

CURVA DE GASTOS DEL RIO NAZAS AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE EL PALMITO

POR EL ING. ANDRES GARCIA QUINTERO

JEFE DE LA SECCION DE HIDROLOGIA DEL DEPTO. DE ESTUDIOS DE LA COM. NAL. DE IRRIGACION

Generalidades.—La presa de El Palmito, que construye la Comisión Nacional de Irrigación en el río Nazas en el Cañón de El Palmito, tiene capacidad para 3,000 millones de m^3 , de los cuales se supone que 400 millones serán disminuidos en 100 años de vida de la presa por el depósito de azolves. En un puerto vecino a la margen izquierda se localizó el vertedor libre con 264.19 m. de longitud de cresta, estando ésta en la elevación 1 620.15 m.; con una carga de 5.85 m. en este vertedor se dará paso a un gasto máximo de 8,000 m^3/s .

Inmediatamente aguas abajo de la cortina se construirá una planta hidroeléctrica y a fin de proyectar la casa de máquinas a salvo de las inundaciones que pudieran resultar de los desfuegos de la misma planta o de las descargas del vertedor, se hizo el estudio hidráulico que aquí se presenta para determinar la curva de gastos del río en la sección inmediatamente abajo de la citada planta hidroeléctrica.

Datos disponibles.—Los datos disponibles para el estudio son los siguientes:

1. Datos hidrométricos observados en la estación El Palmito situada 1.4 Km. aguas abajo de la presa. El gasto máximo

aforado en la estación es de 2,635 m^3/s ., el día 27 de septiembre de 1936.

2. Datos topográficos consistentes en secciones transversales al río en el tramo comprendido entre el sitio de la planta hasta la estación de aforos El Palmito. Son en total 11 secciones y comprenden un tramo de 1,100 metros.

Para calcular la curva de gastos en el sitio indicado se procedió de la siguiente manera:

ESTUDIO HIDRAULICO

El estudio hidráulico consistió en síntesis en lo siguiente:

1º Prolongar la curva de gastos en la estación El Palmito para gastos hasta de 10,000 m^3/s .

2º Utilizando la anterior curva de gastos, los datos topográficos y valores adecuados de n , determinan el perfil del agua en el tramo de río considerado y fijar las alturas de agua para cada gasto, en la sección 1 + 15, en donde está localizada la planta hidroeléctrica.

Procedimiento utilizado para la determinación de la curva de gastos.—Los procedimientos generalmente usados para determinar o prolongar curvas de gastos

de un río se basan en la aplicación de alguna fórmula hidráulica en la que interviene el coeficiente de rugosidad n y la pendiente hidráulica s , radio hidráulico r y el área a de la sección transversal.

Entre los métodos más usuales para prolongar curvas de gastos se tiene el de Stevens, basado en la hipótesis de que para gastos muy grandes tanto la rugosidad como la pendiente son aproximadamente constantes y el gasto resulta proporcional al producto del área por una potencia fraccionaria del radio hidráulico. En efecto, según Manning:

$$Q = l a r^{2/3} s^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

y si son constantes n y s

$$Q = C a r^{2/3} \dots \dots \dots (2)$$

Según Chezy:

$$Q = C a \sqrt{r s} \dots \dots \dots (3)$$

en la que $Q =$ gasto;

$C =$ coeficiente de gastos según la fórmula de Kutter y que depende de r s y del coeficiente de rugosidad n ;

$r =$ radio hidráulico;

$s' =$ pendiente hidráulica.

Si en la anterior fórmula se considera que c y s son constantes:

$$Q = K a r^{1/2} \dots \dots \dots (4)$$

Para prolongar la curva de gastos de la estación hidrométrica de El Palmito se calcularon los valores de C y K de las fórmulas (2) y (4) para el gasto máximo de 2 706 m³/s. ocurrido el 27 de septiembre de 1936 con el agua a la elevación 1 551.41 m.

