

REGULARIZACION DE AVENIDAS DEL RIO NAZAS EN EL VASO DE EL PALMITO

POR LOS INGS. EDUARDO CRAVIOTO Y ANDRES CARCIA QUINTERO

DE LA SECCION DE HIDROLOGIA DEL DEPTO. DE ESTUDIOS DE LA COMISION NACIONAL DE IRRIGACION

I. Generalidades

El río Nazas, hasta El Palmito, tiene un área de captación de 18,120 Km.² situada en el Estado de Durango. Está drenada por dos ríos principales, el de El Oro y el de Ramos, los cuales se juntan en el vaso de El Palmito. La cuenca del río Nazas está expuesta a las perturbaciones ciclónicas del Océano Pacífico, las cuales logran pasar la Sierra Madre Oriental y producen en su cuenca fuertes lluvias que han determinado las avenidas máximas registradas en este río.

A fin de estar al margen de las eventualidades del aprovechamiento de las aguas sin regularizar del río Nazas, se está construyendo en la Boquilla de El Palmito una presa de tierra, la cual, en su tipo, será la más alta del mundo. (1) La capacidad del vaso para fines de irrigación, generación de energía y depósito de azolves es de 3,000 millones de metros cúbicos.

El diseño de la obra de excedencias consiste en un vertedor con una longitud de 264.19 metros, de cresta libre con ca-

pacidad máxima de 8 000 metros cúbicos por segundo; para dar este gasto se requiere una carga de 5.85 metros, quedando el nivel máximo de las aguas en la elevación de 1 626.00 m.

El gasto de 8 000 metros cúbicos por segundo que fué asignado como capacidad del vertedor tiene una frecuencia media de 1 000 años según los nuevos estudios. Dicho gasto fué asignado sin tomar en cuenta el efecto regulador del vaso que es muy eficiente en este aspecto hidrológico porque puede reducir prácticamente a la mitad cualquier gasto máximo que se presente en las avenidas probables.

II. Datos para hacer estudios de avenidas probables del río Nazas en El Palmito

a). *Datos hidrométricos.*—A 1.4 Km. aguas abajo del sitio de la cortina de la presa de El Palmito, se encuentra localizada la estación hidrométrica del mismo nombre, de la cual se tienen datos desde el año de 1925. En la Sección de Hidrología se hizo una revisión de todos estos datos, recalculándose desde el año de 1929, no pudiéndose hacer lo mismo de 1925 a 1928 debido a la falta de datos necesarios. Desde 1929 se tienen lecturas de escala y aforos hechos con molinete y

(1) La cortina más alta en proyecto en la fecha de este estudio (junio 1939), era la de Mud Mountain sobre el río White en el Estado de Washington, E. U. A., la cual estaba proyectada para 400 pies de altura (122 m.) con taludes simétricos de 3:1. (Véase Eng. News-Record, mayo 18 de 1939, pág. 2684.)

TABLA 1

Gastos máximos anuales observados en el Río Nazas a la altura de la Presa de San Fernando.
Período 1892 - 1937

(Datos tomados del informe del Ing. F. Allen de fecha agosto 1938)

Año	Mes	Día	Gasto máx. instantáneo m ³ /s.	Año	Mes	Día	Gasto máx. instantáneo m ³ /s.
1892	Septiembre	12	1 474	1915	Septiembre	1	956
93	Septiembre	7	318	16	Septiembre	18	1 470
94	Septiembre	24	825	17	Septiembre	20	4 286
95	Agosto	23	405	18	Agosto	28	670
96	Septiembre	23	420	19	Septiembre	25	1 729
97	Agosto	24	2 048	1920	Septiembre	5	1 292
98	Septiembre	13	418	21	Julio	19	205
99	Julio	4	165	22	Septiembre	12	143
1900	Agosto	2	498	23	Septiembre	14	1 139
01	Septiembre	14	200	24	Septiembre	15	945
02	Septiembre	11	400	25	Septiembre	7	877
03	Septiembre	29	2 305	26	Enero	4	2 062
04	Noviembre	29	485	27	Octubre	3	1 049
05	Septiembre	22	1 506	28	Septiembre	24	2 796
06	Agosto	31	986	29	Agosto	1	92
07	Octubre	17	468	1930	Octubre	29	763
08	Septiembre	9	407	31	Febrero	17	1 088
09	Agosto	31	960	32	Septiembre	5	1 984
1910	Septiembre	18	321	33	Septiembre	11	429
11	Octubre	21	513	34	Julio	17	522
12	Septiembre	14	975	35	Septiembre	19	1 833
13	Septiembre	8	674	36	Septiembre	29	2 710
14	Agosto	17	427	1937	Septiembre	20	1 262

desde 1936, además de estos datos, se tienen registros del limnógrafo. Por lo anterior se puede decir que sólo se tienen datos dignos de confianza en la estación hidrométrica de El Palmito durante el período 1929-1938.

