

Trazado de canales en terrenos arenosos



Habiendo tenido ocasión de escuchar algunas conversaciones sobre *canales en arena* durante su permanencia en el Sur, el infrascrito se propuso reunir el mayor número de datos sobre esta clase de trabajos y tratar de deducir de ellos cuáles han sido las causas que han hecho—salvo algunas excepciones—fracasar esta clase de obras.

Creemos que este tema no carecerá de interés pues una parte de las provincias del Bío-Bío y de la Concepción la componen terrenos formados por las arenas arrojadas en épocas remotas por los volcanes del macizo central de la cordillera andina.

I

Los inconvenientes de un canal trazado en un suelo arenoso como son los llanos antes nombrados son debidos principalmente (1) á la poca consistencia del suelo que no resiste la acción de una corriente violenta (2) á la mucha inclinación ó gradiente del terreno (3) á que en su trazado no se preocupan de la velocidad que tendrá el agua cuando se establezca el régimen uniforme dando por resultado este descuido el embancamiento del canal por las arenas que su misma agua arrastra y deposita, (4) y la filtración que es máxima en estos terrenos.

En lo que sigue trataremos de estudiar el mejor modo de evitar los inconvenientes señalados principiando por averiguar cuál es la pendiente más apropiada para evitar socavaciones ó arrastres en suelos formados por arenas con cierto grado de cohesión que son todas aquellas que no forman voladeros.

Para esto nos pondremos un ejemplo que consistirá en determinar la pendiente y sección de un canal capaz de conducir cien (100) regadores. Un regador se calcula á razón de quince (15) litros por segundo. Procederemos primero por tanteos y al efecto vamos á calcular la velocidad del agua en un canal de 4^m57 de ancho en el fondo, inclinación de los costados 1 á 1, profundidad del agua sesenta (0^m60) centímetros. Pendiente uno en cuatro mil ($\frac{1}{4000}$).

Con estos datos podemos calcular la velocidad sirviéndonos de la antigua forma de Chezy.

$$v = c \sqrt{r \cdot s}$$

Como es bien sabido el coeficiente c depende de la pendiente y de la sección, usaremos pues para determinarlo la única fórmula que da su valor en función de esos factores que es la siguiente:

$$c = \frac{\frac{1}{n} + 23 + \frac{0.00155}{s}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{s}\right) \frac{n}{\sqrt{r}}} \quad (\text{Kutter})$$

Como el canal es excavado á pala el coeficiente n de aspereza ó rugosidad podríamos tomarlo igual á 0.0225 pero tomaremos 0.025 como coeficiente.

$$\text{El valor de } r = \frac{a}{p} = 0.49 \quad \sqrt{r} = 0.7 \quad \frac{n}{\sqrt{r}} = 0.0357$$

$$c = 34 \quad v = 0^m0315 \quad a = 2^m9 \sqrt{\quad}$$

Con estos valores resulta para la velocidad 0^m375 . Esta no puede arrastrar arena pero también con ella el canal sólo tiene un gasto de 72 regadores en vez de cien (100) como necesitamos.

Además de no ser suficiente el caudal de agua que lleva el canal en las condiciones establecidas, la profundidad de sesenta (60) centímetros tiene el inconveniente de que el sol á través de esa delgada capa de agua desarrollaría en poco tiempo la vejetación ocasionando esto una disminución en el gasto del canal.

Si aumentamos la pendiente hasta alcanzar la velocidad de 40 á 45 centímetros por segundo que es la máxima que puede soportar un terreno arenoso—sólo obtendremos un gasto máximo de (0.45×2.92) 1314 litros ó sean (88) ochenta y ocho regadores.

Aumentemos la profundidad del agua noventa (90) centímetros y dejemos la misma pendiente de uno en cuatro mil ($\frac{1}{4000}$). Tendremos haciendo los cálculos respectivos que la velocidad es de cuarenta y siete (47) centímetros por segundo y el gasto de dos mil cuatrocientos treinta (2,430) litros por segundo ó sean ciento sesenta y un regador, cantidad muy superior á la establecida.

Vemos aquí que el sólo hecho de haber aumentado la profundidad en un 50% dejando todas las demás condiciones iguales ha hecho aumentar la velocidad en 23.7%.