El valor de dichas constantes fué:

$$C = 0.8107.$$

$$K = 1.095.$$

las cuales sirvieron para calcular las curvas de gastos utilizando la curva de áreas y radios hidráulicos de la sección 11 + 00. En la tabla número 1 se presenta el cálculo de la prolongación de la curva de gastos.

TABLA 1

CALCULO DE LOS VALORES PARA LAS CURVAS DE GASTOS A Y B (1)
Prolongación de la curva de gastos observada

Elevación m	Área (a) m ²	Radio H. (r) m	$r^{1/2}$	$a r^{1/2}$	$\frac{Q k}{m^3/s}$	$r^{2/3}$	$a r^{2/3}$	$\frac{Q c}{m^3/s}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1560	2619	12.65	3.557	9316	$5 \times K$ 10 201	5.429	14129	$8 \times C$ 11527
59	2430	11.89	3.448	8379	9 175	5.209	12658	10262
58	2216	11.11	3.333	7386	8 088	4.979	11033	8944
57	2028	10.39	3.223	6536	7 157	4.762	9657	7829
56	1828	9.59	3.097	5661	6 199	4.514	8252	6690
55	1640	8.84	2.973	4876	5 339	4.275	7011	5684
54	1455	8.02	2.832	4121	4 512	4.007	5830	4726
53	1282	7.27	2.696	3456	3 784	3.753	4811	3900
52	1102	6.50	2.550	2810	3.077	3.483	3838	3111
51	938	5.77	2.402	2253	2 467	3.217	3018	2447

(1).—La curva A se calculó con la fórmula $Q_A = 1.095 a \sqrt{r}$
La curva B se calculó con la fórmula $Q_B = 0.8107 a r^{2/3}$

TABLA 2

Valores de C y K en las fórmulas $Q = C a r^{2/3}$ y $Q = K a r^{1/2}$ para gastos observados en el Palmito mayores que 1000 m³/s

Aforo No.	Gasto m ³ /s	Elev. m	Area (a) m ²	Radio H. (r) m	a r ^{2/3}	a r ^{1/2}	C	K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1936-355	2635	51.27	1012	5.98	3335	2474	0.7901	1.065
354	2433	50.84	927	5.64	2938	2202	0.8281	1.105
353	1590	49.16	650	4.17	1684	1327	0.9442	1.198
343	1239	48.44	542	3.52	1254	1017	0.9880	1.218
1937-531	1180	48.16	477	3.24	1045	859	1.129	1.374
532	1247	48.37	515	3.44	1174	955	1.062	1.306
533	1235	48.14	499	3.24	1093	898	1.130	1.375
1938-545	1290	48.49	539	3.56	1256	1017	1.027	1.268
546	1286	48.51	524	3.57	1224	990	1.051	1.299
547	1293	48.64	536	3.70	1282	1031	1.009	1.254
548	1273	48.50	539	3.57	1259	1018	1.011	1.250
549	1351	48.69	567	3.74	1366	1097	0.989	1.232
550	1415	48.83	590	3.88	1457	1162	0.971	1.218
551	1621	49.21	647	4.23	1693	1331	0.957	1.218
552	1394	48.70	581	3.75	1403	1125	0.994	1.239
553	1143	48.24	500	3.32	1113	911	1.027	1.255
426	1117	48.12	492	3.21	1071	882	1.043	1.266
427	1308	48.52	534	3.59	1252	1012	1.045	1.292
428	1497	48.75	579	3.81	1412	1130	1.060	1.325
429	1441	48.68	565	3.74	1361	1093	1.059	1.318
430	1286	48.11	484	3.20	1051	866	1.224	1.485

Como antes se ha dicho, las dos anteriores prolongaciones se basan en la hipótesis de que tanto la rugosidad como la pendiente son constantes para gastos máximos; sin embargo, calculando los valores de C y K para los aforos mayores de 1,000 m³/s. se encuentra cierta variación. (Tabla Núm. 2.) En una gráfica (701 - C - 866) se marcaron los valores de C y K en función de los gastos obteniendo un grupo de puntos dispersos para gastos en 1,100 y 1,600 m³/s. y aislados los valores para los gastos máximos en 1936. En vista de lo anterior, se pensó en la necesidad de adoptar otra fórmula, de la forma siguiente:

$$Q = C' a r k \dots \dots \dots (5)$$

en la que Q = gasto.

