

UNIDAD DE MEDIDA DE AGUA EN EL ECUADOR

POR

EL PROFESOR RAFAEL ANDRADE R.

APLICACIONES



En el N° 3° de los "Anales de la Universidad Central", Nueva Serie, muy atinadamente, los señores profesores Dr. Tobar y Borgoño y Dn. Richard Muller, presentaron un proyecto de ley relativamente a aguas en nuestra República, proyecto que sería de desear, el que las autoridades correspondientes tuviesen en cuenta por ser indispensable para la buena administración y justicia en la materia.

Hoy, en breves rasgos, vamos a tratar de algo relativo al mismo asunto en lo que se relaciona con la unidad de medida que debe adoptarse en nuestra Patria; y ante todo, recomendamos a las personas entendidas en esta materia, se dignen tener en cuenta estas pequeñas indicaciones y si es posible, aclarar más el asunto y trabajar en este sentido, a fin de llegar a tener una unidad práctica y cómoda en el Ecuador.

Nos parece que primero debemos hablar de la actual unidad, o sea de la *paja de agua*. Por experiencia se sabe que para el riego de una hectárea de terre-

no se necesitan de tres a cinco pajas, según la naturaleza del suelo y la clase de plantación adoptada.

Ahora, ¿qué es una paja de agua? Sin dar todavía su definición, diremos tan sólo que es una cantidad muy insignificante de agua y que por lo mismo, tomada aisladamente, no ofrece ningún servicio. Añadimos también, que no es una medida decimal, porque partiendo de que se compone de 20.000 litros en 24 horas, deducimos que es el gasto de 231 mililitros por segundo o sea $c^1.231$. Esto en cuanto a una definición.

Si decimos: paja de agua es la décima sexta parte del real de agua o fontanero o el gasto producido por un tubo cilíndrico de dos centímetros de diámetro, con una carga de cuatro centímetros sobre el centro y la longitud del tubo siendo de diez y siete milímetros. ¿Es práctico todo ésto que acabamos de decir? Claro que no.

En la colocación de óvalos, (*) no es posible colocar tubos de diez y siete milímetros de longitud, porque regularmente los óvalos se hacen de piedra o mampostería, a no ser que se haga una pared de hierro para el lado que toca la abertura, y por experiencia, no siempre es posible sujetarse, ni a un diámetro, ni a una carga determinados.

Ya que hemos hablado del riego, ¿por qué no tomamos una unidad, que sea el término medio, capaz de alcanzar para una hectarea de terreno en condiciones ordinarias, y por qué también esta unidad no puede ser el litro por segundo de tiempo? ¿Por qué, además, no tomamos un nombre apropiado? ¿Y qué origen tiene este nombre de *paja*?

La tendencia general en todos los países del Globo, es expresar el gasto de agua en decímetros o pies cúbicos por segundo. ¿No podemos hacer lo mismo, tomando como unidad el litro o decímetro cúbico de agua? Y si a este litro por segundo, queremos darle un nombre,

[*] Esta construcción es muy imperfecta, como tendremos ocasión de demostrarlo en uno de los números siguientes de los "Anales de la Universidad Central". Sería de esperarse el cambio de óvalos por otro sistema más perfecto y científico.

démosle uno apropiado, digno, un nombre de nuestros Libertadores. Sin extendernos más, ¿no podríamos llamar “Bolívar de agua” o simplemente “Bolívar”?

Con estos antecedentes entremos en materia.

Bolívar de agua sería la producción de un litro por segundo de tiempo. La definición no puede ser más sencilla.

Ya con esta unidad práctica de agua, sabemos primero que más o menos alcanza para el riego de una hectarea de terreno y segundo, que es una medida decimal y que, por lo tanto, se facilitan enormemente los cálculos sin enumerar otras ventajas más que pueden presentarse.

Se sabe que el volúmen de agua que pasa por un orificio en un segundo de tiempo se da por la fórmula

$$Q = K S v \quad (1)$$

siendo Q el volumen o gasto,
 S la sección del orificio,
 v la velocidad
 K un coeficiente variable.

Pero la velocidad v del líquido se expresa por

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

siendo h la carga o altura de agua desde el centro del orificio hasta la superficie libre.

g la constante de la gravedad, que en Quito, es igual a 978 centímetros.