Con esta nueva velocidad y hondura ya desaparecen en gran parte los peligros de obstrucción del canal por plantas ó yerbas, pues el sol tiene poca acción á esa profundidad. Pero hay otra ventaja importante y es, que el fondo así como también los costados del canal soportan una presión mucho mayor, hay más compresión de las partículas de arena y por esto menos arrastra aunque sea mayor la fuerza que las solicita, pues si bien es cierto que el poder de socavación del agua aumenta con la

la velocidad, también lo es que disminuye con el aumento la profundidad.

Esto puede establecerse de un modo más claro. Con (60) sesenta centímetros de agua la presión que sufre el fondo del canal es de (600) seiscientos kilos por metro superficial mientras que alcanza (900) novecientos con noventa (90) centímetros.

Podemos decir que el poder de socavación de una corriente está en razón directa de la velocidad é inversa de la profundidad.

Establecido esto vemos que no nos conviene disminuir la profundidad de nuestro canal sino aumentarla todo lo que se pueda disminuyendo al mismo tiempo la pendiente para conservar la velocidad dentro de los límites que nos hemos marcado (45 centímetros).

Tomemos como cauce (3^m) tres metros de ancho en el fondo, (1^m20) un metro veinte centímetros de agua, conservando los mismos taludes y disminuyendo la pendiente á uno en cinco mil ($\frac{1}{5000}$).

Sustituyendo estos valores en la fórmulas de Ketter y Chezy se obtiene para la velocidad (48) cuarenta y ocho centímetros y para gasto ciento sesenta y siete regadores (167). Aquí tenemos otra prueba de la influencia de la profundidad sobre la velocidad. Esta se conserva igual á la del ejemplo anterior habiéndose disminuído la pendiente de $\frac{1}{4000}$ á $\frac{1}{5000}$ aumentando el agua en veinte centímetros (1^m20).

Sin embargo, como la profundidad de un metro veinte centímetros exige puentes, aumenta además mucho el costo de la excavación y conservación, convendrá por regla general reducirla á un metro (1^m), la cual no deberá disminuirse por las razones dadas mas arriba (siempre que se trate de canales en arena donde la velocidad no debe exceder de 75 centímetros.)

Aplicando esta profundidad al ejemplo anterior se obtendrá para gasto de un canal de tres (3) metros de ancho en la base,

cinco (5) en la superficie del agua pendiente uno en cinco mil ($\frac{1}{5000}$) y $v = 0.025$ mil setecientos veinte litros por segundo (1,720), lo que equivale á ciento catorce (114) regadores. Como la velocidad es de cuarenta y tres (43) centímetros, estamos dentro del límite que nos hemos marcado.

Comparando los datos últimos con los del primer ejemplo resulta:

Dato	Primer canal	Segundo canal
Ancho en el fondo.....	4 ^m 27	3 ^m 00
, Id. en la superficie del agua.....	5.47	5.00
Inclinación de los taludes.....	1 á 1	1 á 1
Pendiente.....	$\frac{0}{4000}$	$\frac{0}{5000}$
Velocidad.....	0 ^m 38	0 ^m 44
Gasto en regadores.....	73.00	114.00
Altura del agua.....	0 ^m 60	1 ^m 00
Superficie expuesta á la evaporación por metro lineal.....	5 ^m 247	5 ^m 200

De lo que dejamos dicho podemos deducir que en todo canal en suelo arenoso la pendiente *máxima* que pueda adoptarse es de uno en cuatro mil $\frac{1}{4000}$ y la profundidad mínima que debe tener el agua en el cauce de un metro (1^m).

Si se quisiera tener las dimensiones de un canal capaz de conducir 200 regadores (3^m3 por segundo) con una velocidad que no ocasione arrastre, se encontrará que es suficiente una zanja de 4^m57 de ancho en el fondo con costados inclinados 1 á 1 y 1^m20 de hondura, siempre que al fondo se le dé una pendiente de $\frac{1}{6640}$ para que la velocidad no exceda de 0.44 por segundo.

II

Pasaremos á estudiar las pérdidas por filtración y evaporación.