C' = una constante;

a = área;

r = radio hidráulico;

x = un exponente fraccionario.

Con objeto de tener una idea del valor de x se dibujaron en papel logarítmico los gastos (ordenados) en función de los radios hidráulicos (abscisas). De la gráfica se obtuvo un valor aproximado para

$$x = 0.22.$$

Calculando con dicho valor el coeficiente C' para cada aforo se pudieron eliminar aquellos aforos que no siguen la ley. Para los aforos restantes y con el método de los mínimos cuadrados se obtuvo:

$$x = 0.2068.$$

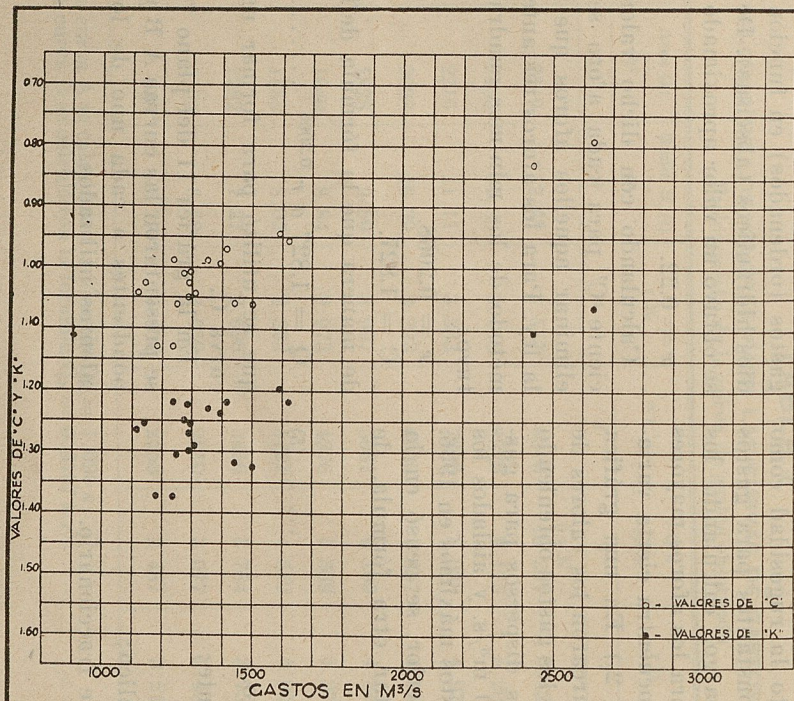
$$C = 1.827.$$

de manera que la fórmula definitiva es:

$$Q = 1.827 a r^{0.2068} \dots \dots \dots (6)$$

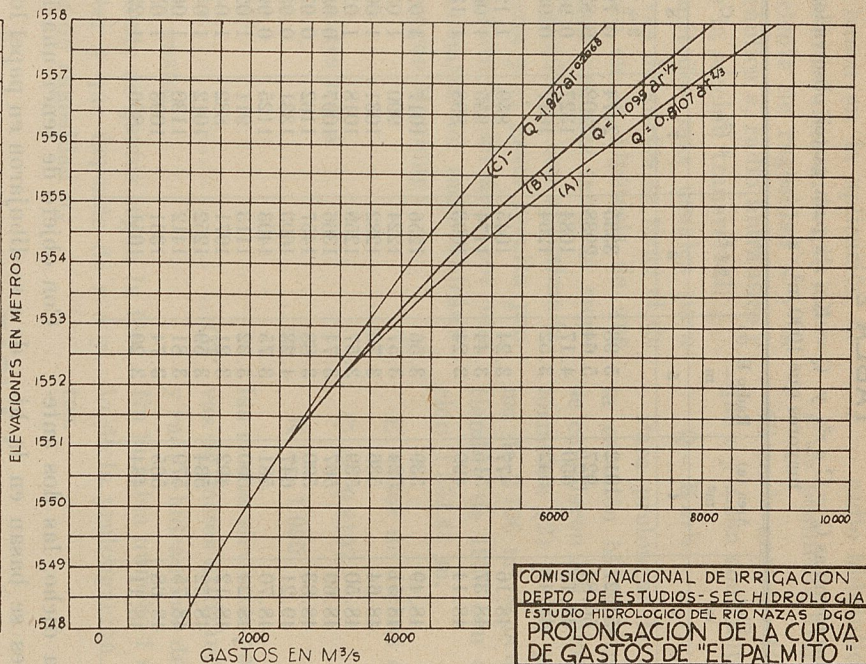
que se utilizó para formar una tercera curva C.

En la gráfica II del plano 701 - C - 866 se presentaron las curvas A B y C correspondientes a cada uno de los procedimientos utilizados.



GRAFICA I - VALORES DE "C" Y "K" PARA AFOROS CON GASTOS MAYORES QUE 1000 M³/s

Calcularon: M. SOLANO Y A. LIMÓN
 Dibujó: A. GARCÍA QUINTERO Revisó: A. GARCÍA QUINTERO



GRAFICA II - PROLONGACION DE LA CURVA DE GASTOS DE LA EST. HIDR. EL PALMITO

COMISION NACIONAL DE IRRIGACION
 DEPTO. DE ESTUDIOS - SEC. HIDROLOGIA
 ESTUDIO HIDROLOGICO DEL RIO NAZAS DGO
PROLONGACION DE LA CURVA DE GASTOS DE "EL PALMITO"

Conforme _____
 J. DEL DEPTO. A. BENASSINI

Aprobó: VOCAL EJECUTIVO _____

MEXICO D.F. JUNIO 1939

701-C-866

CURVA DE GASTOS EN LA SECCION
1 + 15

Descripción detallada del procedimiento.—El tramo del río Nazas en el cual se hizo el estudio se encuentra entre las secciones 1 + 15 y 11 + 00.

La sección 1 + 15 corresponde al sitio donde descargan los túneles y la 11 + 00 al sitio de la estación de aforos; se hicieron cortes transversales en las secciones 2 + 00, 3 + 00, 4 + 00, 5 + 00, 6 + 00, 7 + 00, 8 + 00, 8 + 80 y 10 + 00.

Con los datos topográficos se calcularon las curvas de áreas y radios hidráulicos en cada sección, datos indispensables para el procedimiento utilizado.

La curva de gastos en la Sección 1 + 15 se dedujo en la forma siguiente:

1º Con los datos del área, radio hidráulico, gastos para una elevación determinada en la sección 11 + 00 (Secc. de aforos) y suponiendo un valor de n , se calculó la única incógnita en la fórmula de Manning, S .

2º Con el valor de S y la distancia entre las secciones 11 + 00 y 10 + 00, se calculó la elevación del agua correspondiente al gasto considerado en la sección 10 + 00.

3º Con la elevación del agua en la 10 + 00 se obtuvieron el área y radio hidráulico correspondiente; con el mismo valor de n y aplicando la misma fórmula de Manning se calculó la pendiente S y con ella el tirante en la sección inmediata anterior 8 + 80.

4º Procediendo en igual forma en cada tramo se llegó finalmente a la sección 1 + 15.