Entonces la fórmula [1] se convierte en

$$Q = K S \sqrt{2 g h} \quad (2)$$

Ahora bien, el coeficiente K varía según la longitud del orificio o tubo que se emplee. Se han tomado los coeficientes de la tabla siguiente:

Longitudes respecto del diámetro del orificio	Coefficientes = K
1	0,62
3	0,815
5	0,79
10	0,77
25	0,71
50	0,64
75	0,59
100	0,55

siempre que los tubos u orificios sean rectilíneos y de diámetro constante.

Por medio de ésto, ya no tenemos necesidad de dar al tubo que corresponda a nuestra unidad, dimensiones determinadas: basta saber que produce un litro por segundo y entonces en la fórmula [2] se conoce Q; se dará un valor arbitrario a S y se calculará h.

EJEMPLO: Supongamos que se trate de una compra de diez bolívares de agua, tomándolos de una acequia de un propietario N.

Los diez bolívares producen 10 litros por segundo; por consiguiente en la fórmula [2] tenemos

$$Q = 10^l = 10^{dm^3} = 0,010$$

Ahora, tomamos por ejemplo, 12^{cm} por diámetro del orificio y supongamos que la longitud del tubo o grueso de la pared del óvalo sea de tres veces el diámetro; así tendremos la fórmula

$$Q = 0,815 S \sqrt{2 g h}$$

Sustituyendo valores y despejando h, resulta

$$\begin{aligned} h &= \left(\frac{Q}{0,815 S} \right)^2 \frac{1}{2 g} = \left(\frac{0,010}{0,815 \times \pi r^2} \right)^2 \frac{1}{2 \times 9,78} \\ &= \frac{0,0001}{0,00002539} \times \frac{1}{19,56} = \frac{0,0001}{0,0004966} \\ &= 0^m, 2014 = 20^m, 4 \end{aligned}$$

Si se aumentara un poco el diámetro del orificio, disminuiría la carga; pero siempre el gasto sería el mismo.

VICEVERSA: ¿Cuál es el gasto expresado en bolívares o sea en litros por segundo, de un orificio practicado en pared delgada que tenga 4^{cm} de diámetro con una carga de 6^{cm}?

En pared delgada, tenemos

$$Q = 0,62 S \sqrt{2 g h}$$

$$= 0,62 \times \pi \times 4 \sqrt{2 \times 978 \times 6}$$

siendo la fórmula expresada en centímetros y el orificio circular:

$$Q = 7,7912 \sqrt{11736} = 7,7912 \times 107,3$$

$$= 836 \text{ cm}^3, 095$$

$$= 0 \text{ dm}^3, 836095$$

$$= 0,836095 \text{ litros por segundo}$$

$$= 836 \text{ Milibolívares.}$$

Puede ser que lleguemos a olvidar el término de *paja de agua* y adoptemos, el de tantos litros por segundo, y para tener un nombre, si es que lo deseamos, digamos tantos bolívares de agua; pero para hacer una comparación entre la tal paja y la unidad que ahora presentamos al lector, procedemos de la siguiente manera:

Sin entrar en las dimensiones que se dan a la paja de agua, que no tienen mucha exactitud y valiéndonos solamente de la definición que dice "la producción de 20^{m3} en 24 horas" se deduce que, como hemos dicho por segundo la producción será de 231 mililitros. Ahora bien, nuestra unidad [Bolívar] da un litro por segundo; luego tantas veces como 0,231 esté contenido en un litro, tantas pajas habrá. Por consiguiente

$$1: 0,231 = 1000: 231 = 4,32 \text{ pajas.}$$

Se dice también que el *molino* se compone de 144 pajas ¿pero no podemos asimismo olvidar este múltiplo?

Si tratamos de separarnos de esta antigua unidad ¿por qué no olvidarnos de las 144 pajas?

¿No podemos mejor tomar los múltiplos y submúltiplos del Bolívar, para ser consecuentes con el sistema métrico decimal? ¿De donde nos viene esta palabra molino? Talvez porque esta cantidad de agua es necesaria para batir alguna cosa que lleva este nombre; pero ¿en qué condiciones? No sabemos que el trabajo se expresa en función del peso (litros de agua o kilogramos) y de la altura: de ésto deducimos los Kilográmetros y que en cuanto a la potencia, se suele decir, tantos Kilográmetros por segundo o sean tantos caballos de fuerza?

Casi toda persona cree que al hablar de molino de agua, es lo mismo que la cantidad de este líquido suficiente para batir una fábrica de triturar granos, por ejemplo; pero ¿no es cierto que molino es una palabra sin ciencia?