Como un ciclo de 10 años es muy corto para deducir las crecientes máximas que pueden ocurrir en el río Nazas y debido a la información que se tiene de una avenida ocurrida en el año de 1917 la cual tuvo un gasto máximo mayor de 4 000 metros cúbicos por segundo en San Fernando, se creyó conveniente ampliar el período considerado tomando en cuenta los gastos máximos anuales del río Nazas a la altura de la presa de San Fernando desde 1891 hasta 1937 consignados en la "Gráfica de las Avenidas del Río Nazas", del estudio del Ing. Francisco Allen, de fecha agosto de 1938 y titulado "Por el Cañón de El Palmito, Dgo., sí pasa el 80% de los escurrimientos totales de la cuenca del río Nazas". (Tabla N° 1.)

No obstante que los datos citados para el período 1892-1937 corresponden a San Fernando, punto situado a 195 kilómetros aproximadamente aguas abajo de El Palmito, las cifras de avenidas constituyen una base segura para investigar las posibilidades que tiene la cuenca para producir avenidas, los resultados que se obtengan pueden considerarse dignos de confianza, ya que el período mismo que comprende (47 años) garantiza la firmeza de las deducciones de los métodos de análisis.

Para tomar en consideración los datos del Ing. Allen se obtuvo la relación de los gastos máximos anuales en El Palmito con los de la presa de San Fernando para el período 1929-1937. (Tabla 2.) La relación media de estos 9 años fué de 1.160; pero se desechó la relación correspondiente al año de 1929, la cual fué de 1,696 debido a que tuvo una desviación mayor del cuádruplo de la desviación media de todas las demás relaciones con respecto

a la relación promedio de las mismas. Por lo tanto, la relación aceptada fué de 1.093 que corresponde a la relación media observada durante el período 1930-1937. En la tabla 3 se presentan los datos de los gastos máximos tanto en San Fernando como en El Palmito.

Los gastos de El Palmito resultaron casi siempre mayores que los de San Fernando, lo cual puede ser atribuido al efecto regulador del río que abate la cresta de las avenidas. El abatimiento sería mayor si el río San Juan, el Covadonga, el arroyo del Cobre y el arroyo de Cuencamé, que entran abajo de El Palmito, ayudan a mantener el gasto máximo prácticamente constante hasta San Fernando.

La reducción de gasto que podría resultar de las derivaciones para riego del tramo Palmito-San Fernando es tan rela-

tivamente pequeña durante las grandes avenidas, que no tiene importancia en las estimaciones.

En el informe del Ing. Allen se tienen datos para el período 1891-1937, pero en este estudio no se consideró el año de 1891 porque en la misma gráfica se dice que son datos dudosos.

Con los datos antes mencionados se calcularon los gastos máximos anuales del río Nazas en El Palmito para el período 1892-1928 y considerando el período observado de 1929-1938, se tuvo un ciclo de datos de 47 años (1893-1938) en el cual se basó el cálculo de los gastos máximos probables con mayor seguridad que considerando únicamente el período de 10 años de observaciones directas.

b). *Datos pluviométricos.*—Para la aplicación del método del Hidrógrafo-Unidad se tomaron los datos de lluvias diarias proporcionados por el Servicio Meteorológico Mexicano para las siguientes estaciones.

Dentro de la cuenca.

Datos completos: Guanaceví, Tepehuanes y Santiago Papasquiari, en el Estado de Durango.

Datos incompletos: (Faltando en algunos años.) La Concepción, Dgo.

Fuera de la cuenca.

Datos completos: San Juan del Río, Lerdo, Nazas, Cuencamé, Guatimapé, El Rodeo, en el Estado de Durango.

Datos incompletos: Durango, Dgo.; Basis, Dgo.; Las Truchas, Dgo.; Parral, Chih.

c). *Datos topográficos.*—Plano de la cuenca del río Nazas hasta El Palmito y la curva de capacidades del vaso.

d). *Datos del proyecto de cortina y vertedor.*—Los datos constructivos del vertedor y de la cortina son los siguientes:

TABLA 2

Regularización de avenidas máximas en el vaso de El Palmito

Relación entre los gastos máximos registrados en el Palmito y en San Fernando
Período 1929-1938

Año	Gastos máximos aforados en la Est. Hidrométrica El Palmito m ³ /s.	Gastos máximos del Río Nazas a la altura de la Presa S. Fdo. m ³ /s.	Relación Palmito Fernández 4 = (2) : (3)
1	2	3	
1929	156	92	1.696
1930	937	763	1.228
1931	1 499	1 088	1.378
1932	1 994	1 984	1.005
1933	494	429	1.152
1934	566	522	1.084
1935	1 452	1 833	0.792
1936	2 706	2 710	0.999
1937	1 398	1 262	1.108
Prom. de los 9 años			1.160
Prom. sin considerar 1929			1.093

Tipo de vertedor, de cresta libre.

Elevación de la cresta del cimacio.....	1,620.15 m.
Longitud del vertedor.	264.19 m.
Elevación máxima del nivel del agua.....	1,626.00 m.
Carga disponible.	5.85 m.
Gasto máximo desfogable por el vertedor.....	8,000.00 m ³ /s.
Almacenamiento para riego.	3,000.00 millones m ³
Elevación del nivel del agua para almacenar 3,000 millones de metros cúbicos.	1,620.15 m.
Almacenamiento correspondiente a la elevación 1,626.00 metros.	4,025.00 millones m ³
Almacenamiento disponible para la regularización de avenidas.	1,025.00 millones m ³

III. Estimación de los gastos máximos probables

Con el registro de datos hidrométricos disponibles para el río Nazas, ha sido posible aplicar no solamente el conocido método de Hazen-Foster, a la determinación de los gastos máximos probables, sino también otros procedimientos estadísticos.

