



Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS - UNCa



Revista N° 63

ISSN: 1852 - 7086

Año: 2016

TECNICAS DE MEDICIÓN DE CAUDALES EN CAUCES ABIERTOS

Ing. Agr. Marcelo M. Assan, Cátedra Riego y Drenaje – Dpto. Clima, Suelo y Riego - FCA

Ing. Agr. Stella Maris Gorosito; Cátedra Riego y Drenaje – Dpto. Clima, Suelo y Riego – FCA

Ing. Agr. Pablo Demin. EEA INTA Sumalao, Catamarca.

Eber Delgado. Estudiante Becario. FCA.

Mail de referencia: marceloassan@yahoo.com.ar

MEDICIÓN DE CAUDALES

Una forma que tiene el productor de conocer la cantidad de agua que ingresa a su finca y también con la que está regando es midiendo el caudal de la misma. Con el desarrollo del presente trabajo se pretende dar a conocer diferentes métodos de aforo que permitan la determinación del caudal disponible en el momento del riego.

Se entiende por caudal a la cantidad de agua que pasa por una acequia, compuerta o sale por una manguera en un determinado tiempo.

Para el cálculo del caudal existen diferentes métodos, algunos bastante precisos y otros no tanto. En esta cartilla se pretende informar sobre métodos de aforo que puedan ser empleados de una manera relativamente sencilla, tanto por su metodología de uso como por la construcción de los instrumentos para tal medición (Demin, 2015).

CAUDAL

Se define como caudal o gasto Q al volumen de un fluido que pasa a través de una sección transversal a la corriente del fluido por unidad de tiempo (Ariosto Aguilar Chávez, 2001).

$$Q = l/s;$$

Q= caudal; L= litros; S= segundos

Por ejemplo: mediante un caudal de 20 l/s se podrá llenar un recipiente de 200 l de capacidad al cabo de 10 s.

LÁMINAS DE RIEGO

En riego es necesario conocer el volumen total de agua que ingresa en la parcela de riego y la superficie de esta. Dividiendo estos datos (volumen sobre superficie) se puede determinar la lámina de riego aplicada que se expresa en milímetros (mm).

El volumen de agua que se aplica en la parcela se calcula a partir del caudal y el tiempo en que está ingresando. Por ejemplo si el caudal es de 50 lts/seg y el tiempo es de 4 horas, para conocer el volumen que ingresó se hace el siguiente cálculo:

$$\text{Volumen} = 4 \text{ horas} \times 3.600 \text{ seg/hora} \times 50 \text{ lts/seg} = 720.000 \text{ lts}$$

La superficie se expresa en m², o también en hectárea (ha), la relación es:

$$1 \text{ ha} = 100\text{m} \times 100\text{m} = 10.000\text{m}^2$$

Para determinar la lámina, una forma sencilla es dividir el volumen aplicado en la superficie, en este caso 10.000 m² (1 ha):

$$\text{Lámina} = \frac{720.000 \text{ lts}}{10.000 \text{ m}^2} = 72 \text{ mm}$$

En este cálculo se debe tener la precaución de que el volumen se exprese en litros y la superficie en m².

La cantidad de agua que quede disponible para el cultivo dependerá de la lámina de riego y de la eficiencia de aplicación del método de riego (Demin, 2015).

Aforo

Dentro de hidrometría, el término aforo se emplea para referirse a la operación u operaciones necesarias para la medición del caudal de una corriente líquida (Bos, Replogle, & Clemmens, 1986).

Al considerar la Importancia de aforar en el ámbito de la agricultura:

A nivel zonal:

Permite suministrar el agua a la zona que realmente la necesita.

Permite establecer la superficie factible de riego.

Permite monitorear el desempeño zonal de uso del agua.

A nivel de finca:

Permite planificar la producción.

Evalúa los riegos y mide la eficiencia de uso del recurso.

Se pueden efectuar correcciones de ser necesario.

