

AGRINTE AGRIS



SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA

INFORMACION GENERAL  
CATEGORIA: **ILCA**  
SUBCATEGORIA: **P13**  
PAIS: COSTA RICA  
**5**



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS

**MEDIDAS DE AGUA EN CANALES  
POR MEDIO DEL AFORADOR  
SIN CUELLO**

JOSE F. ALFARO

DTA-(DT) No. 14  
IICA-A/D 31/80

SUB-SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES  
DEPARTAMENTO DE TIERRAS Y AGUAS

Santo Domingo, R.D. Noviembre de 1980



**MEDIDAS DE AGUA EN CANALES  
POR MEDIO DEL AFORADOR  
SIN CUELLO**

**JOSE F. ALFARO**  
Departamento de  
Ingeniería Agrícola  
e Irrigación  
Utah State University

**DTA-(DT) No. 14**  
**IICA-A/D 31/80**

**SUB-SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES**  
**DEPARTAMENTO DE TIERRAS Y AGUAS**

**Santo Domingo, R.D.**  
**Noviembre de 1980**

00007476

## PROLOGO A ESTA EDICION

El documento se transcribe de una copia del original del autor J. F. Alfaro, que fuera editada por el IICA /Argentina bajo la coordinación de Agustín Merea, Especialista en Manejo y Conservación de Tierras y Aguas y actual coordinador del Comité de Tierras y Aguas del IICA con sede en San José, Costa Rica.

Con la autorización del autor, a esta edición se le han hecho algunas adiciones en lo que respecta al cálculo de la descarga y diseño del aforador. La finalidad es de ahorrar la presentación de tablas para flujo sumergido--que añadirían gran volumen al documento-- y para simplificar los cálculos utilizando calculadoras programables (páginas 15, 21, 22, 25, 26, A-6 a A-9). Se pretende además facilitar el diseño de aforadores más ajustados a los requerimientos, ya que si éstos se hacen solamente con la ayuda de Tablas las dimensiones se limitan a aquellas para las cuales se elaboraron las mismas.

Manuel Paulet FMCTA/IICA  
Santo Domingo, Agosto de 1980.



## PROLOGO

Es realmente escaso el material escrito en castellano que se encuentra a disposición del técnico en riegos, sobre todo en lo que se refiere a los últimos adelantos científicos y prácticos.

La presente publicación tiene como objeto el contribuir a la literatura técnica en castellano con la presentación de un aforador de aguas relativamente nuevo. Este aforador es conocido en la lengua inglesa como el "Cutthroat Flume" y aquí "bautizado" en castellano como el aforador "Sin Cuello". Este aforador es el resultado de una cadena de estudios teórico-prácticos y a los esfuerzos finales de G.V. Skogerboe, M.L. Hyatt, R.K. Anderson y K.O. Eggleston(17).

El autor aprovecha esta oportunidad para invitar a los colegas de Latino América a estudiar, y utilizar este nuevo aforador en las prácticas de riego que requieran medir la descarga de aguas en canales.

No pretende el autor el ser considerado como originador del aforador "Sin Cuello" ni de los principios o ecuaciones afines que aquí se presentan, y agradece sinceramente la gentileza de G. V. Skogerboe por suministrar las tablas de descarga y algunas de las figuras que en este trabajo se incluyen.

El desarrollo de este boletín fué financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional bajo el contrato AID csd/2459 suscrito con Utah State University, Logan, Utah. Las opiniones que se presentan en esta publicación son del autor y no representan la opinión oficial de la USAID.

J. F. Alfaro  
Profesor de Riegos  
Departamento de Ingeniería Agrícola e  
Irrigación  
Utah State University



## LISTA DE CONTENIDO

PROLOGO	ii
INTRODUCCION	1
DESCRIPCION GENERAL	2
DESARROLLO DEL AFORADOR	4
PRINCIPIOS DE OPERACION	6
Flujo Libre	6
Flujo Sumergido	6
ECUACIONES DE DESCARGA	8
Flujo Libre	8
Flujo Sumergido	9
DETERMINACION DEL CAUDAL	11
Caso de Flujo Libre	11
Por medio de ecuaciones	12
Por medio de tablas	12
Por medio de nomogramas	13
Caso de Flujo Sumergido	13
Por medio de ecuaciones	14
Cálculos Utilizando Calculadora Programable	15
SELECCION E INSTALACION	16
Selección del Lugar	16
Caso de Flujo Libre	17
Selección de las dimensiones usando fórmulas	21
Caso del Flujo Sumergido	23
OPERACION Y MANTENIMIENTO	27
REFERENCIAS	29

### ANEXO A

Cuadros y figuras

A-1--A-15



## INTRODUCCION

Aproximadamente 8 millones de hectáreas se encuentran bajo riego en Latino América y continuamente están surgiendo proyectos para regar nuevas tierras. En estas zonas de riego, existe la constante preocupación de efectuar una eficiente y oportuna distribución de las aguas de regadío. Para este efecto es esencial el medir los volúmenes de agua que fluyen en los canales principales y aquellos aplicados a los campos de cultivos.

Existen en la actualidad un gran número de artefactos utilizados para aforar las aguas de riego. Uno de los más conocidos es el aforador Parshall pero debido a su diseño relativamente complicado, su uso es restringido a los canales principales de obras o proyectos mayores de regadío.

El aforador "Sin Cuello" ofrece rápidamente todas las ventajas del aforador Parshall además de una fácil construcción e instalación y mayor economía.

Para determinar el flujo se presentan las ecuaciones de descarga, nomogramas para flujo libre y tablas. Los nomogramas y tablas pueden ser utilizados por el personal de campo o de oficina para hacer determinaciones rápidas del caudal. Cuando se requiere mayor exactitud es recomendable obtener la descarga desarrollando las ecuaciones pertinentes.

## DESCRIPCION GENERAL

El aforador "Sin Cuello" (Cutthroat Flume) consiste principalmente de la sección de entrada, la sección de salida, la garganta y la plantilla o fondo del aforador. La sección de entrada está constituida por dos paredes verticales convergentes con una convergencia de 3:1. La sección de salida está formada por dos paredes también verticales pero divergentes con una divergencia de 6:1. La unión de estas dos secciones forma una constricción en la estructura conocida como la "garganta" del aforador. La amplitud de esta garganta es comunmente designada con la letra W. El fondo o plantilla del aforador es plano horizontal en contraste con el aforador Parshall el cual tiene un fondo inclinado en las secciones del cuello y salida.

El tamaño del aforador es generalmente especificado por la amplitud de la garganta, W, y por la longitud total del aforador, L. De esta manera, un aforador de 20 x 90 cm. tendrá una garganta W=20 cm y una longitud total L=90 cm.

Tanto la sección de entrada como la sección de salida tienen una amplitud igual denominada por la letra B y cuyo valor está dado por la siguiente ecuación:

$$B = W + (L/4.5) \quad (1)$$

o en términos de las longitudes de la sección de entrada,  $L_1$ , o de salida,  $L_2$ :

$$B = W + 2/3 (L_1) = W + 1/3 (L_2) \quad (2)$$

En la Figura 1 se muestra un diagrama esquemático del aforador sin cuello en donde se indican sus dimensiones básicas.

La descarga en el aforador se obtiene midiendo las profundidades de flujo aguas arriba,  $h_a$ , y aguas abajo,  $h_b$ , de la garganta. Con el objeto de medir con precisión las profundidades  $h_a$  y  $h_b$  el medidor deberá estar provisto de dos pozos tranquilizadores. Estos pozos deberán estar colocados a un lado de la estructura y comunicados con ella en un punto bien definido en la sección de entrada y de salida del aforador, a una distancia  $L_a$  y  $L_b$  aguas arriba y aguas abajo de la garganta respectivamente. Las longitudes  $L_a$  y  $L_b$  se pueden calcular por medio de las siguientes expresiones:

$$L_a = 2L/9 \quad (3)$$

$$L_b = 5L/9 \quad (4)$$

En estos pozos tranquilizadores se pueden colocar flotadores y limnigrafos cuando se requieran mediciones precisas y continuas.

