

Determinación del Area Hidráulica y de las Características de Escurrimiento de una Alcantarilla

POR EL ING. JOSE VAZQUEZ DEL MERCADO
INSPECTOR DE CONSTRUCCION DE LA COMISION NACIONAL DE IRRIGACION

SEGUNDA PARTE

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS

La capacidad de descarga de una alcantarilla, depende fundamentalmente de la sección y de la carga que origina la velocidad de escurrimiento. Por consiguiente, para obtener el máximo rendimiento de una alcantarilla conviene que ésta funcione con su sección llena.

En las consideraciones que se hacen a continuación, siempre se supone que la sección a la entrada trabaja llena.

Los factores principales que afectan el escurrimiento a través de un conducto, son:

1. La carga de velocidad de llegada.
2. Las pérdidas de carga por entrada.
3. Las pérdidas de carga por fricción.
4. Las pérdidas de carga por conexiones, contracciones, ensanchamientos y cambios de dirección.
5. Las condiciones de salida.

Para el caso de alcantarillas en caminos y ferrocarriles, el error que se comete al considerar que la pérdida de carga por entrada y la carga de velocidad de llegada se compensan, es admisible.

Por lo que respecta a las condiciones de

descarga, se pueden presentar dos casos:

1. Conductos con descarga libre.
 2. Conductos con descarga ahogada.
1. *Alcantarillas con descarga libre.*

La fórmula fundamental que se ha tomado como base en gran número de fórmulas para determinar el escurrimiento a través de canales abiertos y de tubos, es la fórmula de Chezy, que desarrolló este ingeniero el año de 1775, y que es la siguiente:

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

$$Q = A v \therefore Q = A c \sqrt{r. s.}$$

A=Area de la sección llena en metros cuadrados.

v=Velocidad media de escurrimiento en metros por segundo.

c=Coficiente de rugosidad cuyo valor depende de las condiciones de la tubería o canal por donde se efectúa el escurrimiento.

s=Pendiente hidráulica.

Para determinar el valor del coeficiente "c" se han hecho gran número de experimentos; de éstos, los que llegaron a los mejores resultados, fueron los efectuados por los ingenieros suizos Ganguillet y Kutter, que dieron origen a la fórmula que lleva su nombre y que es como sigue:

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{s} + \frac{1}{n}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{s}) \frac{n}{v}}$$

En la que:

- n=coeficiente de rugosidad.
- r=radio hidráulico en metros.
- s=pendiente hidráulica.

Estudios posteriores del Ing. Manning, efectuados en 1890, permitieron llegar a la siguiente fórmula para calcular el valor de "c".

$$C = \frac{v^{1/4}}{n}$$

"r" y "n" tienen los mismos valores que para la fórmula anterior.

Si se sustituye este valor en la fórmula de Chezy, se tiene:

$$V = \frac{r^{2/3} s^{1/2}}{n}$$

$$Q = \frac{A r^{2/3} s^{1/2}}{n}$$

Los valores usuales de "n" son los siguientes y son el resultado de los estudios de Horton:

Tuberías

Tubo de fierro comercial negro.	0.012 a 0.015	
Tubo de fierro comercial galvanizado.	0.013	0.017
Tubo de barro vitrificado.	0.011	0.017
Tubo de concreto.	0.012	0.016
Tubo de madera cepillada.	0.010	0.014
Tubo de madera sin cepillar.	0.011	0.015

Canales

Canales revestidos de concreto.	0.012	0.018
Canales revestidos de mampostería ordinaria.	0.017	0.030
Canales revestidos de mampostería seca.	0.025	0.035
Canales en tierra.	0.017	0.025
Canales en roca.	0.025	0.035

Corrientes naturales

Taludes limpios y bien cortados, sin riscos ni pozos.	0.025	0.033
Igual al anterior, con hierbas y piedras.	0.030	0.040
Con meandros, algunos pozos y bajos limpios.	0.033	0.045
Con meandros, algunos pozos y secciones bien definidas.	0.040	0.055
Con meandros, algunos pozos bajos y limpios, en roca.	0.045	0.060
Ríos con poca velocidad, con hierbas y pozos profundos.	0.050	0.080
Secciones con gran cantidad de vegetación.	0.075	0.150