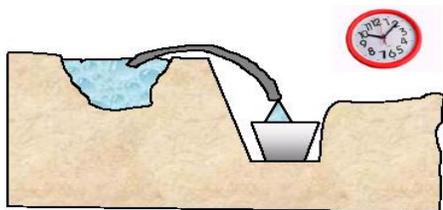
Criterios de clasificación de aforos

La medición del caudal puede revestir carácter transitorio o bien puede ser puntual, en cuyo caso se utilizan aparatos desmontables, portátiles, fáciles de instalar y transportar. Pero, si la medición ha de hacerse de forma regular en un mismo lugar, o sobre un mismo cauce, se construyen instalaciones estables o permanentes (Texeira, 2008).

El Aforo puede ser directo o indirecto y así existirán diferentes métodos a saber.

Métodos directos: miden directamente el caudal. Se determina directamente el caudal a partir de los caudales medios o promedios obtenido al cabo de un periodo de tiempo. Para dar algunos ejemplos:

MÉTODO VOLUMÉTRICO



Consiste en llevar la corriente líquida a un depósito y medir el volumen que ocupa al cabo de un cierto intervalo de tiempo (A., Assam, & Gorosito, 2011).

Ejemplo: Se quiere medir el caudal de agua que entrega una acequia que conduce agua para riego a una melga. Se utiliza un recipiente de 200 litros de capacidad y cronómetro. Se mide el tiempo que tarda en llenar completamente el recipiente, (Vol. =200 litros). Se hacen 3 repeticiones para promediar.

Figura 1: Determinación del caudal mediante el método volumétrico

T1 =48; T2 = 51; T3 = 51 (Tmedio= 50 s) expresado en segundos

$$\text{Caudal } Q = \text{Volumen} / \text{Tiempo} = 200 \text{ l} / 50 \text{ s} = 4 \text{ l/s}$$

Método Gravimétrico

En este caso, si el recipiente no está graduado y no puedo determinar el volumen, se pesa el volumen de agua acumulado en un cierto tiempo y obtengo:

$$Q = \text{Vol} / \text{tiempo}$$

$$\text{Vol} = \text{Peso} / \gamma$$

$$Q = \text{peso} / (\gamma \times t)$$

γ = densidad: 1 gr/cm³ o 1.000 kg/m³.; T= tiempo

Ejemplo: Se hace necesario conocer el caudal de un sifón que entrega agua a un surco. Se colecta el agua erogada al cabo de 10 segundos en un balde. se pesa la muestra y se repite la operación para obtener valores promedio.

Peso (grs)	Tiempo (s)
7200	10
7400	10
7300	10

Se obtiene como peso promedio, 7300 gramos, luego la tara del recipiente (balde) es de 800 gramos, por lo que el peso neto de agua es de 6500 gramos.

Ahora, como 1 gramo de agua es igual a 1 ml, o también 1kg de agua = 1litro de agua, entonces 6500 gramos es igual a 6500 ml igual a 6.5 litros por tanto el caudal será:

$$Q = 6,5 \text{ litros} / 10 \text{ seg} = 0,65 \text{ l/s}$$

Métodos Indirectos: en estos casos se afora en función de la velocidad del flujo y sección o área de la corriente.

MÉTODO DEL FLOTADOR (sección mojada y velocidad promedio)

Este método se utiliza tanto para conocer el agua que circula en canales como en acequias de riego, siendo poco preciso y dando sólo una medida aproximada de los caudales. Se presenta como una metodología sencilla de campo, pero su uso es limitado debido a que los valores que se obtienen son estimativos del caudal, siendo necesario que el elemento que se utilice como flotador se lo oriente por el centro del cauce y no por los laterales próximos a las paredes del canal.