En situaciones que no requieren mayor precisión, en vez de los pozos tranquilizadores se pueden utilizar escalas propiamente graduadas las cuales se pueden colocar directamente sobre las paredes de la estructura. Sobre este punto se tratará más ampliamente en la sección de "Operación y Mantenimiento".

## DESARROLLO DEL AFORADOR

Uno de los aforadores más conocidos para medir el flujo de agua en canales es el medidor Parshall elaborado en los laboratorios de la Universidad del Estado de Colorado en los EEUU (3). Este aforador está constituido de tres secciones: la sección de entrada de paredes verticales convergentes y de fondo horizontal; la sección de garganta de paredes verticales paralelas y con fondo inclinado hacia abajo; y finalmente, la sección de salida de paredes verticales divergentes con fondo ligeramente inclinado hacia arriba.

Posteriormente se realizaron estudios en los laboratorios de Utah State University (2,4), con el objeto de investigar las características hidráulicas de una modificación del medidor Parshall, utilizando aforadores de fondo plano horizontal. Estos aforadores de fondo plano horizontal, tienen las ventajas sobre el medidor Parshall de una mayor facilidad y economía en la construcción, así como también una más fácil instalación ya sea permanente o transitoria en canales. Estos estudios indicaron que estos aforadores de fondos plano horizontal pueden operar satisfactoriamente ya sea bajo condiciones de flujo libre o sumergido.

Por otro lado, estudios sobre el grado de convergencia y de divergencia de las paredes de la sección de entrada y de salida (1,2), indicaron que la convergencia de las paredes de la sección de entrada debería ser de una magnitud máxima de 3:1, y la divergencia máxima recomendable en la sección de salida de 6:1, con el propósito de evitar la separación del flujo y su adherencia a las paredes del medidor.

Para determinar un caudal bajo condiciones de flujo sumergido por medio del aforador Parshall, se requiere que además de la profundidad de flujo aguas arriba se mida la profundidad de las aguas en la sección del cuello. Skogerboe y colaboradores (6), demostraron por medio de estudios experimentales utilizando aforadores de fondo plano, que la precisión de las curvas de calibración para el caso de flujo sumergido aumentaba notablemente cuando las medidas de las profundidades de aguas abajo se realizaban en la sección de salida en vez de la sección del cuello del aforador. Esto se debe a que los perfiles de flujo varían rápidamente en la sección de garganta de un aforador de fondo plano horizontal; en cambio las superficies de las aguas resultan casi horizontales en la sección de salida del aforador.

Combinando los resultados de las experiencias antes mencionadas, se diseñó el aforador "Sin Cuello" llamado así por sus autores (7), debido a la ausencia de la sección del cuello. Este aforador se sometió a posteriores estudios (5), de los que resultaron las normas de diseño, instalación, y operación que aquí se presentan.

## PRINCIPIOS DE OPERACION

Basado en el principio del flujo crítico como el que puede ocurrir en una sección de control, la relación que existe entre la profundidad de agua y la descarga es definitiva e independiente de otros factores no controlables tales como la rugosidad del canal.

En los aforadores de flujo crítico como el que se describe en este boletín, la profundidad crítica se forma al contraerse la sección del flujo por las paredes divergentes del medidor. El aforador puede operar en condiciones de flujo no sumergido o flujo libre, o bajo condiciones de flujo sumergido.

### Flujo Libre

Bajo condiciones de flujo libre la profundidad crítica ocurre en la cercanía de la constricción o garganta del aforador "Sin Cuello". En este caso el caudal no es afectado por las variaciones que puedan ocurrir aguas abajo de la garganta, de manera que la descarga se puede determinar simplemente conociendo la profundidad aguas arriba,  $h_a$ , en el aforador.

### Flujo Sumergido

Se dice que el aforador "Sin Cuello" opera sumergido cuando las condiciones de flujo aguas abajo son afectadas de tal manera que la resistencia es suficiente para disminuir la velocidad y aumentar la profundidad del flujo, resultando en un aumento de la profundidad de flujo aguas arriba del aforador. Bajo estas condiciones la profundidad de las aguas en cualquier punto a lo largo del medidor sería mayor que la profundidad crítica.

Para obtener la descarga con el aforador operando bajo condiciones de flujo sumergido se requiere que tanto la profundidad aguas arriba  $h_a$ , como la profundidad aguas abajo,  $h_b$ , sean medidas.

El grado de sumersión,  $S$ , en un aforador es comúnmente definido por el valor de la razón, expresada en porcentaje, de las profundidades de flujo aguas abajo y aguas arriba de acuerdo a la siguiente relación:

$$S = (h_b/h_a) 100 \quad (5)$$

En general, tal como se puede observar en la Figura 2, el efecto de la sumersión es el de disminuir la descarga en el aforador. Esta disminución principia, sin embargo, en un valor determinado de sumersión denominado "Sumersión Transitoria",  $S_t$ . Cuando el aforador "Sin Cuello" opera con un valor de sumersión por debajo de la Sumersión Transitoria, el flujo no es afectado y se considera como flujo libre. Por otro lado, si la sumersión es mayor que la sumersión transitoria se dice que el aforador está operando sumergido y la descarga se hace menor a medida que aumenta el porcentaje de sumersión.

En el aforador "Sin Cuello" el valor de la sumersión transitoria varía de acuerdo con la longitud del aforador tal como se puede observar en el Cuadro 1. De esta manera, los aforadores "Sin Cuello" de longitud,  $L$ , de 90, 180 y 270 cm operan bajo condiciones de flujo libre si la sumersión no excede los valores de sumersión transitoria  $S_t$ , de 65, 74 y 80 por ciento, respectivamente.

## ECUACIONES DE DESCARGA

### Flujo Libre

Como se mencionó anteriormente la descarga en el aforador "Sin Cuello" operando bajo condiciones de flujo libre está controlada únicamente por la profundidad de flujo aguas arriba,  $h_a$ , de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q = C(h_a)^n \quad (6)$$

en donde,

- Q es la descarga en metros cúbicos por segundo,
- $h_a$  la profundidad de flujo aguas arriba en metros
- n el exponente de flujo libre, y
- C el coeficiente de flujo libre.

El valor del exponente n depende únicamente de la longitud, L, del aforador siendo de esta manera constante para todos los medidores "Sin Cuello" de una misma longitud, sea cual fuese la amplitud de la garganta W.

Por lo contrario, el valor del coeficiente de flujo libre, C, depende tanto de la longitud, L, del aforador como de la amplitud de su garganta, W. Empíricamente esta función se indica de acuerdo a la siguiente relación:

$$C = K W^{1.025} \quad (7)$$

en donde el parámetro K anteriormente no definido es el coeficiente de longitud del aforador para flujo libre.

El Cuadro 1 muestra, la relación que existe entre los valores de  $K$  y  $n$  con respecto a la longitud,  $L$ , del aforador sin cuello.

### Flujo Sumergido

Para determinar la descarga cuando el aforador "Sin Cuello" funciona bajo condiciones de flujo sumergido, es necesario medir tanto la profundidad de flujo aguas arriba,  $h_a$ , como la profundidad de flujo aguas abajo,  $h_b$ . El caudal bajo estas condiciones de flujo se puede determinar utilizando la siguiente relación:

$$Q = C_s (h_a - h_b)^n / (C \log S)^{n_s} \quad (8)$$

en donde

$Q$  es la descarga en metros cúbicos por segundo,

$h_a$  la profundidad de flujo aguas arriba en metros,

$h_b$  la profundidad de flujo aguas abajo en metros,

$n$  el exponente de flujo libre,

$n_s$  el exponente de flujo sumergido,

$S$  la sumersión,  $h_b/h_a$ , expresada en cociente, y

$C_s$  el coeficiente de flujo sumergido.