No se dan aquí las descripciones detalladas de estos métodos porque no es ese el objetivo de este estudio, pero al final

presenta una bibliografía que puede ser consultada.

a). *Método de probabilidades Hazen-Foster aplicado al período 1929-1938.*

Tomando como datos los gastos máximos observados cada año en El Palmito, (Tabla 3) se calcularon los coeficientes de variación y desviación que resultaron:

Coefficiente de variación.....	CV = 0.5962
Coefficiente de desviación.....	CS _c = 0.2433
Coefficiente de dev. ajustados. CS _a =	0.450 y 0.389
Gasto promedio.....	1282 m ³ /s

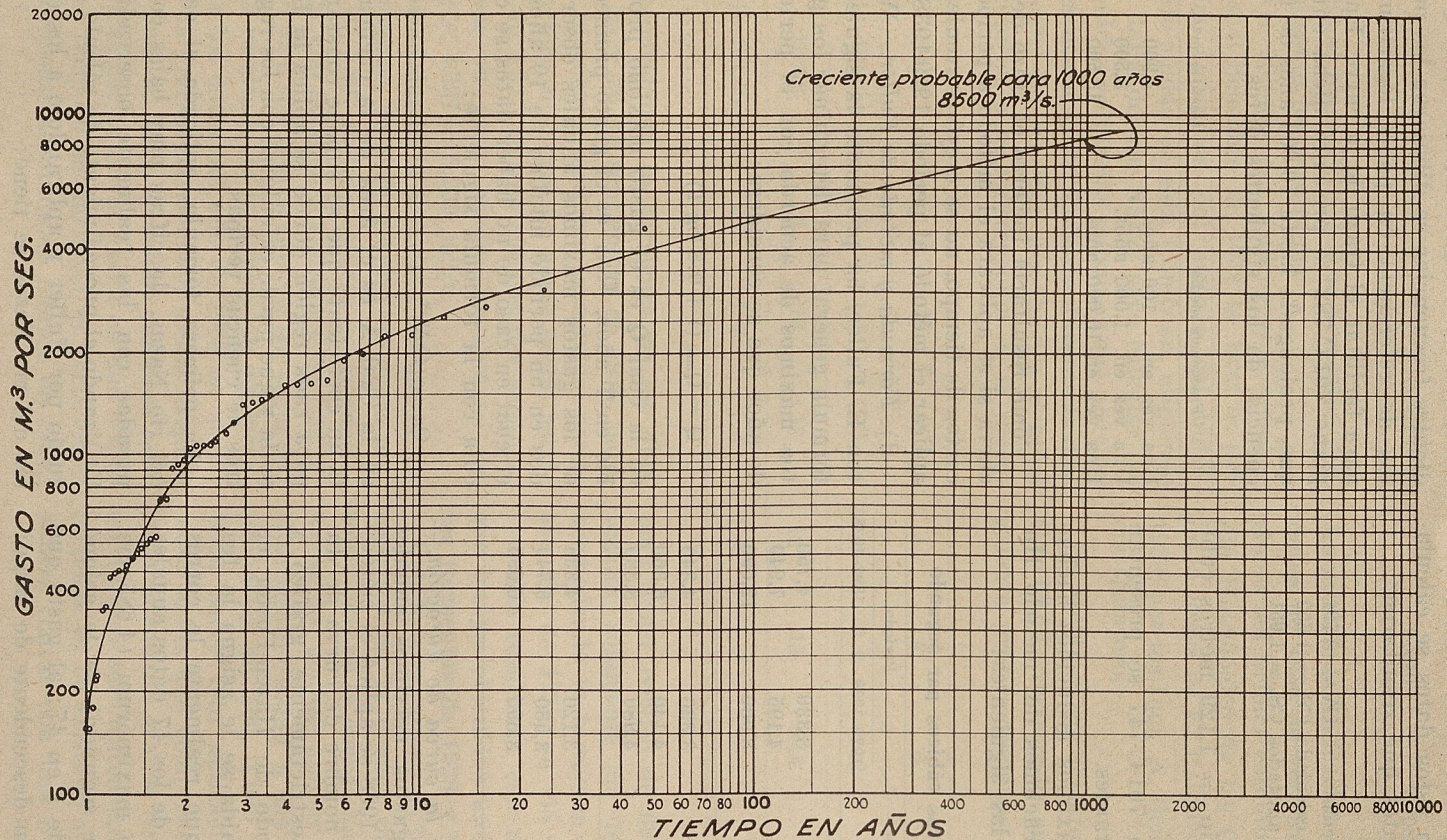
TABLA 3

Gastos máximos anuales en el Río Nazas a la altura de la estación hidrométrica "El Palmito"
Período 1892-1938