Los cauces de riego pueden tener formas geométricas bien definidas, revestidas con cemento, o bien naturales de tierra. Para determinar el caudal que pasa por ellas este método se basa en la ecuación de continuidad:

$$Q = A * V$$

Q = caudal que circula en el cauce de riego

A = área del perfil del cauce perpendicular a la dirección en que se mueve el agua

V = velocidad media del agua del cauce de riego

Para determinar el caudal se siguen los siguientes pasos:

Primer paso: ubicación del lugar

Se elige una longitud "L" (Figura), del cauce de riego, no inferior a 10 m, de sección uniforme, preferentemente donde no se produzcan grandes infiltraciones, se marcan los extremos de esta longitud "L" con dos estacas (puntos A y B de la Figura).

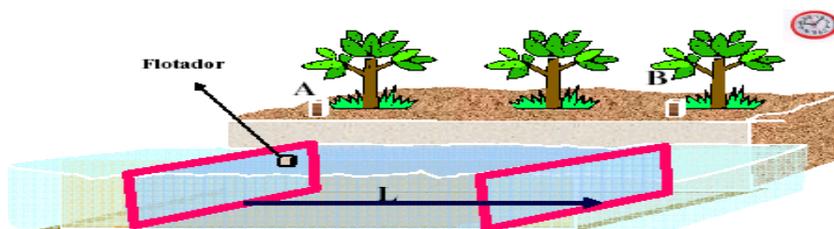


Figura 2: Medición del caudal mediante el método del flotador

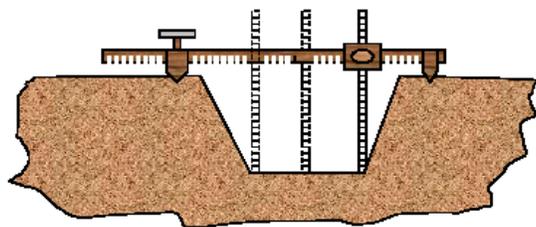


Figura 3: Escuadra de correderas

Segundo paso: determinación de la sección o superficie del cauce de riego.

Se determina la sección o superficie del cauce de riego en la mitad de la longitud "L". Puede medirse con una barra metálica bien graduada o si se dispone con una escuadra de correderas

que permite medir profundidades y anchos (Figura 3).

Tercer paso: determinar el valor de la velocidad media del agua en el cauce de riego.

Para determinar la velocidad por medio de flotadores sencillo tales como: corchos, trozos de madera, etc., se obtiene la velocidad superficial, determinando el tiempo que demora en recorrer el flotador la distancia "L", comprendida entre las estacas (punto A y B Figura 2).

Se promedian varias observaciones; el valor así obtenido es la velocidad superficial del agua.

Para conocer la velocidad promedio (velocidad que se encuentra por debajo de la superficie del agua) multiplicaremos a la velocidad superficial por un factor de corrección experimental variable de acuerdo a la condición de la acequia. Los valores del factor de corrección (C) se lo pueden visualizar en la tabla 1.

Velocidad media \bar{v} = velocidad superficial * C (factor de corrección)

Cuarto paso: calcular el caudal basado en la ecuación de continuidad.

$Q = V_{media} \times \text{Sección del cauce}$

Tabla 1: Valores del coeficiente de rugosidad (C): Formula de Bazin

R (m)	C de Bazin						
	K = 0,06	K = 0,16	K = 0,66	K = 0,85	K = 1,30	K = 1,75	K = 2,30
0.05	0.830	0.784	0.670	0.5634	0.478	0.466	0.346
0.10	0.840	0.804	0.717	0.628	0.548	0.487	0.420
0.20	0.845	0.821	0.756	0.682	0.614	0.556	0.495
0.30	0.849	0.828	0.772	0.709	0.649	0.596	0.535
0.40	0.850	0.830	0.783	0.726	0.971	0.622	0.565
0.60	0.852	0.837	0.796	0.747	0.698	0.655	0.603
0.70	0.853	0.841	0.804	0.761	0.717	0.678	0.629
1.00	0.854	0.843	0.810	0.771	0.730	0.693	0.645

Donde K representa la naturaleza de las paredes del canal y R (m) en radio hidráulico:

K = 0,06 paredes lisas conservadas de hormigón, madera o metálicas

K = 0,16 hormigón no perfectamente alisado, con salientes de mampostería de ladrillo y/o piedra tallada

K = 0,46 hormigón descuidado con algo de vegetación, aguas turbias con depósitos en las paredes. Mampostería de piedra común no perfilado.