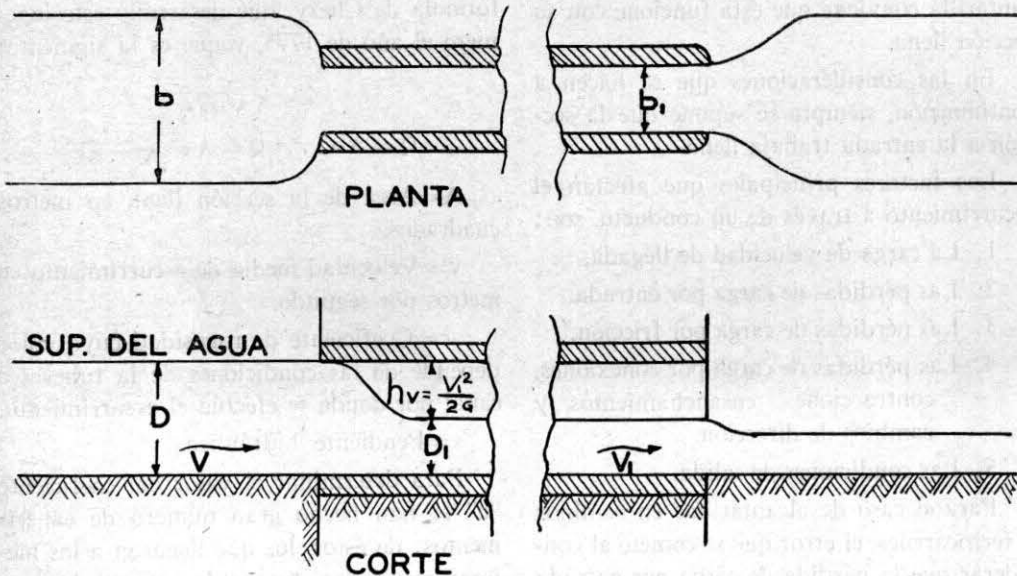


FIGURA No. 3

El escurrimiento a través de un conducto con salida libre y con pendiente suficiente para evitar la formación del remanso, está basado en la teoría del "Tirante crítico" y de la "Velocidad crítica".

Escurrimiento crítico.—Supóngase un conducto rectangular en condiciones tales que el nivel de agua del canal de llegada a la entrada coincida con el nivel de la parte superior de la sección. Si la descarga es libre, se formará en el interior del conducto una caída de la superficie del agua hasta el "nivel crítico". El motivo de esta reducción de tirante es el aumento de velocidad hasta alcanzar la "velocidad crítica" de escurrimiento.

Para determinar el valor del tirante crítico considérense las secciones de tirantes D y D_1 de la figura 3; la cantidad de agua que pasa en el canal por la primera sección será necesariamente la misma que la que pueda pasar en el conducto por la segunda sección; el valor de este gasto será:

$$Q = b D v = b_1 D_1 v_1 \dots \dots \dots (1)$$

$$D = h_v t D_1 \quad h_v = \frac{v_1^2}{2g} \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{como } v = \frac{Q}{A}; v^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

$$\text{y como } A_1 = b_1 D_1 \quad v_1^2 = \frac{Q^2}{b_1^2 D_1^2}$$

sustituyendo en la ecuación:

$$h_v = \frac{Q^2}{2g b_1^2 D_1^2}$$

y sustituyendo el valor de h_v en la ecuación:

$$D = \frac{Q^2}{2g b_1^2 D_1^2} + D_1$$

de donde:

$$\frac{Q^2}{2g b_1^2 D_1^2} = D - D_1$$

$$\frac{Q^2}{2g} = b_1^2 D_1^2 D - b_1^2 D_1^3$$

Como el valor de "D" se considera constante, la descarga máxima se encontrará di-

ferenciando con respecto a " D_1 ", igualando a cero y resolviendo la ecuación.

$$0 = 2 b_1^2 D D_1 - b_1^2 D_1^2$$

$$2 b_1^2 D D_1 = 3 b_1^2 D_1^2$$

dividiendo los dos miembros por $b_1^2 D$ se tiene:

$$2 D = 3 D_1 \therefore D_1 = \frac{2D}{3}$$

$$\text{como } h_v = D - D_1 = D - \frac{2D}{3} = \frac{D}{3}$$

La velocidad valdrá:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g}{3} D}$$

y el gasto:

$$Q = D_1 b_1 \sqrt{\frac{2g}{3} D}$$

Para encontrar la pendiente que producirá la "velocidad crítica" basta sustituir en la fórmula de Manning el valor de v_1 y despejar "s".

$$v = \frac{r^{2/3} s^{1/2}}{n}$$

elevando al cuadrado

$$v^2 = \frac{v^{4/3} s}{n^2} \therefore s = \frac{v^2 n^2}{v^{4/3}}$$

$$s = \frac{2/g D n^2}{v^{4/3}} = \frac{6.54 D n^2}{v^{4/3}}$$

Para el caso de conductos circulares, las condiciones de velocidad crítica se efectúan cuando $h_v = 0.3113 D$.