Ejemplo.—Tomando como base la curva A prolongación de la curva de gastos de la estación hidrométrica El Palmito, aplicando la fórmula de Manning a las áreas y radios hidráulicos de cada sección y suponiendo un valor de $n = 0.053$ se tiene para

$$Q = 2706 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$\text{Elev.} = 1551.41 \text{ m}.$$

$$a = 1003 \text{ m}^2.$$

$$r = 6.07 \text{ m}.$$

$$n = 0.053.$$

y substituyendo estos valores en la fórmula de Manning:

$$2706 = \frac{1}{0.053} \times 1003 \times 6.07\% \times S^{1/2}$$

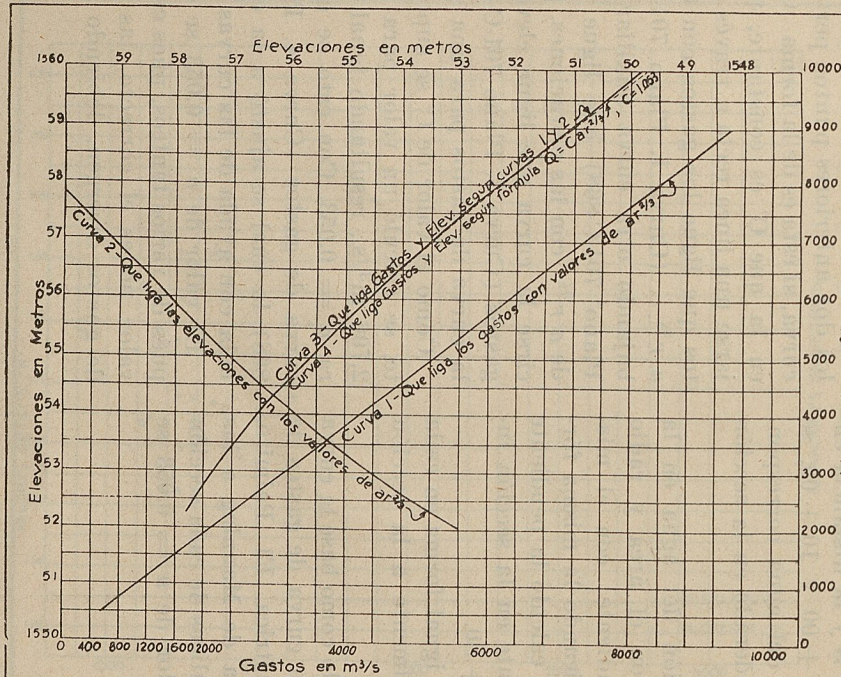
$$S = 0.001846.$$

Con esta pendiente y la distancia entre la sección 11 + 00 y la 10 + 00 se calculó la elevación del agua en esta última para el gasto de 2706 m³/s.; procediendo en igual forma para el tramo 8 + 80, 10 + 00, y para los tramos siguientes, se calculó finalmente la elevación del agua en la sección 1 + 15; en esta sección la elevación del agua es 1553.90 m. Haciendo las mismas operaciones para un gasto de 8,106 m³/s., la elevación en la sección 1 + 15 es 1559.91 m.

Para tener toda la curva de gastos se necesita repetir el proceso con gastos intermedios, lo cual es laborioso y como los dos anteriores puntos pertenecen a la curva, si ésta es de la forma $Q = C' a r^{2/3}$ en la que C' es constante, puede dibujarse una línea recta a través de dos puntos que ligue los gastos con el producto $a r^{2/3}$. (Curva 1. Plano 701-C-868.) Dibujando otra curva auxiliar (Curva 2. Plano 701-C-868) que ligue los valores de $a r^{2/3}$ con las elevaciones, puede deducirse la curva que ligue elevaciones con gastos (Curva 3. Plano 701-C-868) que es la curva de gastos para una sección.