K = 0,85 tierra con sección rectangular eventualmente revestida con guijarros, poco depósito en el fondo, sin vegetación.

K = 1,30 tierra de sección rectangular, con hierbas en el fondo y matas en los taludes, limpiezas periódicas.

K = 1,75 tierra en malas condiciones de conservación, matas de vegetación abundante, depósitos de peñascos o guijarros, irregularidades, erosiones, conservación descuidada.

K = 2,40 cursos naturales de agua canales excavados en el terreno.

R (m): el radio hidráulico de un cauce es el cociente entre el área y su perímetro mojado.

A) MÉTODO DEL MOLINETE

El molinete es un instrumento que tiene una hélice o rueda de cazoletas, que gira al introducirla en una corriente de agua. El de tipo de taza cónica gira sobre un eje vertical y el de tipo hélice gira sobre un eje horizontal. En ambos casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente del agua, de modo tal que cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado.

Los molinetes pueden ir montados en soportes o suspendidos de cables. Antes de ser usados en el campo deben ser calibrados por el fabricante para determinar la relación entre la velocidad de rotación de la hélice y la velocidad del agua.

Paso 1: elección del tramo a medir

La sección elegida para la medida con el molinete debe estar situada en un tramo recto de por lo menos 30 m y de una sección lo más homogénea posible a lo largo de dicho tramo

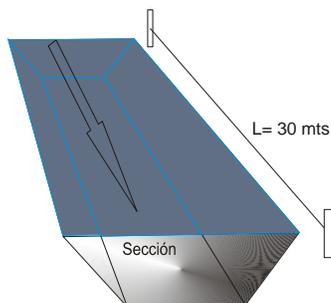


Figura 4: Representación del tramo a seleccionar



Figura 5: Determinación del área transversal, mediante una regla

Paso 2: Determinación de la sección del cauce de riego.

Se determina la sección o superficie del cauce de riego en la mitad de la longitud "L". Puede medirse con una barra metálica graduada o con una escuadra de correderas que permite medir profundidades y anchos (Figura 3 ídem que la del método del flotador).

Paso 3: medición de la velocidad:

Un molinete mide la velocidad en un único punto, es por esto que, para calcular el caudal total, se deben realizar varias mediciones.



Figura 6: Molinete Hidrométrico de eje horizontal



Figura 7: Uso del molinete Hidrométrico en canales que presentan diferentes formas de sección

Según sea el grado de precisión que se quiera obtener en el aforo, se tomarán mayor o menor número de puntos de medida en la sección.

A) AFORADOR RBC

Constituye una de las mejores estructuras portátiles para la medición de caudales. El aforador RBC es de diseño y construcción sencilla, de bajo costo y exacto para un amplio rango de caudales, no requiere calibración experimentalmente.

Imperfecciones en su construcción no inducen a grandes errores en la medición; de uso es muy sencillo; la escala puede ser calibrada directamente en unidades de caudal, prescindiendo del uso de tablas o figuras para su cálculo; no provoca grandes pérdidas de carga y difícilmente se obstruye. El aforador RBC ocasiona la elevación del tirante aguas arriba, que en canales con escaso bordo libre puede producir desbordamientos; su tamaño está limitado por el peso y la necesidad de ser transportado por una o dos personas. El caudal máximo que puede ser medido con un aforador portátil es limitado a un caudal menor de 50 l/s. (B., Ing. MSc. Delgadillo I., & Ing. MSc. r Cossio R., Mayo, 2004)

CONDICIONES PARA SU USO

- El canal aguas arriba del RBC debe ser recto y de sección uniforme, por lo menos en una distancia de 10 veces el ancho del canal.
- El aforador tiene que estar bien nivelado, tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal.
- No deben existir compuertas u otras estructuras aguas abajo, a menos que estén lo suficientemente alejadas (más de 5 m) para no afectar la condición de descarga libre del aforador (flujo modular o libre, significa que el tirante aguas abajo no afecta las condiciones aguas arriba).
- Debe existir suficiente borde libre o revancha para que no ocurran desbordamientos.