En todo canal trazado en terreno arenoso la pérdida de agua por filtración es muy seria en los primeros tiempos de su establecimiento, pues el agua se escapa no sólo por el fondo sino también por los costados del canal. Gradualmente el terreno se va saturando y al mismo tiempo los intersticios del material poroso que forman los costados y fondo del cauce se tapan con las materias que trae el agua en suspensión. El fondo de un canal puede asimilarse á un largo filtro y es bien sabido que la arena de éstos, si no se reemplaza la capa superior por nueva ó limpia, pierde pronto su permeabilidad por taparse los intersticios con las pequeñas partículas que siempre tiene el agua en suspensión por más clara que parezca. La operación de limpieza consiste en remover una delgada capa de arena de 2 á 4 centímetros y remover la que se ha apelmazado por el peso del agua. Este fenómeno da la explicación de la conveniencia que hay en dar mucha profundidad á un canal en arena como ya lo hemos indicado.

Lo mismo que se observa en un filtro de arena pasa en un canal excavado en este material, con la diferencia que tarda mucho más en verificarse, porque en éste el agua no está estancada como en el filtro y muchas partículas que en éste se depositaban en algunas horas son llevadas de una á otra extremidad en un canal, á pesar de la poca corriente.

Y aquí tenemos la explicación del por qué un canal en arena tiene y debe ser trazado con muy poca pendiente (1) para que deposite la mayor de la parte de la materia en suspensión que puede traer el agua y tape los poros de la arena (2) y para que la corriente no remueva las delgadas capas de arena que ya tiene la casi totalidad de los poros tapados. Esto último es muy importante y tardará muchísimo en arreglarse todo canal en arena que haya sido trazado con una pendiente mayor de la que admite este material y si es demasiado fuerte el agua no correrá. Esto es en apariencia un contrasentido, pero tiene una com-

probación práctica muy sencilla observando la velocidad y gasto de los grandes ríos.

El Mississippi arriba de Vicksburg tiene una pendiente de uno en veinte mil ($\frac{1}{20000}$), sin embargo, su velocidad es muy grande (siete millas por hora si mal no recordamos) mientras que el Bío-Bío tiene, según datos del ferrocarril, desde San Rosendo hasta el mar, (48^m) cuarenta y ocho metros en ochenta kilómetros, ó sea uno á mil seiscientos ochenta ($\frac{1}{1680}$) y no hay sección alguna comprendida entre los puntos citados que corra siete millas. En un canal en arena que siempre tiene un gasto muy reducido comparado con el de un río, no sólo se verifica la disminución de velocidad sino que toda el agua se pierde por filtración y

EVAPORACIÓN

Esta pérdida no deja de tener importancia pero no nos podemos pronunciar sobre ella por falta absoluta de datos, tanto de la temperatura como también del estudio higrométrico. Nunca es tan fuerte como la debida á la filtración y algunos ingenieros sostienen (no nos consta en qué datos apoyan sus afirmaciones) que es sólo la cuarta parte de la que tendría lugar en un canal, excavado en tierra firme en iguales condiciones.

Aquí también vemos la ventaja de un canal hondo sobre uno bajo, pues como la evaporación es proporcional á la superficie cuanto mayor sea ésta, más evaporación habrá.

En el ejemplo comparativo que hemos puesto más arriba, se manifiesta esto claramente; el canal de 73 regadores tiene una superficie de evaporación de $5^{m^2}47$ por metro lineal, mientras que el de 114 regadores con un gasto superior de 56% sólo presenta 5^{m^2} de superficie de evaporación.

Estas son las principales causas de pérdida de agua que hay en un canal en arena, y para reducirlo á un mínimo así como

también para evitar gastos de conservación muy crecidos, es necesario hacer el trazado: 1.º con pendiente débil, $\frac{1}{1000}$ máximo; 2.º dar al agua una profundidad mínima de un metro (1^m), 3.º que la velocidad media no sea superior á cuarenta y cinco (45) centímetros por segundo; 4.º sólo tratándose de canales muy cortos convendrá hacerlos para un gasto de 50 regadores. En general se obtendrán mejores resultados con los canales de gran gasto.

Siempre que se observen estas reglas todo canal trazado en arena tendrá un éxito completo.