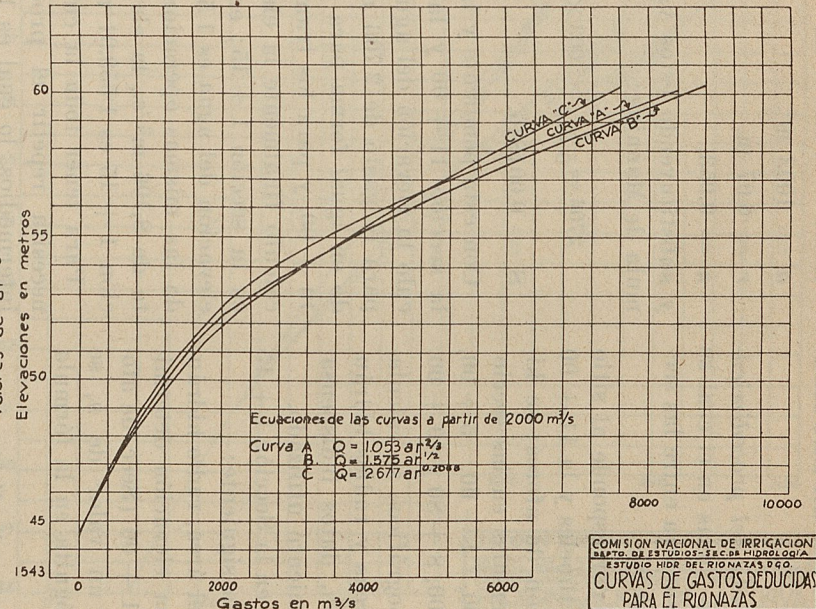
Como el valor de C' se supone constante, se calculó un valor para el gasto de 2,706 m³/s., resultando igual a 1.053 para $n = 0.053$. Con esto se calculó otra curva de gastos (Curva 4. Plano 701-C-868) la cual se ajustó a la curva calculada con ayuda de las curvas 1 y 2.

El valor de $n = 0.053$ se obtuvo después de varios tanteos, pues cuando dicho valor no es el correcto, las dos curvas de gastos divergen, debiendo ser iguales.



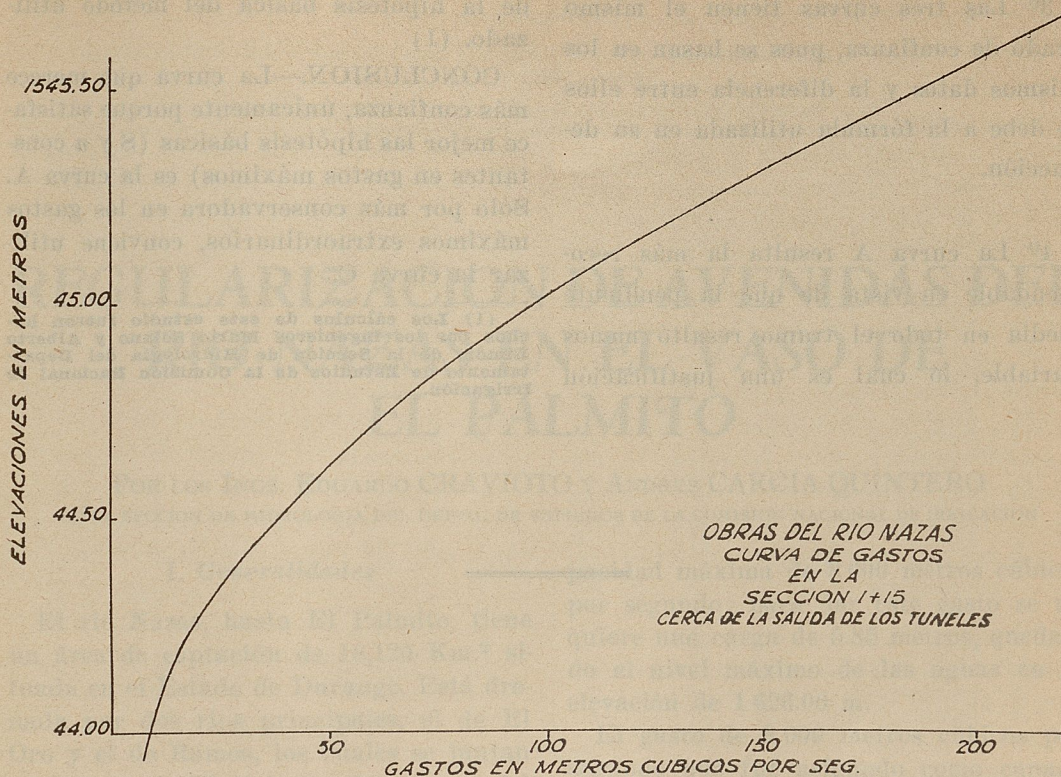
Calculo Calco
 Dibujo A GARCIA QUINTERO Reviso