Año	Mes	Día	Gasto máx. instantáneo m ³ /s.	Año	Mes	Día	Gasto máx. instantáneo m ³ /s.
1892	Septiembre		1 611	1915	Agosto		1 045
93	Septiembre		348	16	Septiembre		1 607
94	Septiembre		902	17	Septiembre		4 685
95	Agosto		443	18	Agosto		732
96	Septiembre		459	19	Septiembre		1 890
97	Agosto		2 238	1920	Septiembre		1 412
98	Septiembre		457	21	Julio		224
99	Julio		180	22	Septiembre		156
1900	Julio		544	23	Septiembre		1 245
01	Septiembre		219	24	Septiembre		1 033
02	Septiembre		437	25	Septiembre		959
03	Septiembre		2 519	26	Enero		2 254
04	Noviembre		530	27	Octubre		1 147
05	Septiembre		1 646	28	Septiembre		3 056
06	Agosto		1 078	29	Julio	29	156
07	Octubre		512	1930	Octubre	28	937
08	Septiembre		445	31	Febrero	16	1 499
09	Agosto		1 049	32	Septiembre	7	1 994
1910	Septiembre		351	33	Septiembre	10	494
11	Octubre		561	34	Julio	16	566
12	Septiembre		1 066	35	Septiembre	17	1 452
13	Septiembre		737	36	Septiembre	27	2 706
14	Agosto		467	37	Septiembre	19	1 398
				1938	Septiembre	19	1 619

Los datos del período 1892-1928 fueron calculados multiplicando los gastos máximos observados en la Presa San Fernando, por el factor 1.093 que es la relación Palmito-S. Fernando observada en los gastos máximos en el período 1930-1937.

Los datos del período 1929-1938 fueron observados directamente en la estación hidrométrica El Palmito.



Formó: *M. Arenas* Calco. *J. Barra*
 M. ARENAS J. BARRA
 Verificó: *Juan Barra* Revisó: *Juan Barra*
 JEFE DE HIDROLOGIA

COMISION NACIONAL DE IRRIGACION
 DEPTO. DE ESTUDIOS - SECC. DE HIDROLOGIA.
 Estudios hidrológicos del Vertedor
 de la Presa "EL PALMITO"
CURVA DE DURACION
 Mét. Crecientes máx. anuales. - 1892-1938

Conforme: JEFE DEL DEPTO. DEPTO. CONSULTIVO

CONTROL TEC. Y ADM. Aprobó: VOCAL EJECUTIVO

MEX. D. F.
 MAR. 1939

701-C-782

b). *Método de probabilidades Hazen-Foster, aplicado al período 1892-1938.*— En la tabla N° 3 se presentan los gastos máximos tanto estimados como observados desde 1892 hasta 1938 a la altura de El Palmito. Con estos datos se calcularon los coeficientes que resultaron:

Coefficiente de variación. CV = 0.794
 Coeficiente de desv. calculado. CS_c = 1.652
 Coeficiente de desv. ajustados. CS_a = 1.951

Gasto promedio = 1,129 metros cúbicos por segundo.

En la gráfica 701-C-747 se presentan las curvas resultantes.

Los gastos máximos deducidos haciendo las dos aplicaciones del método Hazen-Foster, son las siguientes:

Gasto en metros cúbicos por segundo

Factores	Frecuencia media en años	Período	
		1929-1938	1892-1938
Hazen.	100	3,330	4,750
	1,000	4,195	7,940
	10,000	5,000	12,090
Foster.	100	3,320	4,340
	Tipo III. 1,000	4,140	6,360
	10,000	4,880	8,380
Foster.	100	3,120	4,335
	Tipo I. 1,000	3,530	5,740
	10,000	3,695	6,695

c). *Método de la curva de duración.*— Utilizando los gastos máximos anuales del período 1892-1938 se aplicó el método conocido con el nombre de curva de duración que es estrictamente gráfico y difiere del método de Hazen-Foster en que a cada avenida se le asigna la frecuencia media que realmente le corresponde. Es decir, de los 47 datos anuales, el gasto máximo maximórum (4 685 metros cúbicos por segundo) se le asignó una frecuencia de 1 en 47; al gasto que le sigue en orden descendente de magni-

tud se le asignó una frecuencia de 2 en 47 o sean 23.5 años; procediendo en igual forma hasta el gasto mínimo al que se le asigna una frecuencia de 47 en 47 o sea un año. Con los gastos y sus correspondientes frecuencias se dibujaron los puntos de referencia en papel logarítmico para facilitar el trazo de la curva. En el plano 701-C-782 se presenta dicha curva que, prolongada hasta 10 000 años de frecuencia, da los siguientes datos:

Frecuencia media	Gasto en m ³ /s.
Una vez en 100 años.	4,900
Una vez en 1,000 años.	8,500
Una vez en 10,000 años	13,500

Como resultaría incierto el trazo de la curva si se aplicara el método a períodos cortos de tiempo, no se creyó conveniente aplicar el método al período 1929-1938.

d). *Fórmula y método de Fuller.*— Weston E. Fuller, ha propuesto la siguiente fórmula general para determinar los gastos máximos de acuerdo con el período de años que se considera.

$$Q = Q_{med} (1 + 0.8 \log T) \dots \dots \dots (1)$$

en la cual Q es el gasto máximo probable en T años, Q_{med} es el gasto promedio de los gastos máximos anuales observados en un período mínimo de 10 años y el cual en caso de no haber datos se calcula con la fórmula siguiente:

$$Q_{med} = C A^{0.8} \dots \dots \dots (2)$$

en la cual A es el área de la cuenca y C un coeficiente que se supone constante para cada región donde se aplica la fórmula y que puede calcularse con los registros de cuencas vecinas.