El tirante crítico vale:

$$D_1 = 0.3113 D = 0.6887 D$$

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

$$v_1 = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.3113 D} = 0.2471 D^{1/2}$$

El área de la sección para la profundidad 0.6887 vale:

$$A = 0.5768 D^2 \therefore$$

$$Q = 0.578 D^2 \times 2.471 D^{1/2} = 1.425 D^{5/2}$$

La pendiente que provocaría la velocidad crítica es:

$$s = \frac{v^2 n^2}{v^{2/3}}$$

$$v_1 = 2.471 D^{1/2} \therefore v_1^2 = 6.1077 D$$

$$v = \frac{A}{P} = \frac{0.5768 D^2}{1.9578 D} = 0.2946 D$$

Sustituyendo

$$s = \frac{6.1077 D n^2}{(0.2946 D)^{3/2}} = \frac{6.1077 D n^2}{0.1955 D^{3/2}}$$

$$s = \frac{31.45 n^2}{D^{1/2}}$$

Esta pendiente al producir la "velocidad crítica" asegura la descarga máxima en el conducto. Cualquier aumento de pendiente, no aumentará la descarga, simplemente hará que el agua corra a mayor velocidad y con un tirante menor que el "tirante crítico"; la descarga en estas condiciones está limitada por la cantidad de agua que pueda entrar en el conducto, suponiendo que éste trabaja con su sección llena y que el nivel del agua a la entrada coincide con el nivel de la sección conservando la carga constante.

Cuando la pendiente del conducto es menor que la "pendiente crítica", se provocará la formación de un remanso que impedirá la entrada de mayor cantidad de agua que la que el conducto puede desalojar con la pendiente que tiene. El cálculo del gasto en estos casos se hace por la fórmula de Chezy, calculando el valor de "C" por la fórmula de Manning aplicando el valor de "n" correspondiente a las características de rugosidad.

2. Alcantarilla con descarga ahogada.

Existen casos en los que las alcantarillas tienen su descarga ahogada, ya sea porque ésta se haga en un canal o corriente natural que tenga su nivel de aguas más alto que el nivel de descarga, o bien, porque se trate del caso de una inundación en el que la salida del conducto se encuentre sumergida.

Tanto la pendiente del lecho de la corriente, como la pendiente de la alcantarilla no tiene ninguna influencia en la capacidad de descarga, puesto que es la diferencia de niveles de agua a la entrada y a la salida de la alcantarilla, la que proporcionará la carga que provoca la velocidad del escurrimiento.

Por consiguiente, la capacidad de descarga de una alcantarilla, dependerá fundamentalmente de la sección de la alcantarilla y de la carga o diferencia de nivel de agua entre la entrada y la salida del conducto.

La Universidad de Iowa, en los Estados Unidos, hizo en combinación con el Departamento de Agricultura y la Comisión Federal de Caminos, una serie de 3,301 experimentos, a fin de establecer las características de escurrimiento de aguas a través de las alcantarillas.

Las conclusiones que se derivaron de estos experimentos pueden expresarse como sigue:

Por lo que respecta a los coeficientes de rugosidad:

1º El coeficiente de rugosidad "n" en la fórmula de "Kutter", para tubo de concreto, varía de 0.012 para tubos de 12" a 0.013 para tubos de 30".

2º El coeficiente de rugosidad "n" en la fórmula de "Kutter", para tubo de barro vitrificado, varía de 0.010 para tubo de 12" a 0.013 para tubo de 30".

3º El coeficiente de rugosidad "n" en la fórmula de "Kutter", para tubo de lámina corrugada, varía de 0.019 para tubo de 12" a 0.023 para tubo de 30".

Tubo empleado	Diámetro tubo			
	12"	18"	24"	30"
Tubo lámina . .	1.00	1.00	1.00	1.00
Tubo concreto.	1.49	1.40	1.36	1.32
Tubo de barro.	1.63	1.50	1.40	1.30

Después de un estudio de los valores experimentales de los coeficientes de pérdida por entrada para las alcantarillas de tubo, se desarrollaron fórmulas para cualquier diámetro y longitud del tipo siguiente:

$$Q = \frac{A \sqrt{2gh}}{(1 + K_e + jL/D^5)^{1/2}}$$

En la que:

Q=descarga en pies cúbicos por segundo.

h=carga en el tubo en pies.