Como en el caso del exponente de flujo libre,  $n$ , el valor de  $n_s$ , también depende únicamente de la longitud del medidor "Sin Cuello", siendo por lo tanto constante para un determinado valor de  $L$  sea cual fuese la amplitud de la garganta,  $W$ .

El coeficiente de flujo sumergido,  $C_s$ , varía en función de la longitud del aforador,  $L$ , y de la amplitud de la garganta,  $W$ , de acuerdo

a la siguiente expresión:

$$C_s = K_s W^{1.025} \quad (9)$$

en donde,  $K_s$ , es el coeficiente de longitud del aforador para flujo sumergido.

Los valores de  $K_s$  y  $n_s$  pueden obtenerse directamente del Cuadro 1, para cualquier longitud de aforador deseada, entre 0.5 y 2.7 m.

Como se explicó anteriormente, en la sección de Principios de Operación, la Sumersión Transitoria,  $S_t$ , es el límite de sumersión entre el flujo libre y el flujo sumergido. Según esta condición la descarga puede ser determinada usando ya sea la ecuación para descarga libre o la expresión para flujo sumergido.

Usando el criterio anterior, la Sumersión Transitoria,  $S_t$ , puede determinarse igualando las Ecuaciones 6 y 8:

$$C (h_a)^n = C_s (h_a - h_b)^n / (\text{Colg } S)^{n_s} \quad (10)$$

Al reemplazar  $h_b$  por su equivalente  $(S \cdot h_a)$  y dividir ambos lados de la Ecuación 10 por  $(h_a)^n$  se obtiene la siguiente expresión considerando que el valor de Sumersión corresponde a la Sumersión Transitoria,  $S_t$ :

$$(\text{Colog } S_t)^{n_s} = (C_s / C) (1 - S_t)^n \quad (11)$$

Para obtener los valores de  $S_t$ , la Ecuación 11 puede resolverse al tanteo—ver relación L vs  $S_t$  en el Cuadro 1—.

## DETERMINACION DEL CAUDAL

El cálculo de la descarga en un aforador "Sin Cuello" propiamente instalado, se puede realizar ya sea haciendo uso de las ecuaciones de descarga, de tablas apropiadas, o de nomogramas.

Una vez que el flujo en el aforador "Sin Cuello" se ha estabilizado se deberá establecer si el medidor está operando bajo condiciones de flujo sumergido o flujo libre. Con este objeto se deberá medir las profundidades de flujo  $h_a$  y  $h_b$  y seguidamente determinar si el valor de Sumersión es mayor o menor que el valor de Sumersión Transitoria correspondiente al medidor en uso. De acuerdo a esto, el flujo será sumergido toda vez que  $S$  sea mayor que  $S_t$ , y será libre toda vez que  $S$  sea menor que  $S_t$ .

### Caso de Flujo Libre

Supongamos que se desea determinar la descarga en un canal en el cual se ha instalado propiamente un aforador "Sin Cuello" de 20 x 180 centímetros ( $W = 20$  cm,  $L = 180$  cm). Una vez estabilizado el flujo se procede a determinar los valores de  $h_a$  y  $h_b$ . Supongamos que para nuestro ejemplo estos valores son:  $h_a = 0.25$  m. y  $h_b = 0.10$  m.

El valor de Sumersión bajo estas condiciones será de:

$$S = (h_b / h_a) 100 = (0.10/0.25) 100 = 40\%$$

Del Cuadro 1, se obtiene que el valor de  $S_t$  para un aforador de longitud  $L = 1.80$  m es de 73.7%. Desde que  $S$  es menor que  $S_t$  se concluye que el aforador está operando como flujo libre.

Por medio de ecuaciones.

Mayor exactitud en el cálculo del caudal se puede obtener utilizando las ecuaciones de descarga. Para esto se procede primero a calcular el coeficiente de flujo libre, C, de acuerdo con la Ecuación 7.

$$C = K W^{1.025} \quad (7)$$

El coeficiente de longitud del aforador para flujo libre, K, se obtiene directamente del Cuadro 1. Para nuestro ejemplo  $K = 2.48$ .

Entonces,

$$\begin{aligned} C &= 2.48 (0.20)^{1.025} \\ &= 2.48 (0.192) \\ &= 0.477 \end{aligned}$$

Una vez determinado el coeficiente C, se obtiene directamente del Cuadro 1 el valor del exponente  $n = 1.65$ . El caudal se calcula aplicando la Ecuación 6 de la siguiente manera,

$$\begin{aligned} Q &= C(h_a)^n \quad (6) \\ &= 0.477 (0.25)^{1.65} \\ &= 0.477 (0.102) \\ &= 0.0487 \text{ m}^3/\text{seg.} \end{aligned}$$

Por medio de tablas.

El flujo libre se puede obtener directamente utilizando el Cuadro 3.

### Cálculos Utilizando Calculadora Programable.

En el apéndice, (Cuadros 4 y 5) se presentan el programa y procedimiento para realizar los cálculos utilizando una calculadora programable de bolsillo, Hewlett Packard HP-29C o HP-25 (ligeras modificaciones al programa indicado).

El programa de cálculo está indicado en la columna que dice "tecla" y se introduce con la calculadora en PRGM. Los datos en los registros manuales se introducen con la calculadora en RUN. Los cálculos se hacen con la calculadora en RUN que es el modo de operación normal.

Se recomienda para cada aforador instalado, luego de verificar sus dimensiones de W y L (exactas), y luego de determinar si trabaja en flujo sumergido o libre, elaborar con este procedimiento una curva de  $h_a$  (o de  $h_a - h_b$ ) Vs Q para su uso diario.

## SELECCION E INSTALACION

### Selección del Lugar

La sección de entrada de paredes convergentes del aforador, tiene el propósito de acelerar el flujo y encausarlo para así disminuir las posibles diferencias de velocidad que pueden existir, de manera que cuando el flujo cruce la sección de la garganta se encuentre lo más uniforme posible. Teóricamente se espera que por cada centímetro lineal de garganta pase esencialmente un mismo volumen de agua. Debido a la relativamente corta longitud de la sección de entrada, la redistribución de flujo en esta sección es muy limitada.

Es recomendable que se mantengan adecuadas condiciones de aproximación toda vez que se desee precisión en el aforo. Para ésto se recomienda que el aforador se instale en un tramo recto del canal de manera que el agua entre uniformemente distribuída a la sección convergente, con las líneas de flujo esencialmente paralelas. Por conveniencia el aforador puede instalarse en un punto cercano a la toma de agua o compuerta de regulación, sobre todo en los casos donde las condiciones de operación requieren fluctuaciones continuas de descarga. Sin embargo, debe tenerse cuidado en no instalar el aforador en un punto muy cercano a la compuerta ya que la operación de la misma podría causar condiciones inestables de flujo las que afectarían su medida. Al mismo tiempo el aforador no deberá instalarse inmediatamente aguas abajo de una alcantarilla o cualquier otro tipo de estructura que cause turbulencia o constricción del flujo.<sup>1/</sup>

Con el objeto de facilitar un mantenimiento adecuado al aforador deberá instalarse en un lugar de fácil acceso.

---

<sup>1/</sup> La relación  $h_a \div L$  debe ser 0.4 ó menor. Esto asegurará una mayor precisión<sup>a</sup> en el aforo, así como, condiciones de flujo de aproximación similares a las del laboratorio en que hicieron las calibraciones (Kraatz, D. B. y I.K.Mahajan, 1975. p.248)

Después de haber seleccionado el lugar de instalación se deberá obtener información sobre los flujos máximos y mínimos, así como también las correspondientes profundidades de agua y las dimensiones del canal en el lugar de instalación. Estas dimensiones deberán incluir el ancho y profundidad del canal, los taludes y el bordo libre.

La profundidad del flujo aguas abajo permanecerá esencialmente la misma después de la instalación del aforador, pero la profundidad de flujo aguas arriba aumentará en una magnitud igual a la pérdida de carga en el aforador.