Por todos estos inconvenientes, establezcamos los múltiplos y submúltiplos del bolívar, parecidos a los múltiplo y submúltiplos del litro.

MÚLTIPLOS

ÁREA HISTÓRICA

SUBMÚLTIPLOS

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Deca bolívar.....	Deci bolívar.....
Hecto ".....	Centi ".....
Kilo ".....	Mili ".....
.....
.....
.....
.....
.....

Así se obtiene una sencillez marcada con este cambio.

Problemas sobre los canales descubiertos.—1º Supongamos que se tiene una hacienda cuya extensión es

de 600 hectáreas y que puede ser regable en toda su superficie, siendo además, el terreno de calidad ordinaria.

Diremos, las 600 hectáreas necesitan más o menos de 600 bolívares y como consideramos que es posible la adquisición del agua, construiremos un canal con las circunstancias que vienen:

Conocemos $Q=600$ litros por segundo $=0^m3, 600$

Que la sección sea $S=1^m2$; y que el perímetro mojado $\theta=2^m$.

En Hidráulica se llama radio hidráulico o medio, a la relación entre la sección del canal y el perímetro mojado; por consiguiente

$$R = \frac{S}{\theta} = \frac{1}{2}$$

Generalmente la pendiente por metro, se denomina por I y se sabe que

$$RI = aU + bU^2 \quad (1)$$

siendo U la velocidad media del agua.

Los valores de a y b , han sido determinadas por Prony y Eytelweing; pero estos autores no tienen en cuenta la naturaleza de las paredes del canal. Nosotros los hemos determinado en nuestro país y para las paredes en tierra ordinaria, que es el carácter más general de nuestros canales, dichos valores son

$$a=0,0000097$$

$$b=0,0001462$$

con los cuales se resuelve la fórmula (1).

Para facilitar los cálculos, damos en seguida una tabla que para los valores de U , de centímetro en centímetro, se encuentran los valores de RI correspondientes y viceversa. (**)

[**] El problema que nos hemos propuesto resolver y los dos que seguirán, así como la fórmula [1], se encuentran en todos los tratados de Hidráulica, estudiados de un modo general. Nosotros no hacemos sino aplicación a ellos, para nuestro caso particular. Además los valores de a y b , lo mismo que la tabla, si son originales nuestros. Nos ha parecido conveniente, de una vez, insertar este trabajo nuestro, al tratar de la unidad de medida de las aguas.