A=Area del tubo en pies cuadrados.

D=Diámetro del tubo en pies.

l=Long. del tubo en pies.

Ke=Coefficiente de pérdida por entrada.

j=Coefficiente de pérdida por fricción.

g=Aceleración de la gravedad.

Las fórmulas de gasto para alcantarillas de tubo con muros de cabeza recta a la entrada, trabajando llenas y para diferentes diámetros y longitudes, son en sistema inglés como sigue:

1º Para tubos de concreto con entrada achaflanada:

$$Q = \frac{A \sqrt{2 g H}}{\sqrt{1.1 + \frac{0.026 L}{D^{1.2}}}}$$

2º Para tubo de concreto con entradas a escuadra:

$$Q = \frac{A \sqrt{2 g H}}{\sqrt{1 + 0.31 D^{0.5} + \frac{0.026 L}{D^{1.2}}}}$$

3º Para tubo de barro vitrificado con campana aguas arriba:

$$Q = \frac{A \sqrt{2 g H}}{\sqrt{1 + 0.023 D^{1.9} + \frac{0.022 L}{D^{1.0}}}}$$

4º Para tubo de lámina corrugado:

$$Q = \frac{A \sqrt{2 g H}}{\sqrt{1 + 0.16 D^{0.6} + \frac{0.106 L}{D^{1.2}}}}$$

En estas fórmulas:

Q=Gasto en pies cúbicos por segundo.

A=Area en la sección del tubo en pies cuadrados.

D=Diámetro del tubo en pies.

L=Longitud de la alcantarilla en pies.

H=Diferencia de los niveles de agua en los dos extremos de la alcantarilla.

G=Aceleración de la gravedad.

Por lo que respecta a las alcantarillas de cajón con muros de cabeza recta y trabajando llenos, se dedujeron las siguientes fórmulas, en las que entra como factor el radio hidráulico en vez del diámetro como en el caso de las alcantarillas de tubo:

1º Alcantarillas de cajón con entrada de bordos redondeados:

$$Q = \frac{A \sqrt{2 g H}}{\sqrt{1.05 + \frac{0.0045 L}{R^{1.25}}}}$$

2º Alcantarillas de cajón con entradas a escuadra:

$$Q = \frac{A \sqrt{2 g H}}{\sqrt{1 + 0.4 R^{0.3} + \frac{0.0045 L}{R^{1.25}}}}$$

En estas fórmulas las literales tienen los mismos valores que en las fórmulas para alcantarillas de tubos, el término "R" es el radio hidráulico medio y está dado en pies.

Para el sistema métrico decimal, las fórmulas para tubos tienen los valores siguientes:

1º—Para tubo de concreto con entrada achaflanada.

$$Q = \frac{A \sqrt{2 g H}}{\sqrt{1.1 + \frac{0.0206 L}{D^{1.2}}}}$$

2º—Para tubo de concreto con entrada a escuadra.

$$Q = \frac{A \sqrt{2 g H}}{\sqrt{1 + 0.561 D^{0.5} + \frac{0.0206 L}{D^{1.2}}}}$$

3º—Tubo de barro vitrificado con campana aguas arriba.

$$Q = \frac{A \sqrt{2 g H}}{\sqrt{1 + 0.0218 D^{1.9} + \frac{0.022 L}{D^{2.1}}}}$$

4º—Para tubos de lámina corrugada.

$$Q = \frac{A \sqrt{2 g H}}{\sqrt{1 + 0.325 D^{0.6} + \frac{0.0836 L}{L^{1.2}}}}$$

En estas fórmulas:

- Q=Gasto en metros cúbicos por segundo.
A=Área de la sección en metros cuadrados.
D=Diámetro del tubo en metros.
L=Longitud del tubo en metros.
h=Diferencia de niveles de agua en los dos extremos de la alcantarilla.
g=Aceleración de la gravedad.

Para las alcantarillas de cajón con muros de cabeza rectos, las fórmulas son como sigue:

1º—Alcantarillas de cajón con entrada de bordos redondeados.

