique, la contracción de la vena líquida será sólo sobre tres lados, en cuyo caso el coeficiente práctico que debe introducirse en el cálculo es de 0.64.

#### CUARTO CASO.

Quando los cursos de agua cuyo gasto se trate de evaluar sean de mayor importancia, como los rios, el procedimiento viene á ser el mismo, únicamente que es preciso entónces determinar con la mayor exactitud los elementos del problema para que los resultados merezcan confianza.

Escójase para ello la parte del rio más regular en la que el

agua tenga sensiblemente una velocidad uniforme, y en donde las secciones trasversales no sean demasiado desiguales. En ese tramo se tienden normalmente á la corriente, y á poca mayor altura del nivel del agua, dos ó tres hilos ó cuerdas en los que se señalen los metros ó fracciones de metro que se quieran considerar, segun lo más ó ménos prolijo que se quiera hacer el cálculo. En cada uno de estos puntos se medirá la profundidad del agua del rio con una regla graduada, de un tamaño conveniente, que se colocará en posición vertical. Así se obtendrán las ordenadas de una curva que será el fondo del rio, y cuyas abscisas serán las distancias elegidas en las cuerdas, que deberá procurarse sean iguales entre sí para mayor facilidad y exactitud. Con estos elementos, y las velocidades superficiales tomadas ya en el centro de la corriente, ó ya más ó ménos cerca de las orillas del rio, podemos calcular las secciones ó cortes trasversales y el volúmen de las aguas.

Si llamamos  $a, a', a'', a'''$ ..... las abscisas,  $p, p', p'', p'''$ ..... las profundidades y  $v, v', v'', v'''$ ..... las velocidades médias, el gasto ó volúmen total será la suma de los volúmenes parciales de los diversos filetes de agua; entónces

$$Q = apv + a'p'v' + a''p''v'' + \dots + a^n p^n v^n.$$

Para el caso de las abscisas iguales la seccion trasversal se calculará por la fórmula conocida de

$$S = \frac{1}{2} a (p' + p^n) + 2(p'' + p''' + \dots + p^{n-1})$$

la que se multiplicará por la velocidad média deducida de las varias velocidades superficiales que se hayan medido en el centro y lados del rio.

Por último, si las secciones trasversales del rio resultaren muy diferentes entre sí, se tomará un promedio de ellas, el cual se multiplicará por el promedio tambien de las velocidades medias, resultando un gasto que tendrá que ser más ó ménos aproximado, segun que sean más ó ménos exactos los datos obtenidos.

FIN DEL APÉNDICE.

## ÍNDICE.

	PÁGINAS.
PRÓLOGO.....	I á X
INTRODUCCION.....	11—18

### PRIMERA PARTE.

#### Litología.—Nociones de Mineralogía.

Capítulo I.—Generalidades sobre la ciencia.....	19—22
Capítulo II.—Del estado de agregacion. Cuerpos amorfos. Generalidades sobre cristalografía. Primer sistema cristalino. 2º idem. 3º idem. 4º idem. 5º idem. 6º idem. Consideraciones finales sobre cristalografía.....	22—45
Capítulo III.—Textura de los minerales.....	45—47
Capítulo IV.—Dureza de los minerales.....	47—50
Capítulo V.—El lustre y la transparencia.....	50—51
Capítulo VI.—Los colores.....	51—56
Capítulo VII.—Del peso específico.....	56—58
Capítulo VIII.—Doble refraccion, polarizacion, fosforescencia y fluorescencia.....	58—64
Capítulo IX.—Diversas propiedades físicas y caracteres orgánicos.....	64—66
Capítulo X.—Descripcion de los minerales. Seccion I. Descripcion de las especies minerales útiles en la agricultura y necesarias para el conocimiento de las rocas. Seccion II. Descripcion compendiada de algunos minerales industriales.....	66—163
Capítulo XI.—Estudio de las rocas. Generalidades y descripciones. Grupo I. Rocas sedimentarias. Grupo II. Rocas metamórficas. Grupo III. Rocas ígneas.....	163—194
Capítulo XII.—Diferentes disposiciones y estructuras de las rocas. Aplicacion de estas observaciones.....	194—207