Para el propósito de diseño, las pérdidas de carga se consideran igual a la diferencia de elevación entre las superficies de aguas a la entrada y salida del aforador. El aumento máximo permisible de la profundidad aguas arriba está limitado por la altura del bordo libre del canal aguas arriba del aforador. Si la pérdida de carga es tal que existe el peligro de producirse un desborde de agua, será necesario instalar un aforador de mayor tamaño u operar el aforador bajo condiciones de flujo sumergido. También se debe considerar la posibilidad de aumentar el bordo libre del canal.

#### Caso de Flujo Libre

Es preferible, toda vez que las circunstancias lo permitan, instalar el aforador "Sin Cuello" de manera que opere bajo condiciones de flujo libre; es decir, que el valor de Sumersión  $S$ , no exceda el valor de Sumersión Transitoria,  $S_t$ .

Una vez seleccionado el lugar apropiado los pasos a seguir son los siguientes:

1. Determinar las dimensiones del canal y estimar el caudal máximo y el mínimo esperado.
2. Localizar en el lugar de instalación el tirante hidráulico correspondiente al máximo caudal y determinar su profundidad.
3. Calcular el valor  $h_a$  máximo en el aforador por usar, correspondiente a la máxima descarga en el canal.
4. Calcular el valor  $h_b$  para una sumersión máxima igual a la Sumersión Transitoria,  $S_t$ .

El fondo del aforador deberá colocarse por debajo del nivel del tirante hidráulico, determinado en el segundo paso, a una profundidad máxima igual al valor  $h_b$  correspondiente a la sumersión transitoria y al caudal máximo.

En general el fondo del aforador deberá colocarse lo más alto posible de acuerdo a las condiciones del canal que permitan un flujo libre.

Supongamos que se desea instalar un aforador "Sin Cuello" operando bajo condiciones de flujo libre en un canal en el cual se ha determinado lo siguiente:

$$Q \text{ max.} = 400 \text{ Lts/seg}$$

$$Q \text{ min.} = 30 \text{ Lts/seg.}$$

Taludes: 1:1  
 Tirante Máximo: 41.5 cm  
 Fondo o plantilla: 1.25 m  
 Bordo Libre: 12 cm

Al examinar el Cuadro 3, vemos que los aforadores de longitud,  $L$ , de 180 y 270 centímetros pueden ser utilizados para la descarga máxima de 400 lts/seg. Para estos aforadores los valores de  $h_a$  encontrados en la Tabla y correspondientes al caudal máximo son:

Tamaño del aforador (W X L) en cm	$h_a$ cm
40 X 180	58.5
60 X 180	45.5
30 X 270	75.0
60 X 270	48.0
100 X 270	34.0

Los valores de sumersión transitoria de  $S_t = 73.7\%$  para el aforador de  $L = 180$  cm y el de  $S_t = 79.7\%$  para el aforador de 270 cm de longitud se obtiene directamente del Cuadro 1. Las pérdidas de carga en el aforador pueden calcularse multiplicando el valor de  $h_a$  por  $(1 - S_t/100)$ . De esta manera, las pérdidas de carga para los aforadores considerados son:

<u>Aforador</u>	<u><math>h_a (1 - S_t / 100)</math></u>
40 X 180	58.5 (0.263) = 15.4 cm
60 X 180	45.5 (0.263) = 12.0 cm

<u>Aforador</u>	<u><math>h_a (1 - S_t / 100)</math></u>
20 X 270	75.0 (0.203) = 15.2 cm
60 X 270	48.5 (0.203) = 9.85 cm
100 X 270	34.0 (0.203) = 6.9 cm

Considerando que el bordo libre del canal es de 12 cm el aforador de 60 X 180 cm podría seleccionarse siempre y cuando los bancos del canal puedan ser levantados para evitar el desborde del agua. Si esto no fuese posible, la siguiente selección económica sería el aforador de 60 X 270 cm .

Si al inspeccionar el lugar de instalación se concluye que el aforador de 60 X 180 cm puede ser instalado sin peligro de desborde, se procede a la instalación colocando el piso del aforador a una profundidad por debajo del nivel normal del flujo igual a  $h_b$ . Para nuestro caso,

$$h_b = h_a \times S_t = 45.5 \times 0.737 = 33.5 \text{ cm}$$

En la Figura 3, se muestra gráficamente la instalación del aforador de 60 X 180 cm para un caudal máximo de 400 litros/segundo bajo condiciones de flujo libre. Un aforador más pequeño resultaría en una pérdida de carga excesiva y desborde de agua, al menos que se pueda instalar sumergido como veremos a continuación.

Selección de las dimensiones usando fórmulas<sup>1/</sup>

Mediante las ecuaciones (6) y (7) se pueden aproximar las dimensiones adecuadas para el aforador que se desea instalar para que funcione en flujo libre.

Integrando las ecuaciones y despejando términos se tiene,

$$h_a = (Q / K.W^{1.025})^{1/n} \quad (12)$$

Utilizando el ejemplo anterior, seguimos el siguiente procedimiento,

- a. Hallamos el valor  $S_t$  tentativo, dividiendo el tirante de flujo máximo en el canal, entre esta cantidad más el bordo libre máximo (asumiendo que esta relación será similar a aquella entre  $h_b / h_a$  del aforador).

$$\text{Así, } S_t \text{ (tentativo)} = 41.5 / (41.5 + 12) = 0.776$$

- b. Del Cuadro 1, vemos que el aforador de L 2.2 a 2.4 m tendría una sumersión transitoria similar. Elegimos el de L = 2.2 m (por economía).

---

<sup>1/</sup> Este procedimiento se ha obtenido interpretando aquel de Kraatz D. B. and I. K. Mahajan, 1975.

(notar que en el ejemplo anterior no se podían elegir estas dimensiones debido a que sólo hay Tablas para  $L = 180$  y  $270$  cm )

c. La sumersión transitoria,  $K$  y  $n$  del Cuadro 1, para  $L = 2.2$  m son,

$$S_t = 0.77$$

$$n = 1.60$$

$$K = 2.30$$

d. Utilizando la ecuación para  $Q = 0.4 \text{ m}^3/\text{seg}$ , hallamos  $h_a$ , probando diversos valores para la dimensión de la garganta  $W$ , hasta que nos de " $h_a$ " inferior a la suma del tirante de flujo máximo más la dimensión del bordo libre ( $41.5 + 12 = 53.5$ ).

e. Así,	$W$	$h_a$	$h_b = h_a \times S_t$
	0.30	0.72	0.56
	0.50	0.52	0.40
	0.60	0.46	0.36

Se podría elegir el aforador 60 X 220 para tener una mayor seguridad de evitar el desborde.

El piso del aforador se pondría a 36 cm por debajo del nivel máximo del tirante hidráulico del canal.

Se presenta en el anexo un programa de computadora de bolsillo para ayudar en los cálculos (Cuadro 6).

### Caso del Flujo Sumergido

En el caso de flujo libre se vió que es conveniente el reducir la profundidad aguas arriba lo más posible con el propósito de evitar posibles desbordes de agua. Ciertas condiciones tales como poca pendiente en el canal o aumento tirante hidráulico como resultado del crecimiento de malezas u otras obstrucciones, hacen imposible o impráctico la instalación de un aforador "Sin Cuello" para que opere bajo condiciones de flujo libre. En estas circunstancias se deberá instalar el aforador para que funcione sumergido.

La ventaja principal de instalar un aforador para que funcione sumergido es la de requerir una pérdida de carga en el medidor menor que bajo condiciones de flujo libre. Esta menor pérdida de carga puede significar el que no exista la necesidad de elevar los bancos del canal aguas arriba del aforador para evitar el posible desborde de agua que puede ocurrir con la descarga máxima.

Para que el aforador funcione sumergido es necesario que el piso del medidor sea colocado a nivel y lo más cerca posible al fondo del canal. De esta manera se permitirá un rápido desague de la sección del canal aguas arriba del aforador reduciéndose las pérdidas por percolación, particularmente cuando la descarga es menor que la máxima.