Velocidad media = V	Valores de RI correspondientes a U	U	RI	U	RI	U	RI
0,01	0,0000012	0,46	0,00003540	0,91	0,00012992	1,36	0,00028364
0,02	0,0000024	0,47	0,00003688	0,92	0,00013268	1,37	0,00028772
0,03	0,0000044	0,48	0,00003836	0,93	0,00013548	1,38	0,00029184
0,04	0,0000064	0,49	0,00003988	0,94	0,00013832	1,39	0,00029600
0,05	0,0000084	0,50	0,00004140	0,95	0,00014120	1,40	0,00030016
0,06	0,0000112	0,51	0,00004300	0,96	0,00014408	1,41	0,00030436
0,07	0,0000140	0,52	0,00004460	0,97	0,00014600	1,42	0,00030860
0,08	0,0000172	0,53	0,00004620	0,98	0,00014996	1,43	0,00031282
0,09	0,0000204	0,54	0,00004788	0,99	0,00015292	1,44	0,00031716
0,10	0,0000240	0,55	0,00004956	1,00	0,00015596	1,45	0,00032148
0,11	0,0000284	0,56	0,00005128	1,01	0,00015896	1,46	0,00032584
0,12	0,0000328	0,57	0,00005304	1,02	0,00016204	1,47	0,00033032
0,13	0,0000372	0,58	0,00005480	1,03	0,00016512	1,48	0,00033464
0,14	0,0000424	0,59	0,00005664	1,04	0,00016824	1,49	0,00033908
0,15	0,0000476	0,60	0,00005844	1,05	0,00017144	1,50	0,00034356
0,16	0,0000528	0,61	0,00006032	1,06	0,00017456	1,51	0,00034804
0,17	0,0000588	0,62	0,00006224	1,07	0,00017780	1,52	0,00035256
0,18	0,0000648	0,63	0,00006416	1,08	0,00018104	1,53	0,00035712
0,19	0,0000712	0,64	0,00006612	1,09	0,00018428	1,54	0,00036172
0,20	0,0000780	0,65	0,00006808	1,10	0,00018760	1,55	0,00036632
0,21	0,0000848	0,66	0,00007012	1,11	0,00019092	1,56	0,00037096
0,22	0,0000920	0,67	0,00007212	1,12	0,00019428	1,57	0,00037564
0,23	0,0000996	0,68	0,00007420	1,13	0,00019768	1,58	0,00038036
0,24	0,0001076	0,69	0,00007632	1,14	0,00020108	1,59	0,00038508
0,25	0,0001156	0,70	0,00007844	1,15	0,00020452	1,60	0,00038984
0,26	0,0001240	0,71	0,00008060	1,16	0,00020800	1,61	0,00039464
0,27	0,0001328	0,72	0,00008280	1,17	0,00021152	1,62	0,00039944
0,28	0,0001416	0,73	0,00008500	1,18	0,00021504	1,63	0,00040432
0,29	0,0001512	0,74	0,00008724	1,19	0,00021860	1,64	0,00040920
0,30	0,0001608	0,75	0,00008952	1,20	0,00022220	1,65	0,00041408
0,31	0,0001700	0,76	0,00009184	1,21	0,00022584	1,66	0,00041904
0,32	0,0001808	0,77	0,00009416	1,22	0,00022948	1,67	0,00042396
0,33	0,0001912	0,78	0,00009652	1,23	0,00023316	1,68	0,00042900
0,34	0,0002020	0,79	0,00009892	1,24	0,00023684	1,69	0,00043400
0,35	0,0002132	0,80	0,00010136	1,25	0,00024060	1,70	0,00043908
0,36	0,0002244	0,81	0,00010380	1,26	0,00024436	1,71	0,00044416
0,37	0,0002360	0,82	0,00010628	1,27	0,00024820	1,72	0,00044924
0,38	0,0002480	0,83	0,00010880	1,28	0,00025200	1,73	0,00045440
0,39	0,0002604	0,84	0,00011132	1,29	0,00025584	1,74	0,00045956
0,40	0,0002728	0,85	0,00011388	1,30	0,00025972	1,75	0,00046480
0,41	0,0002856	0,86	0,00011648	1,31	0,00026364	1,76	0,00047000
0,42	0,0002988	0,87	0,00011912	1,32	0,00026760	1,77	0,00047524
0,43	0,0003120	0,88	0,00012176	1,33	0,00027156	1,78	0,00048056
0,44	0,0003256	0,89	0,00012444	1,34	0,00027556	1,79	0,00048584
0,45	0,0003396	0,90	0,00012716	1,35	0,00027960	1,80	0,00049124

Velocidad media \bar{v}	Valores de RI correspondientes a U	U	RI	U	RI	U	RI
1, 81	0,00049656	2,11	0,00067144	2,41	0,00087264	2,71	0,00110016
1, 82	0,00050204	2,12	0,00067772	2,42	0,00087980	2,72	0,00110816
1, 83	0,00050744	2,13	0,00068404	2,43	0,00088700	2,73	0,00111624
1, 84	0,00051288	2,14	0,00069028	2,44	0,00089420	2,74	0,00112432
1, 85	0,00051540	2,15	0,00069676	2,45	0,00090144	2,75	0,00113244
1, 86	0,00052388	2,16	0,00070316	2,46	0,00090872	2,76	0,00114060
1, 87	0,00052948	2,17	0,00070960	2,47	0,00091600	2,77	0,00114880
1, 88	0,00053500	2,18	0,00071604	2,48	0,00092336	2,78	0,00115700
1, 89	0,00054064	2,19	0,00072252	2,49	0,00093072	2,79	0,00116524
1, 90	0,00054628	2,20	0,00072904	2,50	0,00093812	2,80	0,00117352
1, 91	0,00055192	2,21	0,00073556	2,51	0,00094552	2,81	0,00118180
1, 92	0,00055764	2,22	0,00074216	2,52	0,00095296	2,82	0,00119016
1, 93	0,00056336	2,23	0,00074876	2,53	0,00096048	2,83	0,00119852
1, 94	0,00056912	2,24	0,00075540	2,54	0,00096796	2,84	0,00120688
1, 95	0,00057492	2,25	0,00076208	2,55	0,00097152	2,85	0,00121532
1, 96	0,00058076	2,26	0,00076872	2,56	0,00098308	2,86	0,00122376
1, 97	0,00058656	2,27	0,00077548	2,57	0,00098832	2,87	0,00123224
1, 98	0,00059244	2,28	0,00078220	2,58	0,00099832	2,88	0,00124072
1, 99	0,00059836	2,29	0,00078900	2,59	0,00100596	2,89	0,00124928
2, 00	0,00060428	2,30	0,00079580	2,60	0,00101360	2,90	0,00125784
2, 01	0,00061028	2,31	0,00080268	2,61	0,00102136	2,91	0,00126644
2, 02	0,00061620	2,32	0,00080952	2,62	0,00102912	2,92	0,00127504
2, 03	0,00062224	2,33	0,00081640	2,63	0,00103688	2,93	0,00128368
2, 04	0,00062828	2,34	0,00082336	2,64	0,00104472	2,94	0,00129336
2, 05	0,00063436	2,35	0,00083028	2,65	0,00105252	2,95	0,00130108
2, 06	0,00064048	2,36	0,00083728	2,66	0,00106036	2,96	0,00130980
2, 07	0,00064660	2,37	0,00084428	2,67	0,00106828	2,97	0,00131860
2, 08	0,00065280	2,38	0,00085136	2,68	0,00107620	2,98	0,00132740
2, 09	0,00065896	2,39	0,00085840	2,69	0,00108416	2,99	0,00133920
2, 10	0,00066520	2,40	0,00086548	2,70	0,00109212	3,00	0,00134508