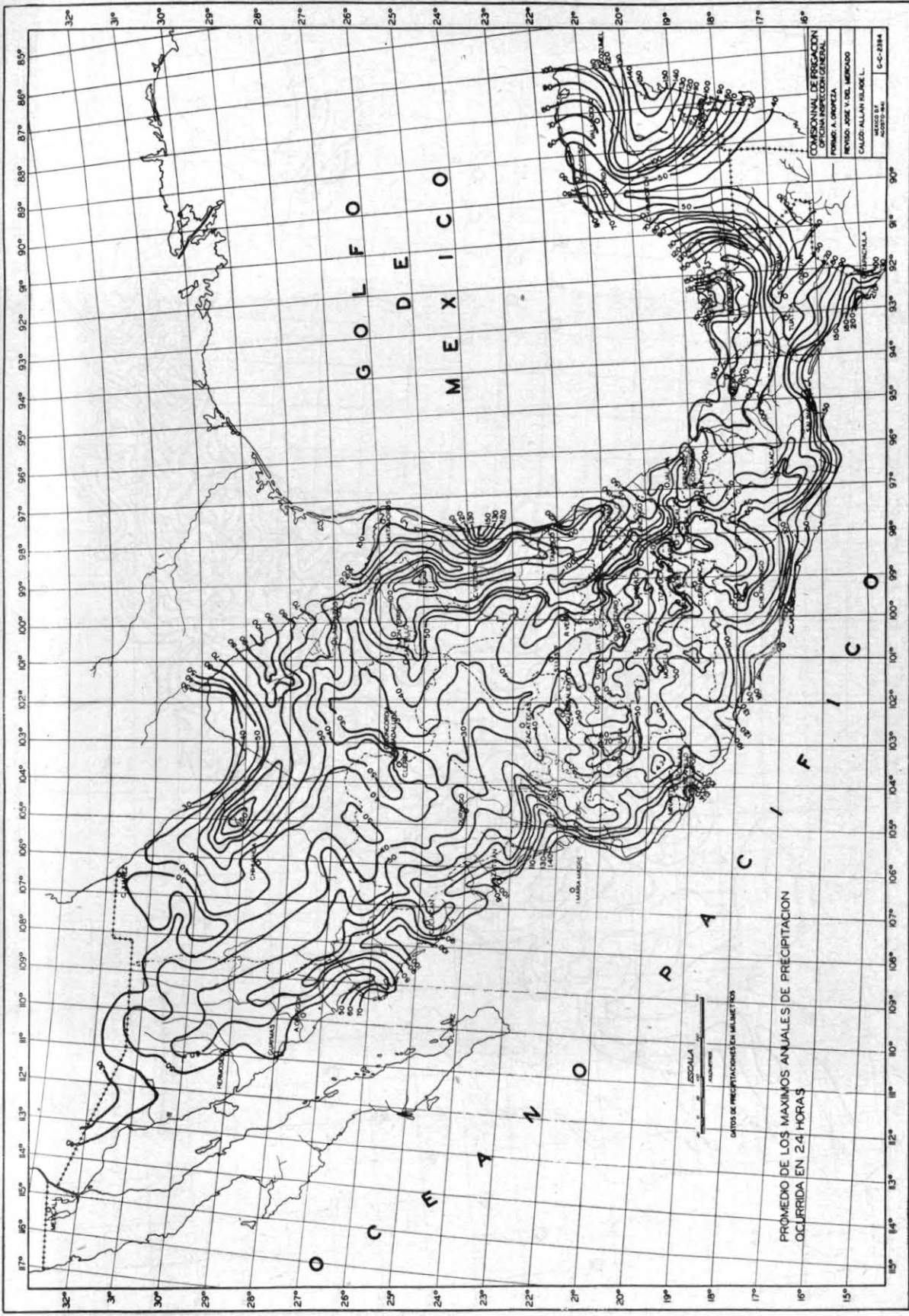
$$Q = \frac{A \sqrt{2g H}}{\sqrt{1.05 + \frac{0.00334 L}{R^{12}}}}$$

2º—Alcantarilla de cajón con entradas a es-cuadra.