La primera fórmula, aplicada al caso del río Nazas, da cifras muy bajas comparadas con las realmente observadas. Utilizando el procedimiento de cálculo seguido por Fuller y aplicándolo a los datos del río Nazas se tiene:

Ecuación	Período considerado	Gastos máximos		
		100 años	1 000 años	10 000 años
Metros cúbicos por segundo				
$Q = Q_{med} (1 + 0.8 \log T)$	1929-938	3,333	4,359	5,384
	1892-938	2,935	3,839	4,742
$Q = Q_{med} (1.08 + 1.08 \log T)$	1929-938	4,154	5,538	6,923
$Q = Q_{med} (1 + 1.82 \log T)$	1892-938	5,240	7,300	9,350

En el plano 701-C-830 se presentan gráficamente los resultados.

e). *Método del Hidrógrafo-Unidad.*— Desde diciembre de 1937 se hizo la primera aplicación del método del hidrógrafo-unidad en esta Comisión, eligiendo los datos del río Nazas para calcular las avenidas ordinarias máximas que podrían presentarse en El Palmito durante la desviación del río por los túneles y tajos necesarios a la construcción de la presa.

Ampliando la aplicación del método a los datos de 1938 se verificaron las conclusiones del primer estudio titulado "Estudio Hidrológico de las Obras de Desvío de la Presa de El Palmito", de febrero de 1938, por los Ings. A. Benassini y A. García Quintero.

Se acepta el coeficiente de creciente de $C = 69.6\%$ registrado en 1936 y la siguiente gráfica-distribución media.

DIAS.	1	2	3	4	5	6	7	8
% de distribución.	0	1.3	47.5	19.4	9.6	5.2	3.5	2.7
DIAS.	9	10	11	12	13	14	15	16
% de distribución.	2.1	1.7	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9

Acomodando la tormenta de los días 24, 25 y 26 de septiembre de 1936, para que la cuenca recibiera la máxima precipitación, se obtuvo un gasto medio máximo de 4 327 metros cúbicos por segundo o sea un gasto medio instantáneo de $1.22 \times 4,327 = 5,239 \text{ m}^3/\text{s}$.

Acomodando la tormenta del día 21 de septiembre de 1928, resulta un gasto medio de 4 807 metros cúbicos por segundo, o sea uno máximo instantáneo de $1.22 \times 4,807 = 5,865$ metros cúbicos por segundo.

El resultado de la aplicación del método a los datos del año de 1938 no modificó la gráfica-distribución media aceptada, pues no hubo avenidas aisladas producidas por la lluvia media en uno o dos días, tampoco se modificó el coeficiente de creciente aceptado en febrero de 1938,

pues aquel resultó de 69.6% y en 1938 resultó solamente de 50.4%. Además, acomodando la tormenta que produjo la avenida de 1938, se vió que la avenida probable resultaría con un gasto menor que los ya obtenidos anteriormente con las tormentas de 1928 y 1936.

Debido a la escasez de los datos pluviométricos en la cuenca del río Nazas y sobre todo en la cuenca hasta El Palmito, no se ha podido aplicar el método del Hidrógrafo-Unidad a las lluvias medias probables en 100, 1 000 y 10 000 años. Para hacer esta aplicación se requiere tener datos que comprendan un período suficientemente grande de tiempo y para un número suficientemente grande de estaciones. Si no existe lo anterior, se necesitaría contar con una o dos estaciones

representativas de la cuenca o subcuencas con las cuales se podrían estimar las lluvias medias y posteriormente aplicar el método. El carácter mismo de las lluvias en esta cuenca hace difícil su estudio, pues mientras que en el río San Juan, Tamps., por ejemplo, las grandes avenidas son producidas por las tormentas ocurridas en dos o cuatro días, en la cuenca del río Nazas la lluvia que produce las crecientes ocurre en temporales que duran a veces semanas.

f). *Gastos máximos estimados por medio de fórmulas empíricas o por medio de curvas basadas principalmente en el área de la cuenca.*

Fórmula de Creager y Fuller.—Creager, basándose en un gran número de avenidas máximas registradas en los Estados Unidos de América, dedujo una fórmula que liga los gastos con la frecuencia, el área de la cuenca y una constante que depende de las características del área de drenaje. En su libro "Hydroelectric Handbook", pág. 54, aparecen las curvas para una frecuencia de 10, 100, 1 000 y 10,000 años suponiendo una constante $C = 6\ 000$ que corresponde a ríos "Productores" de grandes avenidas. En la misma gráfica se tienen las curvas de la fórmula de Fuller para 100 y 1 000 años de frecuencia y para una constante $N = 70$ y 100 respectivamente. Esta constante N también depende de las características de la cuenca.

Los resultados con estas curvas para el caso en sentido, se muestran en la tabla número 4.