El instalar el aforador "Sin Cuello" para que funcione sumergido requiere los siguientes pasos:

1. Establecer la descarga máxima a medirse, así como también las características del canal.
2. Localizar en las paredes del canal el nivel del tirante hidráulico correspondiente a la descarga máxima.
3. Determinar la máxima pérdida de carga permisible de acuerdo al borde libre del canal aguas arriba del aforador.

4. Calcular el valor de Sumersión,  $S$ .
5. Seleccionar la longitud del aforador deseada.
6. Calcular el valor del coeficiente del flujo sumergido,  $C_s$ .
7. Calcular la amplitud mínima de la garganta,  $W$ .

Consideremos el mismo canal y condiciones citadas en el caso de flujo libre con la diferencia de que solamente podemos permitir un aumento del tirante hidráulico aguas arriba del aforador de 10 cm. Bajo estas condiciones el aforador deberá instalarse para que opere sumergido y, así evitar el desborde de agua.

Los datos tomados entonces son los siguientes:

$$Q \text{ máx.} = 400 \text{ Lts/seg}$$

$$\text{Tirante Máximo} = 41.5 \text{ cm}$$

$$\text{Máxima pérdida de carga} = 10 \text{ cm}$$

Desde que el aforador deberá colocarse en el fondo del canal, el valor  $h_b$  para el máximo caudal de 400 Lts/seg será igual al tirante hidráulico para esa descarga. Entonces  $h_b = 41.5 \text{ cm}$ .

La máxima pérdida de carga permisible en el aforador,  $h_m$ , para evitar el desborde de agua es de 10 cm. De esta manera el valor de  $h_a$  será:

$$h_a = h_b + h_m = 41.5 + 10.0 = 51.5 \text{ cm.}$$

Como se indicara anteriormente, la relación  $h_a/L$  en descarga máxima no debe ser mayor de 0.4, por lo que,

$$0.4 = \frac{h_a}{L}$$

$$L = 51.5/0.4 = 128.7 \text{ cm.}$$

Para evitar interpolar elegimos del Cuadro 1  $L=140$  cm (que nos daría aún una relación  $h_a/L$  menor que 0.4)

En el Cuadro 1 encontramos para esta longitud,  $St = 70.5$

$$n = 1.712$$

$$n_s = 1.407$$

$$K_s = 1.56$$

Nuestro valor  $S = (41.5/51.5) \times 100 = 80.6\%$  nos indica al comparar con  $St$ , que el aforador funcionaría sumergido.

Buscamos el valor del ancho de la garganta  $W$ , para una descarga máxima de  $Q = 0.4 \text{ m}^3/\text{seg}$ , con ayuda de las ecuaciones (8) y (9),

$$Q = C_s (h_a - h_b)^n / (\text{colg } S)^{n_s}$$

$$C_s = K_s W^{1.025}$$

despejando términos,

$$W = (Q \times (\text{colg } S)^{n_s} / K_s (h_a - h_b)^n)^{1/1.025}$$

en este caso,

$$W = (0.4 \times (\log \frac{1}{0.8058})^{1.407} / 1.56 (0.515 - 0.415)^{1.712})^{0.9756}$$

$$W = (0.4 \times 0.09377^{1.407} / 1.56 \times 0.1^{1.712})^{0.9756}$$

$$W = (0.4 \times 0.035784 / 1.56 \times 0.019409)^{0.9756}$$

$$W = 0.4815 \text{ m } \hat{=} \text{ aprox. } 0.50 \text{ m.}$$

Una vez que las paredes metálicas han sido limpiadas se puede aplicar una pintura asfáltica la cual prolongará la vida del aforador y retrasará la formación de incrustaciones. En la sección de entrada se pueden acumular escombros y residuos vegetales, los que deberán eliminarse periódicamente.

El aforador "Sin Cuello", como cualquier otro aforador, está supeitado a asentamiento después de haber estado en operación por un cierto tiempo. Por este motivo el nivel del piso de la sección de entrada deberá ser verificado después de unos pocos meses de operación y nuevamente al final de cada estación de uso o al final del año.

Tanto el asentamiento como una impropia instalación pueden causar una inclinación lateral. Si el asentamiento es de un grado menor, la descarga puede todavía ser estimada con exactitud midiendo las profundidades de flujo a ambos lados del aforador. La descarga entonces deberá ser determinada usando las tablas o ecuaciones y el promedio de las dos lecturas.

El asentamiento ocurre más comunmente cerca de la sección de salida. El asentamiento es más común en esta sección debido a la erosión que ocurre en este lugar como consecuencia de la acción del agua. Bajo estas condiciones el uso de las profundidades  $h_a$  y  $h_b$  para obtener la descarga por medio de ecuaciones, nomogramas o tablas resultarán en valores menores que la descarga verdadera. La discrepancia entre el valor de descarga estimado y el valor de descarga verdadero resulta mayor a medida que el asentamiento aumenta. Soluciones satisfactorias a este problema serían el recobrar el nivel elevando la parte baja del aforador y colocar un nuevo piso a nivel en el aforador.

REFERENCIAS

1. Achers, P., y A. J. M. Harrison. 1963. Critical-Depth Flumes for Flow Measurements in Open Channels. Hydraulic Research Paper No.6. Estación de Investigación Hidráulica, Departamento de Investigación Científica e Industrial. Wallingford, Berhshire, Inglaterra.
2. Hyatt, M. L. 1965. Design, Calibration, and Evaluation of Trapezoidal Flume by Model Study. Tesis de Masters of Science no publicada, Biblioteca de Utah State University, Logan, Utah, U.S.A.
3. Kraatz, D. B. and I. K. Mahajan. 1975. Small Hydraulic Structures. FAO, Irrigation and Drainage Paper N°26/z.
4. Parshall, R. L. 1926. The Improved Ventury Flume. American Society of Civil Engineer, Transactions. 89: 891-880
5. Robinson, A. R., y A. R. Chamberlain. 1960. Trapezoidal Flumes for Open Channel Flow Measurements. American Society of Agricultural Engineers, Transactions. 3(2):120-124,128.
6. Skogerboe, G. V., R. S. Bennett, and W. R. Walker. 1972. Installation and Field Use of Cutthroat Flumes for Water Management. Water Management Technical Report No.19. Colorado State University.
7. Skogerboe, G. V., M. L. Hyatt, y K. O. Eggleston. 1967. Design and Calibration of Submerged Open Channel Flow Measurement Structures: Part 1, Submerged Flow. Report WG 31-2 Utah Water Research Laboratory, College of Engineering, Utah State University.
8. Skogerboe, G. J., M. L. Hyatt, R. K. Anderson, y K. O. Eggleston. 1967. Design and Callibration of Submerged Open Channel Flow Measurement Structure: Part 3, Cutthroat Flumes. Report WG-31-4. Utah Water Research Laboratory, College of Engineering, Utah State University.



Cuadro 1. Relación entre la Longitud del Aforador (L), la Sumersión Transitoria (St) y los Coeficientes y Exponentes para el Cálculo de la Descarga en Condiciones de Flujo Libre y Sumergido

L Metros	St %	Flujo Libre n	Flujo Libre K	Flujo Sumergido n <sub>s</sub>	Flujo Sumergido K <sub>s</sub>
0.5	60.7	2.08	6.15	1.675	3.5
0.6	62.0	1.989	5.17	1.60	2.9
0.7	63.0	1.932	4.63	1.55	2.6
0.8	64.2	1.88	4.18	1.513	2.35
0.9	65.3	1.843	3.89	1.483	2.15 (2.18)*
1.0	66.4	1.81	3.60	1.456	2.0
1.2	68.5	1.756	3.22	1.427	1.75
1.4	70.5	1.712	2.93	1.407	1.56
1.6	72.0	1.675	2.72	1.393	1.45
1.8	73.8	1.646	2.53 (2.48)*	1.386	1.32
2.0	75.5	1.620	2.40	1.381	1.24
2.2	77.0	1.60	2.30	1.378	1.18
2.4	78.4	1.579	2.22	1.381	1.12
2.6	79.5	1.568	2.15	1.386	1.08
2.7	80.5	1.562	2.13	1.39	1.06

\*Estas cifras se usan en los ejemplos del texto, la diferencia se debe a que se han obtenido de figuras. Para casos reales, use las cifras sin paréntesis.