DEDUCCION DE LA CURVA DE GASTOS EN LA SEC 1+15 BASADA EN LA CURVA "A" DE LA SEC 11+00



CURVAS DE GASTOS DEDUCIDAS PARA LA SEC 1+15 BASADAS EN LAS CURVAS "A", "B" Y "C" DE LA SEC 11+00 (Est Hdr. Palmito)

COMISION NACIONAL DE IRRIGACION
 DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS-SECCION HIDROLOGIA
 ESTUDIO HIDR. DEL RIONAZAS DGO.
CURVAS DE GASTOS DEDUCIDAS PARA EL RIONAZAS
 Conforme Jefe Depto. A. BENASINI
 Aprobado VOCAL EJECUTIVO
 MEX. D. F. 20-1958 701-C-868



Tomando como base las curvas A, B y C de la sección 11 + 00 y por medio del procedimiento descrito anteriormente, se determinaron las curvas A, B y C correspondientes a la sección 1 + 15. (Plano 701-C-868.)

Las ecuaciones correspondientes, en función de las áreas y los radios hidráulicos son:

Curva A' $Q = 1.053 a r^{2/3} n = 0.053$.

Curva B' $Q = 1.575 a r^{1/2} n = 0.045$.

Curva C' $Q = 2.677 a r^{0.2068} n = 0.040$.

Las tres anteriores ecuaciones corresponden a gastos desde 2,000 m³/s. en adelante. Con objeto de tener en forma aproximada también las alturas de agua para gastos de cero a 200 m³/s. se utilizó tanto la pendiente hidráulica observada durante el levantamiento topográfico; como la curva de gastos observada en la estación de aforo; se supuso que

para gastos variables de cero a 200 m³/s. el desnivel de $(1543.62 - 1543.30) = 0.32$ m. es constante, de manera que a las alturas de escala de la curva de gastos en la sección de aforo, se agregó el desnivel constante de 0.32 m. para obtener la curva de gastos en la sección 1 + 15. La unión entre las curvas de cero a 200 y 2,000 m³/s. en adelante, se hizo en forma gráfica que se cree no es incierta por contarse con dos puntos y la tendencia más o menos definida de la curva.

Discusión de las tres curvas.—Por el examen de las curvas del Plano 701-C-868 (Curvas de gastos deducidas para la Sec. 1 + 15) se observa lo siguiente:

1º La curva B da gastos mayores que las demás curvas, a partir del gasto 3,600 m³/s.

2º La curva A da los gastos más chicos hasta el gasto 4 800, a partir del cual la curva C es la que da los más chicos.

3º Las tres curvas tienen el mismo grado de confianza, pues se basan en los mismos datos y la diferencia entre ellos se debe a la fórmula utilizada en su deducción.

4º La curva A resulta la más recomendable en vista de que la pendiente media en todo el tramo resultó menos variable, lo cual es una justificación

de la hipótesis básica del método utilizado. (1)

CONCLUSION.—La curva que merece más confianza, únicamente porque satisface mejor las hipótesis básicas (S y n constantes en gastos máximos) es la curva A. Sólo por más conservadora en los gastos máximos extraordinarios, conviene utilizar la curva C.

(1) Los cálculos de este estudio fueron hechos por los ingenieros Mario Solano y Alberto Limón, de la Sección de Hidrología del Departamento de Estudios de la Comisión Nacional de Irrigación.