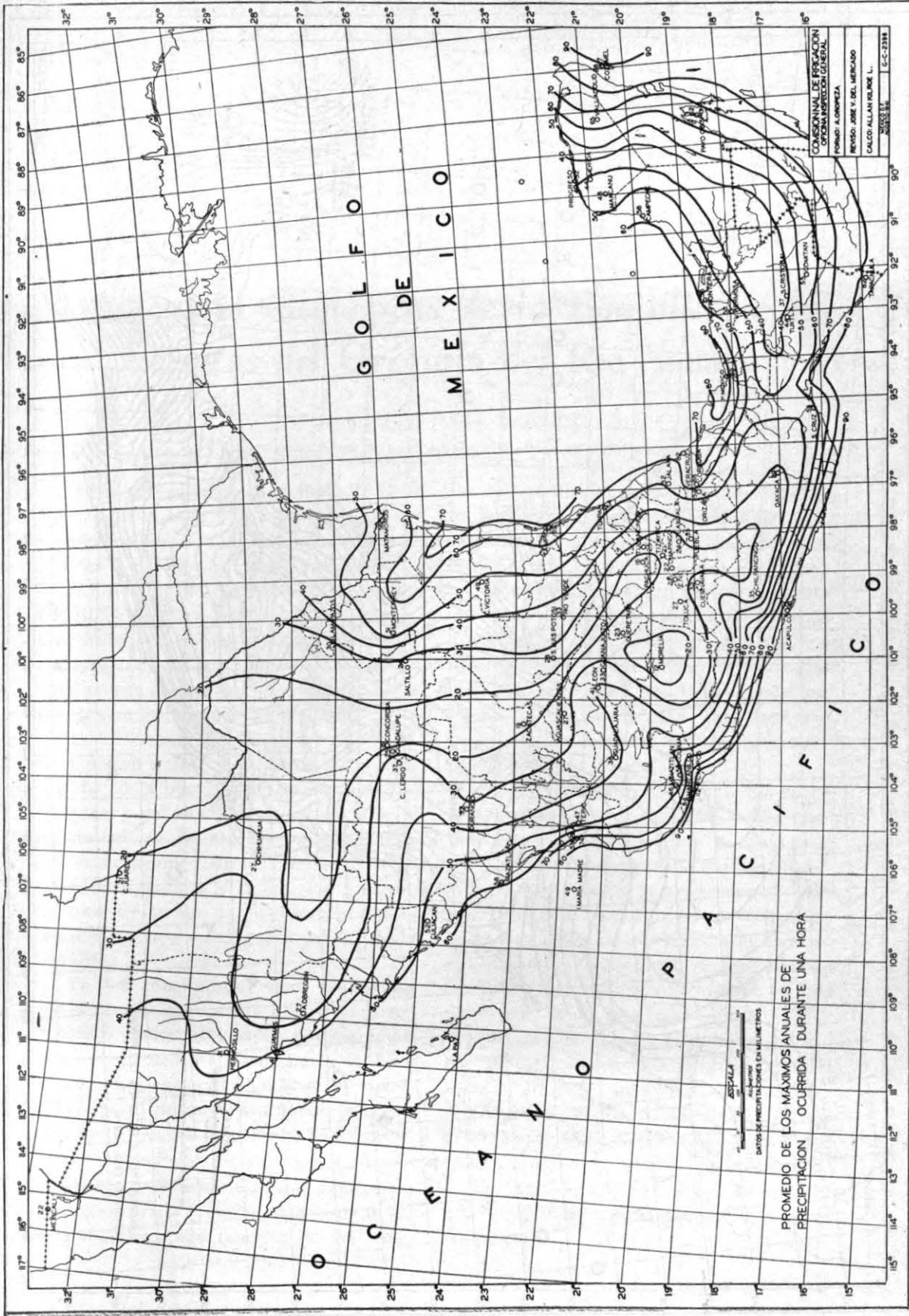
$$Q = \frac{A \sqrt{2g H}}{\sqrt{1 + 0.57 + R^{3.0} \frac{0.00334 L}{R^{1.25}}}}$$

En la que:

- Q=Gastos en metros cúbicos por segundo.
A=Área de la sección en metros cuadrados.
R=Radio hidráulico en metros.
L=Longitud del cajón en metros.
h=Diferencia de niveles de agua en los ex-tremos de la alcantarilla.
g=Aceleración de la gravedad.



COMISIONAL DE PRECIPACION
OFICINA DE PRECIPACION GENERAL
REVISOR: JOSE V. DEL MERCADO
CALCULADO: ALLAN BLADEL
MADE BY
AGUSTO 44 C-C-2814



PROMEDIO DE LOS MÁXIMOS ANUALES DE PRECIPITACION OCURRIDA DURANTE UNA HORA

COMISIONAL DE PEREGRACION
 OFICINA DE PEREGRACION GENERAL
 FORMADO: ALONSO REZA
 REVISADO: JOSE V. DEL MERCADO
 CALICO ALLAN BLUMBERG L.
 2003/03/18
 E-C-2318

ESTALA
 DATOS DE PRECIPITACIONES EN MILIMETROS