Fórmula de Dredge y Burge.—Esta fórmula fué derivada con datos de la India y depende del área de drenaje (M) y de la longitud de la cuenca (L). Traducida al sistema métrico decimal es:

$$Q = 19.24 M/L$$

En la tabla 4, se da el gasto máximo para el caso del Nazas.

Fórmulas de Myers. — Esta fórmula fué publicada en el "Special Flood Report", de la International Boundary Commission de septiembre y octubre de 1932, y se basa en crecientes máximas observadas en Estados Unidos de América.

Fórmulas de Gutmann y C. C. Inglis. —Estas fórmulas fueron publicadas en el Engineering News-Record del 8 de julio de 1937 y son:

Gutmann.

$$q = \frac{140.14}{(A + 12.95)^{\frac{1}{2}}}$$

C. C. Inglis.

$$q = \frac{123.194}{(a + 10.36)^{\frac{1}{2}}}$$

q , es el gasto máximo por kilómetro cuadrado de área drenada. Los resultados obtenidos al aplicar estas fórmulas se dan en la tabla 4.

Determinación del gasto máximo con curvas derivadas para los Estados Unidos de América.—La región de los Estados Unidos de América controlada por el Bureau of Reclamation (de los Estados de Oklahoma, Kansas, Nebraska, N. O., Dakota hacia el Oeste), se clasificó en 5 zonas denominadas A, B, C, D, y E, en cada una de las cuales se determinó la curva envolvente de los gastos máximos observados. Se creyó que se podría tomar la curva de la zona C para la cuenca del Nazas por corresponder a regiones climatológicamente parecidas a las de la cuenca; para una cuenca de... 18 120 kilómetros cuadrados, la curva de la zona C da un gasto de 6 320 metros cúbicos por segundo.

g). *Resumen y gastos máximos aceptados.*—Los resultados obtenidos al aplicar las fórmulas empíricas (Tabla 4) dan gastos muy grandes comparados con los obtenidos al seguir métodos basados en los datos hidrométricos y varían desde un gasto de 8 000 metros cúbicos por segun-

TABLA 4

REGULARIZACION DE AVENIDAS MAXIMAS EN EL VASO DE EL PALMITO

Cálculo de los gastos máximos deducidos con fórmulas de varios autores basados principalmente en el área de la cuenca

Area de la Cuenca = A = M = 18 120 Km²

Autor	Fórmulas	Referencia	Periodos de tiempo en años			Gasto máximo
			100	1 000	10 000	m ³ /s.
1	2	3	4	5	6	7
Creager C = 6 000	$Q_{max.} = C \times 0.0176 \times A^{0.5} \left[\frac{2 - e^{-0.03 A^{0.3}} (1 - LO.1T)}{3} + \frac{LO.1T}{3} \right]$	“Saltos de agua y Presa de embalse” por José L. Gómez Navarro	9 200	12 000	14 500	
Fuller	$Q_{max.} \times N \times 0.013 \times A^{0.8} (1 + 0.8 LT) (1 + 2.66 A^{-0.3})$	“Saltos de agua y Presa de embalse” por José L. Gómez Navarro (G-C-693)	8 000 (N = 70)	15 000 (N = 100)		
Myers	$q = 175.95 M^{-1/2}$	“Special Flood Report” International Boundary Commission, Sep. y Oct. de 1932-(2409-C-66)				23 600
Fuller	$Q_{max.} = Q_{med.} (1 + 0.8 LT)$	Geological Survey Water-Supply paper 771	2 935	3 839	4 742	
Gutmann	$q = \frac{140.14}{\sqrt{A + 12.95}}$	Eng. News-Record 8 de Julio de 1937. (G-C-1355)				18 120
C. C. Inglis	$q = \frac{123.194}{\sqrt{A + 10.36}}$	Eng. News-Record 8 de Julio de 1937. (C-G-1355)				16 650
Dredge o Burge	$Q = 19.24 \frac{M}{L^{2/3}}$ L = Long. de la cuenca	Floods in the United States Geological Survey Water-Supply paper 771				8 000

do (Dredge o Burge), hasta uno de... 23,600 metros cúbicos por segundo (Myers). Como se dijo antes, las fórmulas empíricas sólo deben emplearse en las regiones para las que fueron determinadas o en otras regiones cuando no se tienen datos hidrológicos, en cuyo caso dichas fórmulas sirven para dar una tosca idea del gasto máximo probable. Por lo anterior, los gastos obtenidos con fórmulas empíricas no se aceptaron para la cuenca del Nazas.

La aplicación del método del Hidrógrafo-Unidad, no puede servirnos para sacar conclusiones debido a que sólo se pudo estudiar para un período corto de tiempo (1929-1938), y a la imposibilidad de calcular las lluvias medias probables.