III

La cantidad de agua que perderá un canal depende principalmente de su desarrollo, pues cuanto más largo más superficie presenta á la evaporación y filtración. Por este motivo no nos parece correcto cuando se dice que el canal tal ó cual pierde el 10% y 20% del agua que recibe, sino que debería decirse pierde tanto ó cuanto por regador y por kilómetro recorrido. Así sabiendo el número de regadores que recibe en la boca-toma y los kilómetros que recorrerá hasta su término podrá determinarse cuanta agua pierde.

Supongamos que el canal calculado tiene una longitud de diez (10) kilómetros y después de estar corriendo se constata que á su término sólo llegan 90 regadores; prolongando este canal otros diez (10) kilómetros es lógico suponer que á los 20 kilómetros no llegarán 90 regadores, pues durante el trayecto de la segunda sección la pérdida será por lo menos igual sino superior á la que se presentó en la primera sección.

En efecto, los 90 regadores que entran á la segunda sección reciben la misma cantidad de calor que los de la primera y como ya tienen una temperatura superior, la evaporación, durante el trayecto de la segunda sección será más fuerte que durante la primera.

La pérdida por filtración es también igual á la de la primera sección, luego la pérdida total al fin de los 20 kilómetros es doble.

Siguiendo un cálculo análogo podemos decir que á los cincuenta ó sesenta kilómetros no quedará más agua en el canal, pues toda habrá sido consumida en el trayecto.

Creemos no exagerar al recomendar que en todo proyecto de canal en terreno arenoso, se calcule la pérdida por evaporación y filtración en quince milésimas (0.015) por kilómetro y por regador. Así un canal de capacidad para cien regadores (100) trazado en terreno arenoso con una pendiente de uno en cinco mil $\frac{1}{5000}$ para que su velocidad no ocasione arrastre, perdería toda su agua por filtración y evaporación en un recorrido de sesenta y seis kilómetros (66 k). Debemos advertir aquí que cuanto menos agua viene por un canal, mayor es la evaporación y es muy probable que mucho antes de los 66 kilómetros se haya consumido toda el agua.

Creemos que el sistema de calcular la pérdida en un canal en una fracción de regador por kilómetro de recorrido es el que dará siempre un resultado muy aproximado á la verdad y sólo esperamos completar más los datos que tenemos para preparar un trabajo sobre este importante factor del gasto de un canal.

Santiago, 16 de Enero de 1894.

ENRIQUE S. SMITT.

Fórmula jeneral de Sanguillet y Kutter.