El aforador RBC tiene varias aplicaciones, tales como el aforo de flujos en pequeños canales de tierra, canales parcelarios, pequeños cursos naturales de agua, con el propósito de realizar estudios y/o evaluaciones sobre eficiencias en sistemas de riego, determinación de caudales de aplicación en parcela, seguimiento de riegos y otros.

Los elementos a utilizar con este método son:

- Aforador RBC portátil
- Nivel de albañil
- Azadón o picota
- Plásticos para impermeabilizar.

El requerimiento de personal es variable, generalmente, para aforadores con capacidad de aforo hasta 12 l/s, una sola persona; para aforadores con capacidad de aforo hasta 24 l/s, dos personas; y para aforadores con capacidad de aforo hasta 50 l/s, cuatro personas. La lectura es realizada por una sola persona.

INSTALACIÓN DEL AFORADOR

Se recomienda seguir los siguientes pasos:



1. Limpiar la solera del canal y regularizar las paredes del mismo aguas arriba del aforador (al menos 2 m de distancia), en caso de ser necesario (Figura 8).

Figura 8: Localización del Aforador RBC

2. Hincar el aforador con ayuda de una masa y un taco de madera hasta que la base del aforador quede al mismo nivel que la solera del canal, esto evitará turbulencias que dificulten la lectura del caudal en la regla. Si se tiene dificultad para clavar el instrumento es preferible quitar el aforador y acondicionar nuevamente el sitio de aforo o finalmente buscar otro sitio más conveniente. Se debe tener cuidado al hincar el aforador para no dañarlo; los golpes deben ser localizados en los puntos indicados en la Figura 9.

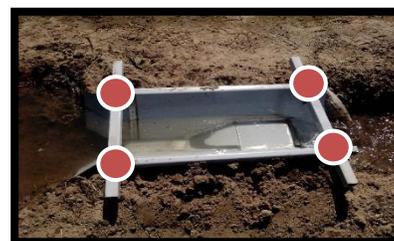


Figura 9: Puntos de golpe para estacionar el Aforador

3. El aforador tiene que estar bien nivelado, tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal, para ello se requiere usar nivel de albañil (Figura 10).

Figura 10: Aforador RBC, instalado e impermeabilizado



4. Impermeabilizar cuidadosamente los laterales entre el aforador y las paredes del canal para evitar filtraciones; para este fin se emplea la misma tierra y hierbas del lugar, algunas veces será necesario usar plástico (Figura 11).



Figura 11: Nivelación de
mediante un nivel de mano

Una vez instalado el aforador:

1.- Esperar un tiempo para que el flujo se estabilice, generalmente 15 a 30 minutos.



Figura 12: flujo de agua estabilizado

2. Verificar visualmente que la descarga del aforador se produzca en forma libre, observando que el tirante aguas abajo nunca sobrepase al tirante aguas arriba (por seguridad un 50%). Caso, contrario es recomendable buscar un sitio más adecuado.

3. Tomar los datos de caudal según las lecturas obtenidas en la regla del aforador y el tiempo correspondiente a cada lectura realizada del caudal (Figura 13).

Durante el tiempo en que se realizan las mediciones, se recomienda comprobar periódicamente la correcta instalación del aforador, vigilando que no existan fugas de agua y comprobando la nivelación de la estructura, caso contrario se debe corregir la posición, verificar nuevamente el nivel y repetir los pasos 1 y 2 para continuar con lecturas (paso 3). En caso de acumulación de piedras, sedimentos, hierbas y material de arrastre antes de la rampa, limpiar para que se afecte el adecuado funcionamiento del aforador.