Los métodos de Hazen-Foster, Fuller y de la Curva de Duración aplicado al período 1892-1938, merecen la misma confianza, ya que todos los casos se basan en los datos hidrométricos locales. Los resultados obtenidos al aplicar estos métodos concuerdan bastante para una frecuencia de 100 años; pero para una frecuencia de 1,000 y 10,000 las diferencias ya son muy notables. Con la fórmula de Fuller y, por lo tanto, con el método de Fuller, se obtienen gastos máximos maximorum probables y con los otros métodos se obtienen gastos que serán "iguales o excedidos" y, sin embargo, en este caso particular, al aplicar el método de Fuller al período 1892-1938, sólo el gasto para una probabilidad de 100 años

TABLA 5

REGULARIZACION DE AVENIDAS MAXIMAS EN EL VASO DE EL PALMITO

Gastos máximos probables deducidos de los datos hidrométricos

Caso	Método empleado	Considerando el período 1929 - 1938			Considerando el período 1892 - 1938*		
		Frecuencia media en años					
		100	1 000	10 000	100	1 000	10 000
		Gasto en metros cúbicos por segundo					
1	2	3	4	5	7	8	9
A	Hazen.....	3 330	4 195	5 000	4 750	7 940	12 090
B	Foster - Tipo III.....	3 320	4 140	4 880	4 340	6 360	8 380
C	Foster - Tipo I.....	3 120	3 530	3 695	4 335	5 740	6 695
D	Curva de duración.....	.....	.....	.....	4 900	8 500	13 500
E	Fuller.....	.....	.....	.....	5 240	7 300	9 350
	$Q_{max} = Q_{med} (1 + 1.82 \log. T)$.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
E	Fuller.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	$Q_{max} = Q_{med} (1.08 + 1.08 \log. T)$	4 154	5 538	6 923	.....	.....	.....
		Promedio			4 713	7 168	10 003
		Gastos máximos aceptados.			4 700	7 200	10 000

Aplicando el método del Hidrógrafo-Unidad para el período de datos 1929-38 se obtuvo un gasto máximo instantáneo de $5\ 279\ m^3/s$

(Acomodando la cuenca para obtener la máxima precipitación con las curvas isoyéticas de los días 24, 25 y 26 de septiembre de 1936).

*Los gastos máximos anuales para el período 1892-928 se obtuvieron multiplicando por 1.093 (relación observada durante el período 1929-37) los gastos máximos en la Presa San Fernando consignados en el informe del Ing. Francisco Allen titulado "Por el cañón del Palmito, Dgo. si pasa el ochenta por ciento de los escurrimientos totales de la cuenca del Río Nazas".

fué más grande que los demás, pues para una frecuencia de 1,000 y 10,000 años se obtuvo un gasto casi igual al promedio de los otros.

En la tabla 5, se da un resumen de los resultados obtenidos con los métodos de Hazen-Foster, Fuller y con el de la Curva de Duración, en el plano 701-C-817 se presenta una comparación de las curvas correspondientes.

Por lo anteriormente expuesto, se creyó conveniente aceptar como gastos máximos probables para diferentes probabilidades, los promedios de los gastos obtenidos al aplicar los métodos de Hazen, Foster, Tipo I y Tipo II, Fuller y Curva de Duración al período de datos 1892-1938.

Los gastos probables aceptados son:

Para 100 años . . .	4,700 m ³ /s.
Para 1,000 años . . .	7,200 „
Para 10,000 años . . .	10,000 „

IV. CARACTERISTICAS DE LAS AVENIDAS MAXIMAS PROBABLES

Hidrógrafos correspondientes a los gastos máximos aceptados.—De cuatro maneras se intentó determinar la forma de los hidrógrafos correspondientes a los gastos máximos.

1ª Se dibujaron todas las crecientes máximas anuales observadas en El Palmito, durante el período 1929-1938. Dibujándose juntas todas estas crecientes teniendo como guía la abscisa correspondiente al gasto máximo, se formó un hidrógrafo medio.

2ª Siguiendo un procedimiento igual al del caso anterior, pero tomando en cuenta sólo las crecientes de 1935 a 1938 que son las más grandes y las más dignas de confianza, pues se tienen registros de limnógrafo desde 1936, se trazó otro hidrógrafo medio.

3ª Se formó una “Gráfica-Distribución” relacionando los gastos medios diarios con el gasto máximo instantáneo

tomando en cuenta las crecientes aisladas que sirvieron para determinación de los porcentos de distribución.

4ª Se incrementó la creciente observada en septiembre y octubre de 1936, la cual es la de mayor gasto instantáneo (2,706 m³), en todo el período 1929-1938.

Se decidió tomar la forma de esta creciente por ser la máxima observada en la estación hidrométrica de El Palmito, por estar precedida de una creciente, con gasto máximo de la mitad del “Peak”, que es más o menos la forma en que se presentan las grandes crecientes. Con esta forma se está dentro de la seguridad pues se tiene un gran volumen de avenida, por no quedar muy bien definida la forma de la avenida con los tres métodos.

Se determinaron los porcentos a cada gasto instantáneo de la creciente de 1936, con respecto al gasto máximo de 2,706 metros cúbicos por segundo, y dichos porcentos se multiplicaron por los gastos máximos probables para 100, 1,000 y 10,000 años, obteniéndose así los gastos de los hidrógrafos correspondientes a dichos gastos máximos probables.

V. ESTUDIOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL VASO Y VERTEDOR DE EL PALMITO, AL PASO DE LAS AVENIDAS MAXIMAS PROBABLES.