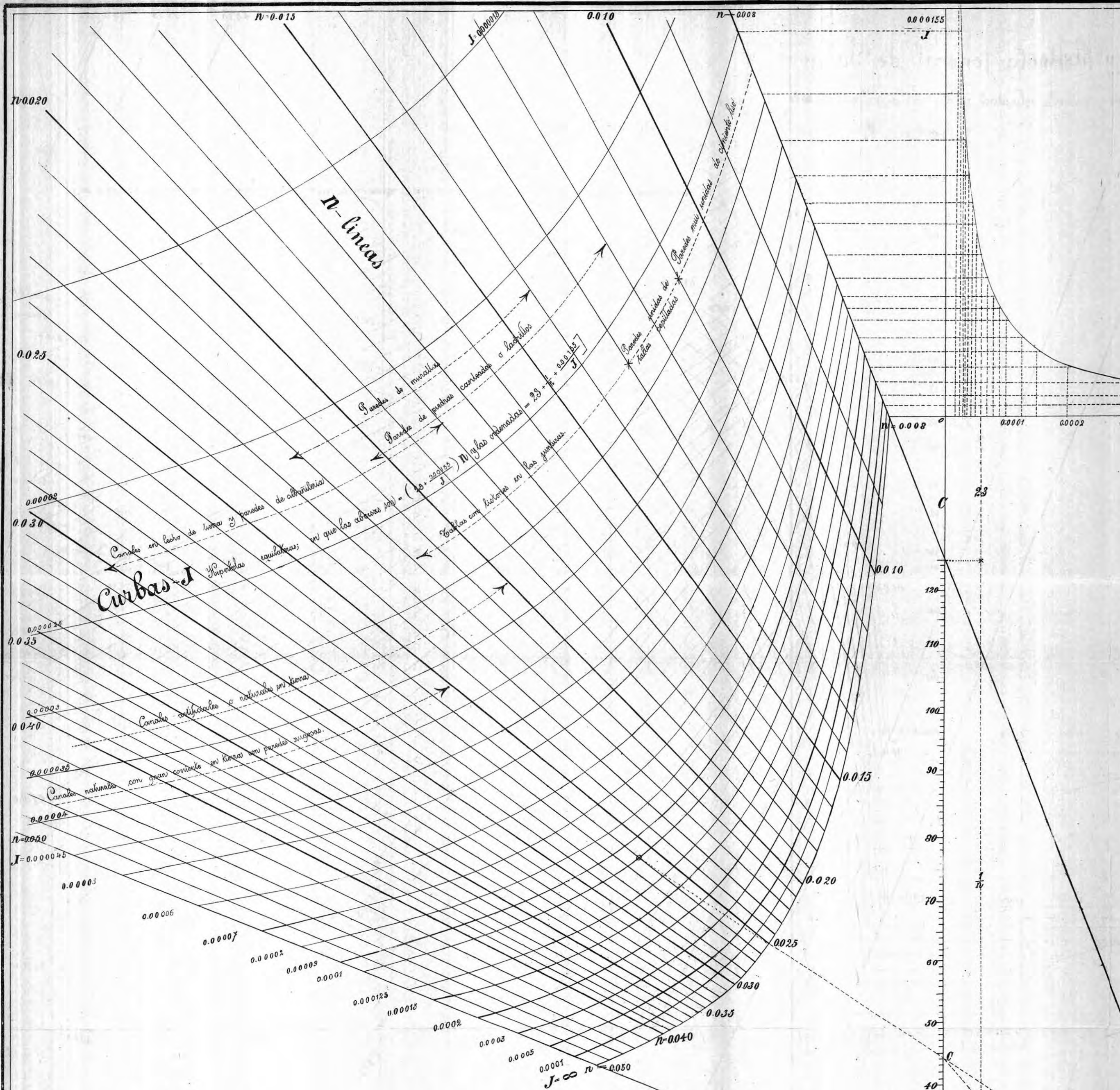
para la velocidad media del agua en canales y rios

$$V = C \sqrt{RJ}$$

El valor del coeficiente C es
$$C = \frac{1}{1 + \left(23 + \frac{0.0155}{J} \right) \frac{N}{\sqrt{R}}}$$

- C Crece cuando:
- 1º R aumenta
 - 2º N disminuye
 - 3º J disminuye siendo $R > 1.00$
 - 4º J aumenta siendo $R < 1.00$

Hipótesis supletoria en que las abscisas son J, y las ordenadas $\frac{C}{\sqrt{R}}$