Cuadro 2. Valores de (Colog S) para varios valores de Sumersión,S.

S	Colog S	S	Colog S
0.65	0.1871	0.83	0.0809
0.66	0.1805	0.84	0.0757
0.67	0.1739	0.85	0.0706
0.68	0.1675	0.86	0.0655
0.69	0.1612	0.87	0.0605
0.70	0.1549	0.88	0.0555
0.71	0.1487	0.89	0.0506
0.72	0.1427	0.90	0.0458
0.73	0.1367	0.91	0.0410
0.74	0.1308	0.92	0.0362
0.75	0.1249	0.93	0.0315
0.76	0.1192	0.94	0.0269
0.77	0.1135	0.95	0.0223
0.78	0.1079	0.96	0.0177
0.79	0.1024	0.97	0.0132
0.80	0.0969	0.98	0.0088
0.81	0.0915	0.99	0.0044
0.82	0.0862		

Cuadro 3. Calibraciones de Flujo Libre para Aforadores sin Cuello  
 Seleccionados Expresados en Función del Ancho de la  
 Garganta (W) x Longitud del Aforador (L)  
 (Kraatz, D.E. y I.K. Mahajan, 1975 II p. 252)

Ha (m)	Descarga Q (m <sup>3</sup> por segundo)								
	10 x 90 cm	20 x 90 cm	30 x 90 cm	20 x 180 cm	40 x 180 cm	60 x 180 cm	30 x 270 cm	60 x 270 cm	100 x 270 cm
.005	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001
.010	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.001	.002
.015	.000	.000	.000	.000	.001	.001	.001	.002	.003
.020	.000	.001	.001	.001	.002	.002	.001	.003	.005
.025	.000	.001	.001	.001	.002	.003	.002	.004	.007
.030	.001	.001	.002	.001	.003	.005	.003	.005	.009
.035	.001	.002	.002	.002	.004	.006	.003	.007	.011
.040	.001	.002	.003	.002	.005	.007	.004	.008	.014
.045	.001	.003	.004	.003	.006	.009	.005	.010	.017
.050	.001	.003	.004	.003	.007	.011	.006	.012	.020
.055	.002	.004	.005	.004	.008	.012	.007	.014	.023
.060	.002	.004	.006	.005	.009	.014	.008	.016	.026
.065	.002	.005	.007	.005	.011	.016	.009	.018	.030
.070	.003	.006	.008	.006	.012	.018	.010	.020	.034
.075	.003	.006	.009	.007	.014	.021	.011	.022	.038
.080	.003	.007	.011	.007	.015	.023	.012	.025	.042
.085	.004	.008	.012	.008	.017	.025	.013	.027	.046
.090	.004	.009	.013	.009	.018	.028	.015	.030	.050
.095	.005	.010	.014	.010	.020	.030	.016	.032	.054
.100	.005	.011	.016	.011	.022	.033	.017	.035	.059
.105	.006	.012	.017	.012	.024	.036	.018	.038	.063
.110	.006	.013	.019	.013	.026	.039	.020	.040	.068
.115	.007	.014	.021	.013	.027	.042	.021	.043	.073
.120	.007	.015	.022	.014	.029	.045	.023	.046	.078
.125	.008	.016	.024	.015	.032	.048	.024	.049	.083
.130	.008	.018	.026	.016	.034	.051	.026	.052	.089
.135	.009	.019	.028	.018	.036	.054	.027	.056	.094
.140	.010	.020	.030	.019	.038	.057	.029	.059	.099
.145	.010	.022	.031	.020	.040	.061	.031	.062	.105
.150	.011	.023	.034	.021	.043	.064	.032	.066	.111
.155	.012	.024	.036	.022	.045	.068	.034	.069	.117
.160	.012	.026	.038	.023	.047	.072	.036	.073	.122
.165	.013	.027	.040	.024	.050	.075	.037	.076	.129
.170	.014	.029	.042	.026	.052	.079	.039	.080	.135
.175	.014	.031	.045	.027	.055	.083	.041	.083	.141
.180	.015	.032	.047	.028	.058	.087	.043	.087	.147
.185	.016	.034	.049	.030	.060	.091	.045	.091	.154
.190	.017	.036	.052	.031	.063	.095	.047	.095	.160
.195	.018	.037	.054	.032	.066	.099	.049	.099	.167
.200	.018	.039	.057	.034	.068	.104	.051	.103	.174

Cuadro 3. (Continuación)

Ha (cm)	Descarga Q (m <sup>3</sup> por segundo)								
	10 x 90 cm	20 x 90 cm	30 x 90 cm	20 x 180 cm	40 x 180 cm	60 x 180 cm	30 x 270 cm	60 x 270 cm	100 x 270 cm
.205	.019	.041	.060	.035	.071	.108	.052	.107	.180
.210	.020	.043	.062	.036	.074	.112	.055	.111	.187
.215	.021	.045	.065	.038	.077	.117	.057	.115	.194
.220	.022	.047	.068	.039	.080	.121	.059	.119	.201
.225	.023	.049	.071	.041	.083	.126	.061	.123	.209
.230	.024	.051	.074	.042	.086	.130	.063	.128	.216
.235	.025	.053	.077	.044	.089	.135	.065	.132	.223
.240	.026	.055	.080	.045	.092	.140	.067	.137	.231
.245	.027	.057	.083	.047	.096	.145	.069	.141	.238
.250	.028	.059	.086	.049	.099	.150	.072	.146	.246
.255	.029	.061	.089	.050	.102	.155	.074	.150	.254
.260	.030	.063	.092	.052	.106	.160	.076	.155	.261
.265	.031	.066	.096	.053	.109	.165	.078	.159	.269
.270	.032	.068	.099	.055	.112	.170	.081	.164	.277
.275	.033	.070	.102	.057	.116	.175	.083	.169	.285
.280	.034	.073	.106	.059	.119	.180	.085	.174	.293
.285	.035	.075	.109	.060	.123	.186	.088	.179	.302
.290	.037	.078	.113	.062	.126	.191	.090	.183	.310
.295	.038	.080	.116	.064	.130	.197	.093	.188	.318
.300	.039	.082	.120	.066	.134	.202	.095	.193	.327
.305	.040	.085	.124	.067	.137	.208	.098	.199	.335
.310	.041	.088	.127	.069	.141	.213	.100	.204	.344
.315	.043	.090	.131	.071	.145	.219	.103	.209	.353
.320	.044	.093	.135	.073	.149	.225	.105	.214	.361
.325	.045	.096	.139	.075	.152	.231	.108	.219	.370
.330	.046	.098	.143	.077	.156	.237	.110	.224	.379
.335	.048	.101	.147	.079	.160	.243	.113	.230	.388
.340	.049	.104	.151	.081	.164	.249	.116	.235	.397
.345	.050	.107	.155	.083	.168	.255	.118	.241	.406
.350	.052	.110	.159	.085	.172	.261	.121	.246	.416
.355	.053	.112	.164	.087	.176	.267	.124	.252	.425
.360	.054	.115	.168	.089	.180	.273	.126	.257	.434
.365	.056	.118	.172	.091	.185	.279	.129	.263	.444
.370	.057	.121	.177	.093	.189	.286	.132	.268	.453
.375	.059	.124	.181	.095	.193	.292	.135	.274	.463
.380	.060	.127	.185	.097	.197	.299	.138	.280	.473
.385	.062	.131	.190	.099	.202	.305	.140	.286	.482
.390	.063	.134	.195	.101	.206	.312	.143	.291	.492
.395	.065	.137	.199	.103	.210	.318	.146	.297	.502
.400	.066	.140	.204	.105	.215	.325	.149	.303	.512
.405	.068	.143	.209	.108	.219	.332	.152	.309	.522
.410	.069	.147	.213	.110	.224	.339	.155	.315	.532
.415	.071	.150	.218	.112	.228	.345	.158	.321	.542
.420	.072	.153	.223	.114	.233	.352	.161	.327	.552
.425	.074	.157	.228	.116	.237	.359	.164	.333	.563
.430	.076	.160	.233	.119	.242	.366	.167	.339	.573
.435	.077	.163	.238	.121	.247	.373	.170	.346	.584
.440	.079	.167	.243	.123	.251	.380	.173	.352	.594
.445	.080	.170	.248	.126	.256	.388	.176	.358	.605
.450	.082	.174	.253	.128	.261	.395	.179	.364	.615