Figura 13: Lectura del caudal con
aforador RBC

A) AFORADOR PARSHALL

El aforador está constituido por una sección de convergencia con un piso nivelado, una garganta con un piso en pendiente hacia aguas abajo y una sección de divergencia (contraída) con un piso en pendiente hacia aguas arriba. Gracias a ello el caudal avanza a una velocidad crítica a través de la garganta y con una onda estacionaria en la sección de divergencia (BRAZALES, AGOSTO de 2010.).

Con un flujo libre, el nivel del agua en la salida no es lo bastante elevado como para afectar el caudal a través de la garganta y, en consecuencia, el caudal es proporcional al nivel medido en el punto especificado en la sección de convergencia (figura 14). La relación del nivel del agua aguas abajo (H_b) con el nivel aguas arriba (H_a) se conoce como grado de sumersión; con esta medida se ingresa a tablas que arrojan directamente el caudal.

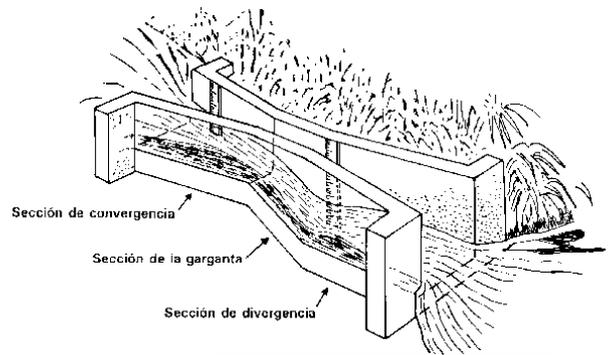


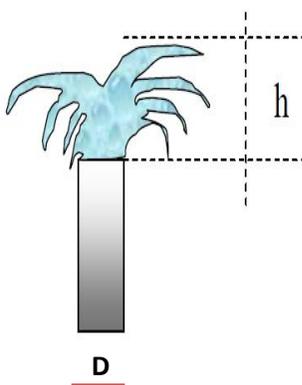
Figura 14: Aforador Parshall

Por ejemplo:

Tabla 2: Carga Hidráulica y su relación con el caudal

Carga (mm)	Caudal (l/s)
30	3,3
40	5,2
50	7,3
60	9,6
70	12,1
80	14,9

A) MÉTODO DE AFORO EN HIDRANTES:



D: es el diámetro interior en pulgadas, h la altura que alcanza el agua en cm, (c) es coeficiente cuyo valor varía entre 0.87 a 0,97 para diámetros menores hasta 4 pulgadas y 15 cm de altura el menor y para diámetros y alturas superiores se toma el valor mayor y el caudal en litros/minuto (Bentacor).

La fórmula utilizada es $Q = c \times D^2 \times 13,49 \times \sqrt{h}$

Ejemplo: Tabla 3: Relación entre la altura de la salida del agua y diámetro en pulgadas, para la determinación del caudal en l/min.

h (cm)	Diámetro del caño de descarga en pulgadas							
	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	10"
7	127	277	487	790	1125	1540	2055	3440
8	136	301	527	843	1210	1660	2220	3690
9	145	325	567	895	1300	1775	2380	3930
10	153	346	602	947	1385	1885	2550	4180
11	163	364	636	1000	1470	1995	2710	4420
12	172	381	668	1050	1540	2105	2855	4670
13	180	398	698	1095	1610	2205	3000	4900
14	188	415	727	1140	1680	2295	3130	5110
15	195	432	758	1185	1750	2390	3270	5320
16	202	449	784	1230	1820	2480	3390	5500
17	209	465	810	1273	1885	2570	3505	5670
18	216	480	835	1315	1945	2650	3615	5830
19	223	494	860	1353	2000	2735	3730	5990
20	229	507	885	1390	2055	2820	3840	6160
22	241	534	930	1465	2165	2970	4055	6460
24	253	560	973	1535	2275	3115	4245	6750
26	264	586	1016	1602	2380	3255	4430	7020
28	275	610	1059	1668	2470	3375	4605	7280
30	285	634	1102	1734	2565	3500	4780	7540
35	311	690	11196	1883	2780	3805	5180	8140
40	334	739	1284	2026	2985	4090	5520	8710
45	356	785	1366	2160	3175	4350	5855	9240
50	378	829	1448	2278	3340	4600	6175	9760
60	415	913	1590	1497	3665	5050	6760	10660
70	449	989	1722	2700	3965	5450	7290	11520
80	482	1062	1847	2895	4245	5835	7780	12320
90	514	1134	1964	3083	4500	6205	8240	13060
100	544	1194	2068	3247	4760	6550	8705	13810