R	√R	R	√R	R	√R	R	√R	R	√R	R	√R	R	√R
0.01	0.100	0.31	0.557	0.62	0.79	1.22	1.10	1.82	1.35	2.42	1.56	3.10	1.76
0.02	0.141	0.32	0.566	0.64	0.80	1.24	1.11	1.84	1.36	2.44	1.56	3.20	1.79
0.03	0.173	0.33	0.574	0.66	0.81	1.26	1.12	1.86	1.36	2.46	1.57	3.30	1.82
0.04	0.200	0.34	0.583	0.68	0.82	1.28	1.13	1.88	1.37	2.48	1.57	3.40	1.84
0.05	0.224	0.35	0.592	0.70	0.84	1.30	1.14	1.90	1.38	2.50	1.58	3.50	1.87
0.06	0.245	0.36	0.600	0.72	0.85	1.32	1.15	1.92	1.39	2.52	1.59	3.60	1.90
0.07	0.265	0.37	0.608	0.74	0.86	1.34	1.16	1.94	1.39	2.54	1.59	3.70	1.92
0.08	0.288	0.38	0.616	0.76	0.87	1.36	1.17	1.96	1.40	2.56	1.60	3.80	1.95
0.09	0.300	0.39	0.624	0.78	0.88	1.38	1.17	1.98	1.41	2.58	1.61	3.90	1.97
0.10	0.316	0.40	0.632	0.80	0.89	1.40	1.18	2.00	1.41	2.60	1.61	4.00	2.00
0.11	0.332	0.41	0.640	0.82	0.91	1.42	1.19	2.02	1.42	2.62	1.62	4.10	2.02
0.12	0.346	0.42	0.648	0.84	0.92	1.44	1.20	2.04	1.43	2.64	1.62	4.20	2.05
0.13	0.361	0.43	0.656	0.86	0.93	1.46	1.21	2.06	1.44	2.66	1.63	4.30	2.07
0.14	0.374	0.44	0.663	0.88	0.94	1.48	1.22	2.08	1.44	2.68	1.64	4.40	2.10
0.15	0.387	0.45	0.671	0.90	0.95	1.50	1.22	2.10	1.45	2.70	1.64	4.50	2.12
0.16	0.400	0.46	0.678	0.92	0.96	1.52	1.23	2.12	1.46	2.72	1.65	4.60	2.14
0.17	0.412	0.47	0.686	0.94	0.97	1.54	1.24	2.14	1.46	2.74	1.66	4.70	2.17
0.18	0.424	0.48	0.693	0.96	0.98	1.56	1.25	2.16	1.47	2.76	1.66	4.80	2.19
0.19	0.436	0.49	0.700	0.98	0.99	1.58	1.26	2.18	1.48	2.78	1.67	4.90	2.21
0.20	0.447	0.50	0.707	1.00	1.00	1.60	1.26	2.20	1.48	2.80	1.67	5.00	2.24
0.21	0.458	0.51	0.714	1.02	1.01	1.62	1.27	2.22	1.49	2.82	1.68	5.10	2.26
0.22	0.469	0.52	0.721	1.04	1.02	1.64	1.28	2.24	1.50	2.84	1.69	5.20	2.28
0.23	0.480	0.53	0.728	1.06	1.03	1.66	1.29	2.26	1.50	2.86	1.69	5.30	2.30
0.24	0.490	0.54	0.735	1.08	1.04	1.68	1.30	2.28	1.51	2.88	1.70	5.40	2.32
0.25	0.500	0.55	0.742	1.10	1.05	1.70	1.30	2.30	1.52	2.90	1.70	5.50	2.35
0.26	0.510	0.56	0.748	1.12	1.06	1.72	1.31	2.32	1.52	2.92	1.71	5.60	2.37
0.27	0.520	0.57	0.755	1.14	1.07	1.74	1.32	2.34	1.53	2.94	1.71	5.70	2.39
0.28	0.529	0.58	0.762	1.16	1.08	1.76	1.33	2.36	1.54	2.96	1.72	5.80	2.41
0.29	0.539	0.59	0.768	1.18	1.09	1.78	1.33	2.38	1.54	2.98	1.73	5.90	2.43
0.30	0.548	0.60	0.775	1.20	1.10	1.80	1.34	2.40	1.55	3.00	1.73	6.00	2.45

Por medio de este diagrama es fácil, conocidos tres de los cuatro valores C, R, J, N , determinar el cuarto, por encontrarse los tres puntos \sqrt{R} en el eje de las abscisas, el punto de intersección de la línea N con la curva J y el punto C en el eje de las ordenadas, en una línea recta. Como esta línea está determinada por dos de estos puntos, se puede encontrar siempre el tercero.

Ejemplo: Para $R = 480m$, $J = 0.0001$, $N = 0.026$, se encuentra en la tabla de raíces $\sqrt{R} = 21.9$ y $C = 438$, con lo que se encuentra después $V = 0.587m$.

Según BAZIN la relación entre la velocidad máxima y la velocidad media se expresa por la fórmula $V_{max} = V + 14 \sqrt{RJ}$, de donde se deduce, por ser $V = C \sqrt{RJ}$ la relación:

$$V : V_{max} = C : C + 14$$

El valor de la relación $V : V_{max}$ se halla en la intersección de la línea que une el punto C con el A ($\sqrt{R} = 100m$; $C = 14$) (Bazin, recherches hydrologiques p 145-161, 328-329)

Ejemplo Para $C = 438$ es $V : V_{max} = 0.76$