Cuadro 3. (Continuación)

Ha (cm)	Descarga Q (m <sup>3</sup> por segundo)								
	10 x 90 cm	20 x 90 cm	30 x 90 cm	20 x 180 cm	40 x 180 cm	60 x 180 cm	30 x 270 cm	60 x 270 cm	100 x 270 cm
.455				.130	.266	.402	.182	.371	.626
.460				.133	.270	.409	.185	.377	.637
.465				.135	.275	.417	.189	.383	.648
.470				.138	.280	.424	.192	.390	.659
.475				.140	.285	.432	.195	.396	.669
.480				.142	.290	.439	.198	.403	.681
.485				.145	.295	.447	.201	.409	.692
.490				.147	.300	.454	.205	.416	.703
.495				.150	.305	.462	.208	.423	.714
.500				.152	.310	.470	.211	.429	.725
.505				.155	.315	.477	.214	.436	.737
.510				.157	.321	.485	.218	.443	.748
.515				.160	.326	.493	.221	.450	.760
.520				.162	.331	.501	.224	.457	.771
.525				.165	.336	.509	.228	.463	.783
.530				.168	.342	.517	.231	.470	.794
.535				.170	.347	.525	.235	.477	.806
.540				.173	.352	.533	.238	.484	.818
.545				.176	.358	.541	.242	.491	.830
.550				.178	.363	.550	.245	.498	.842
.555				.181	.369	.558	.249	.505	.854
.560				.184	.374	.566	.252	.513	.866
.565				.186	.380	.575	.256	.520	.878
.570				.189	.385	.583	.259	.527	.890
.575				.192	.391	.591	.263	.534	.902
.580				.195	.396	.600	.266	.541	.914
.585				.197	.402	.609	.270	.549	.927
.590				.200	.408	.617	.273	.556	.939
.595				.203	.414	.626	.277	.563	.952
.600				.206	.419	.635	.281	.571	.964
.605							.284	.578	.977
.610							.288	.586	.989
.615							.292	.593	1.002
.620							.295	.601	1.015
.625							.299	.608	1.028
.630							.303	.616	1.040
.635							.307	.624	1.053
.640							.310	.631	1.066
.645							.314	.639	1.079
.650							.318	.647	1.092
.655							.322	.655	1.106
.660							.326	.662	1.119
.665							.330	.670	1.132
.670							.333	.678	1.145
.675							.337	.686	1.159
.680							.341	.694	1.172
.685							.345	.702	1.186
.690							.349	.710	1.199
.695							.353	.718	1.213
.700							.357	.726	1.226
.705							.361	.734	1.240
.710							.365	.742	1.254
.715							.369	.750	1.268
.720							.373	.759	1.281
.725							.377	.767	1.295
.730							.381	.775	1.309
.735							.385	.784	1.323
.740							.389	.792	1.337
.745							.393	.800	1.352
.750							.398	.809	1.366

CALCULO DE LA DESCARGA CON EL AFORADOR SIN CUELLO  
FLUJO LIBRE

HP-29 C  
HP-25

Datos: Longitud del Aforador (L), ancho de la garganta (W), lectura a la entrada (Ha) (todas las unidades son en metros).

Fórmulas:  $Q = C (Ha)^n$  ;  $C = KW^{1.025}$

Registros ManualesPrograma para la HP-29 C

<u>REG</u>	<u>Datos</u>	<u>Fuente</u>	<u>Paso</u>	<u>Tecla</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>	<u>T</u>
0	W	Ancho garganta			Entre → Ha	(después de entrar el programa, procedimiento paso 2)		
1	n	Cuadro 1	1	LBLO				
2	K	Cuadro 1	2	RCL0	W	Ha		
3	1.025		3	RCL3	1.025	W	Ha	
			4	Y <sup>x</sup>	W <sup>1.025</sup>	Ha		
			5	RCL2	K	W <sup>1.025</sup>	Ha	
			6	*	C	Ha		
1)	Entre el programa, y los datos en los registros indicados.		7	X $\lesseqgtr$ Y	Ha	C		
			8	RCL1	n	Ha	C	
2)	Entre el valor de Ha para el cual desea calcular Q		9	Y <sup>x</sup>	Ha <sup>n</sup>	C		
3)	Presione GSBO y obtenga Q		10	*	Q			
4)	Repita 2 y 3, cuantas veces desee con nuevos valores de Ha.		11	RTN				

Para HP-25

No ponga la instrucción LBLO, y ponga R/S en lugar de la última instrucción. Presione F-PRGM antes de comenzar el primer cálculo.

Nota: del Cuadro 1 obtenga el valor St y cerciorese que éste es mayor que la relación (Hb/Ha) X 100. De lo contrario debe usar el procedimiento para flujo sumergido.

Cuadro 5

CALCULO DE LA DESCARGA CON EL AFORADOR SIN CUELLO  
FLUJO SUMERGIDO

A-7

HP-29 C  
HP-25

Datos: Longitud del aforador (L), ancho de la garganta (W), lectura a la entrada (Ha), lectura a la salida (Hb). (Todas las unidades son metros).

Fórmulas:  $Q = C_s (H_a - H_b)^n / (\log (1/S))^{n_s}$

$C_s = K_s W^{1.025}$

$S = H_b / H_a$

Registros Manuales

Programa para HP-29 C

REG	Datos	Fuente	Paso	Tecla	X	Y	Z	T
0	W	Ancho garganta			Entre →Hb	Ha		
1	n	Cuadro 1	1	LBL1				(después de entrar programa, procedimiento paso 2)
2	-		2	X ≤ Y	Ha	Hb		
3	1.025		3	Sto 6	Ha	Hb		
4	n <sub>s</sub>	Cuadro 1	4	X ≤ Y	Hb	Ha		
5	K <sub>s</sub>	Cuadro 1	5	Sto-6	Hb	Ha		
			6	÷	1/S			
			7	log	log (1/S)			
			8	RCL4	n <sub>s</sub>	log(1/S)		
			9	Y <sup>x</sup>	denom			
1)	Entre el programa y los datos en los registros indicados.		10	RCL6	Ha-Hb	denom		
			11	RCL1	n	Ha-Hb	denom	
			12	Y <sup>x</sup>	(Ha-Hb) <sup>n</sup>	denom <sup>n</sup>		
2)	Entre los valores de Ha y Hb en ese orden.		13	X ≤ Y	denom	(Ha-Hb) <sup>n</sup>		
			14	÷	factor			
3)	Presione GSB1 y obtenga Q		15	RCL0	W	factor		
			16	RCL3	1.025	W	factor	
			17	Y <sup>x</sup>	W <sup>1.025</sup>	factor		
4)	Repita 2 y 3 para más datos del mismo aforador.		18	RCL5	k	W <sup>1.025</sup>	factor	
			19	*	C <sub>s</sub>	factor		
			20	*	Q <sub>s</sub>			
			21	RTN	Q			m <sup>3</sup> /seg

Para HP-25

No ponga la instrucción LBL1, y ponga R/S en lugar de la última instrucción. Presione f-PRGM antes del primer cálculo.

CALCULO DE LAS DIMENSIONES PARA EL  
DISEÑO DEL AFORADOR SIN CUELLO  
FLUJO LIBRE

HP-29C  
HP-25

Datos: tirante para flujo máximo en el canal (D), máximo bordo libre (HL), flujo máximo que pasará por el canal  $Q_{max}$ , m<sup>3</sup>/seg, (demás datos en metros).