A) AFORADOR SIN CUELLO



Se lo puede construir de varias medidas y puede ser construido en herrería para que sea portátil o con hormigón para que quede instalado como estación de aforo fija.

Consta de dos partes:

- ✓ Una sección de entrada de agua que posee dos paredes que convergen.
- ✓ Una sección de salida de agua que está formada por dos paredes que divergen.

Visto en planta, en los extremos, estas dos secciones tienen el mismo ancho, siendo la diferencia la longitud de cada sección. Es decir, lo que cambia es el ángulo de convergencia y de divergencia.

La unión de estas dos partes constituye la garganta. El piso es a nivel, no teniendo ningún tipo de inclinación.

Para determinar el caudal se realiza una sola lectura de la altura del agua si es con flujo libre o se realizan dos lecturas si es con flujo sumergido. Estos valores obtenidos en las lecturas se introducen en una fórmula y se

determina el valor del caudal; a estos valores obtenidos de las lecturas en el aforador se los ubica en una tabla y arroja el valor de caudal directamente.

En la siguiente tabla se muestra valores de un aforador sin cuello con una longitud de 90 cm para distintas lecturas de altura de agua. Es un aforador que está trabajando libre ya que si estuviera trabajando sumergido requerirá la lectura aguas abajo para luego ir a la tabla o realizar la ecuación.

Tabla 4 –Aforador sin cuello de 90 cm longitud y 30 cm de garganta, trabajando libre

H (cm)	Caudal (lts/seg)
10	16
11	19
12	22
13	26
14	30
15	34
16	38
17	42
18	47
19	52
20	57
21	62
22	68
23	74
24	80
25	86
26	92
27	99
28	106
29	113
30	120

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA:

A., A. O., Assan, M., & Gorosito, S. (2011). *Catedra de Riego y Drenaje; Facultad de Ciencias Agrarias; UNCa*. Catamarca.

Ariosto Aguilar Chávez, I. (2001). *Serie didactica de medicion: Aforadores*. Mexico: Subcoordinación.

B., I. M., Ing. MSc. Delgadillo I., O., & Ing. MSc. r Cossio R., V. (Mayo, 2004). *GUÍA DE MEDICIÓN DE CAUDALES: AFORADOR PORTÁTIL RBC*. Mexico.

Bentacor, L. *HIDROMETIA*.

Bos, M. G., Replogle, J., & Clemmens, A. (1986). *Aforadores de caudal para canales abiertos*. Madrid.

BRAZALES, M. A. (AGOSTO de 2010.). *MODELO HIDRÁULICO FÍSICO DE VERTEDEROS*. Guatemala.

Demin, P. E. (2015). *Medicion de Caudales*. INTA .

Texeira, I. (2008). *Flujo en canales abiertos*. Uruguay.



Secretaría de Investigación y Vinculación Tecnológica

Av. Belgrano y Mtro. Quiroga s/n - Campus Universitario
San Fernando del V. de Catamarca - Argentina
TE: 03834 – 430504 /03834 – 435955- int 101
Editor responsable: Ing. Juan Ramón SEQUI
Email: sivitecfca@gmail.com