5. *Regularización de avenidas máximas probables del río Nazas en el Vaso de El Palmito.*—Como ya se dijo en la segunda parte de este informe del vertedor, actualmente está proyectado con los siguientes datos:

Elevación de la cresta del cimacio.	1,620.15 m.
Longitud del vertedor.	264.19 „
Carga máxima.	5.85 „
<i>Tipo de vertedor, de cresta libre.</i>	
Gasto máximo desfogable.	8,000 m ³ /s.

TABLA 6

REGULARIZACION DE AVENIDAS MAXIMAS EN EL VASO DE EL PALMITO

Resumen de los funcionamientos del Vaso al pasar las avenidas máximas probables

Datos:

Vertedor de cresta libre
Elevación de la cresta del cimacio 1620.15 m.
Fórmula empleada $Q=2.14 L H^{3/2}$

Caso	Longitud del vertedor — m	Frecuencia media en años	Gasto máximo del hidrógrafo de entradas considerado — m ³ /s	Volumen máximo retenido (considerando que se encuentra llena la capacidad para riego al empezar la avenida) — Millones m ³	Elevación máxima del nivel del agua retenida* — m	Gasto máximo desfogado — m ³ /s
1	2	3	4	5	6	7
1-A.....	264.19	10 000	10 000	3 720	1 624.52	5 160
1-B.....	264.19	1 000	7 200	3 510	1 623.64	3 670
1-C.....	264.19	100	4 700	3 335	1 623.00	2 740
2-A.....	165.00	10 000	10 000	3 992	1 625.86	4 825
2-B.....	165.00	1 000	7 200	3 695	1 624.36	3 045
2-C.....	165.00	100	4 700	3 446	1 623.47	2 130

*Elevación del nivel máximo de embalse necesario para descargar 8 000 m³/s., por el vertedor: 1626.00 m

Los gastos desfogados por el vertedor se calcularon con la fórmula clásica $Q = CLH^{3/2}$. El factor "C" se consideró constante para cualquier carga e igual a 2.14 m. En la Oficina de Ingeniería Experimental del Departamento de Proyectos de la Comisión de Irrigación, se determinó el coeficiente para el gasto de 8,000 metros cúbicos por segundo, resultando de 2.11 con lo que se comprobó que el valor aceptado estaba bien escogido.

La curva de capacidades del vaso se prolongó gráficamente hasta la cota... 1,626.00 que es la correspondiente a la elevación máxima del nivel del agua. A la elevación 1,620.15 se tiene una capacidad para riego de 3,000 millones de metros cúbicos y a la 1,626.00 se tiene una capacidad total de 4,025 millones de metros cúbicos, por lo que se dispone de 1,025 millones de metros cúbicos para regularización de avenidas.

Cada uno de los hidrógrafos corres-

pondientes a los gastos máximos probables se dibujó junto con la curva de gastos del vertedor tal como está proyectado y con la curva de almacenamiento del vaso de la cota 1,620.15 a la cota 1,626.00 metros, analizando el paso de las avenidas por el vaso y el vertedor siguiendo el método gráfico de Goodridge. Los resultados obtenidos fueron:

Regularización para un vertedor de 264.19 metros de longitud de cresta.

Creciente analizada — m ³	Volúmen máximo retenido — millones m ³	Elevación máxima del nivel del agua — m	Gasto máximo desfogado — m ³ /s
10,000	3,720	1,624.52	5,160
7,200	3,510	23.64	3,670
4,700	3,335	23.00	2,740

Utilizando el método de Goodridge se hicieron los análisis gráficos con un vertedor de 165.00 metros de longitud, obteniendo los siguientes resultados.

Regularización para un vertedor de 165.00 metros de longitud de cresta

Creciente analizada	Volumen máximo retenido	Elevación máxima del nivel del agua	Gasto máximo desfogado
m ³	millones m ³	m	m ³ /s
10,000	7,929	1,625.86	4,825
7,200	3,695	24.36	3,045
4,700	3,446	23.47	2,130

Los resultados numéricos del análisis del funcionamiento del vaso al pasar las avenidas máximas se presentan en la tabla 6.

VI. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes que se desprenden del estudio de los datos hidrológicos disponibles del río Nazas, en

lo que se refiere a las características de las avenidas máximas probables, así como el funcionamiento del vaso y del vertedor de la presa de El Palmito, son las siguientes:

1^a La cuenca de 18,100 kilómetros cuadrados que tiene el río Nazas hasta el sitio de la presa de El Palmito, puede producir las siguientes avenidas:

Frecuencia media	Gasto máximo
Una vez en 100 años.	4,700 m ³ /s.
Una vez en 1,000 años.	7,200 „
Una vez en 10,000 años.	10,000 „

2^a Los análisis del funcionamiento del vaso al pasar las anteriores avenidas por El Palmito, indican que las avenidas se regularizan en la siguiente forma:

Gasto máximo de entrada	Gasto máximo de salida	
	Vertedor de cresta libre de	
	264.19m	165.00m
10,000 m ³ /s. (Frec. de 10,000 años)	5,160 m ³ /s.	4,825 m ³ /s.
7,200 m ³ /s. (Frec. de 1,000 años)	3,670 m ³ /s.	3,045 m ³ /s.
4,700 m ³ /s. (Frec. de 100 años).	2,740 m ³ /s.	2,130 m ³ /s.