Con esta tabla, se puede resolver más fácilmente el problema que nos hemos propuesto.

Como conocemos Q y S, conoceremos

$$U = \frac{Q}{S}$$

puesto que el volumen $Q = S U$

Además conocemos θ , luego conoceremos

$$R = \frac{S}{\theta}$$

En la tabla buscaremos el valor de RI que corresponde a U ; entonces este valor dividido por R , nos dará I o sea la pendiente por metro.

$$\begin{aligned} \text{Así: } Q &= 0,600 \text{ m}^3 \\ S &= 1, \text{ m}^2 \\ \theta &= 2^m \\ R &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

$$\text{Será } U = \frac{Q}{S} = \frac{0,600}{1}$$

En la columna U buscamos 0,6 y en la R I encontramos 0,00005844. Este valor dividido por $R=0,5$ da $I=0,00002972$ por metro.

La pendiente por mil, será de

$$0^m \ 02972$$

Estudiemos ahora otro problema: Supongamos que se conozcan la pendiente de un canal y su sección y tratemos de encontrar el gasto o sea el número de Bolívares.

Como se dan I y S , de S se sacará

$$R = \frac{S}{\theta}$$

Se hará el producto $R I$ y en la tabla se buscará el valor de U correspondiente.

Entonces

$$Q = S \cdot U$$

EJEMPLO.—Sea $S=0,2406 \text{ m}^2$

$$I=0,00009$$

$$\theta=0^m, 97$$

Tendremos:

$$\text{Luego } R = \frac{S}{\theta} = 24,8$$

$$R I = 24,8 \times 0,00009$$

$$= 0,0002232$$

En las tablas da $U=1,205$; puesto que el valor anterior está comprendido entre 1,20 y 1,21

Luego:

$$Q = S U = 0,2406 \times 1,205 = 0,289923$$

$$= 289 \ 923 \text{ Bolívares.}$$

Concluyamos con el último problema: Si se conocen el gasto y la pendiente, determinar la sección del canal; entonces se sabe que se procede por tanteos, siempre que la forma del canal sea dada en cuanto a su sección. Como regularmente, en tierra ordinaria, se acostumbra la sección trapezoidal, se tiene un dato más que facilita la cuestión. Se colocará una línea de agua arbitraria y se calculará el gasto correspondiente a esta sección. Se bajará o subirá esta línea de agua, hasta tener un gasto igual al dado; así se obtendrá definitivamente la ya dicha sección.

Para terminar diremos lo siguiente: hemos presentado este trabajo, tal como lo hemos concebido, sin pretensión alguna, y suplicamos a las personas más versadas en la materia, que él que este insignificante trabajo presenta, lo estudien detenidamente y hagan las observaciones más convenientes, a fin de, si es posible, adoptar en nuestra Patria la unidad que tantas veces se ha repetido. Insistimos en que será muy cómoda, práctica y que por lo mismo, es de esperar que nuestras autoridades la acojan favorablemente.

RAFAEL ANDRADE RODRÍGUEZ,

Profesor de Matemáticas e Hidráulica.