Fórmula:  $H_a = (Q / W^{1.025} K)^{1/n}$

<u>Registros Manuales</u>			<u>Programa para HP - 29C</u>					
<u>Reg</u>	<u>Dato</u>	<u>Fuente</u>	<u>Paso</u>	<u>Tecla</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>	<u>T</u>
					Entre → W			
0	Q	dato (m <sup>3</sup> /seg)	1	LBL3	W	(nova en HP-25)		
1	n	Cuadro 1	2	RCL3	1.025	W		
2	K	Cuadro 1	3	Y <sup>x</sup>	W <sup>1.025</sup>			
3	1.025		4	RCL2	K	W <sup>1.025</sup>		
4	St	Cuadro 1	5	*	denom			
5	Ha	Calculado Prog	6	RCLO	Q	denom		
			7	X > Y	denom	Q		
			8	÷	( )			
(1)	Hallar la St tentativa dividiendo D/(D + HL)		9	RCL1	n	( )		
			10	1/X	1/n	( )		
(2)	Buscar en el Cuadro 1 el valor de L que tenga un St igual o inmediatamente mayor.		11	Y <sup>x</sup>	Ha			
			12	STO 5	Ha			
			13	PAUSE				Ha aparece por
			14	PAUSE				2 segs.
(3)	Con el valor de L, hallar n, K.		15	RCL4	St	Ha		Leer Hb
			16	*	Hb			
			17	RTN			(R/S en HP-25)	
(4)	Entrar los datos en los registros apropiados.							
(5)	Probar distintos valores de W, hasta obtener Ha inferior a la suma de (D+HL).							
(6)	El valor de Ha aparece en la pantalla por dos segundos y luego aparece Hb. También se puede hallar Ha presionando posteriormente RCL5.							
(7)	El piso del aforador se instala a una distancia Hb del nivel D de flujo máximo del canal.							

Para HP-25

No ponga la instrucción LBL3, y ponga R/S en lugar de la última instrucción. Presione f-PRGM antes del primer cálculo.

CALCULO DE LAS DIMENSIONES PARA EL  
DISEÑO DEL AFORADOR SIN CUELLO  
FLUJO SUMERGIDO

HP-29C  
HP-25

Datos: Máxima descarga (Q) m<sup>3</sup>/seg, tirante máximo del canal en máxima descarga (d máx), pérdida de carga máxima permisible sin desborde (H<sub>m</sub>). (Todas las unidades en metros).

Procedimiento:

- (1) Ha máximo = d max + H<sub>m</sub>
- (2) Hb = d max
- (3) L = Ha max/0.4, en caso de ser fraccionario o de no estar en el Cuadro 1 utilizar el valor inmediato mayor del Cuadro 1.
- (4) Hallar para L, los valores de S<sub>t</sub>, n, n<sub>s</sub> y K<sub>s</sub> del Cuadro 1. Compruebe que Hb/Ha es mayor que S<sub>t</sub>/100.
- (5) Entre el programa y los datos. Presione GSB2 y obtenga valores de W en metros.

Registros Manuales

Programa para HP - 29C

Reg	Datos	Fuente	Paso	Tecla	X	Y	Z	T
				Entre →	Hb	Ha	Q	
0			1	LBL2				
1	n		2	X ≥ Y	Ha	Hb	Q	
2			3	STO6	Ha	Hb	Q	
3	1.025		4	X ≥ Y	Hb	Ha	Q	
4	n <sub>s</sub>		5	STO-6	Hb	Ha	Q	
5	K <sub>s</sub>		6	÷	1/S	Q		
			7	Log	log 1/S	Q		
			8	RCL4	n <sub>s</sub>	log 1/S	Q	
			9	Y <sup>x</sup>	( ) <sup>n</sup>	Q		
			10	*	numer			
			11	RCL5	Ks	numer		
			12	RCL6	Ha-Hb	Ks	numer	
			13	RCL1	n	Ha-Hb	Ks	
			14	Y <sup>x</sup>	(Ha-Hb) <sup>n</sup>	Ks	numer	numer
			15	*	denom	numer	numer	numer
			16	÷	( )	numer	numer	numer
			17	RCL3	1.025	( )	numer	numer
			18	1/X	1/1.025	( )		numer
			19	Y <sup>x</sup>	W			(metros)
			20	RTN				

Para HP-25

No ponga la instrucción LBL2, y ponga R/S en lugar de la última instrucción. Presione f-PRGM antes del primer cálculo.

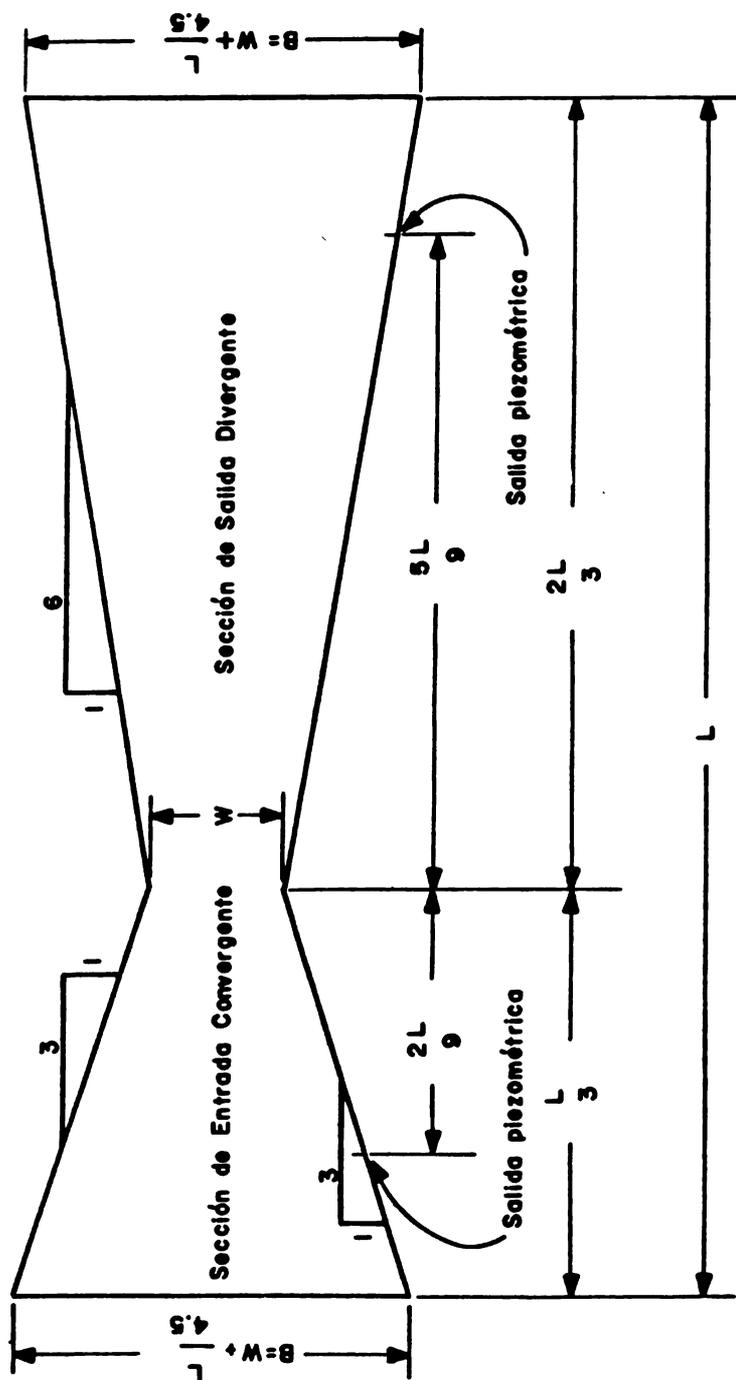


FIGURA 1: Diagrama del Aforador Sin Cuello-- Planta, (85)

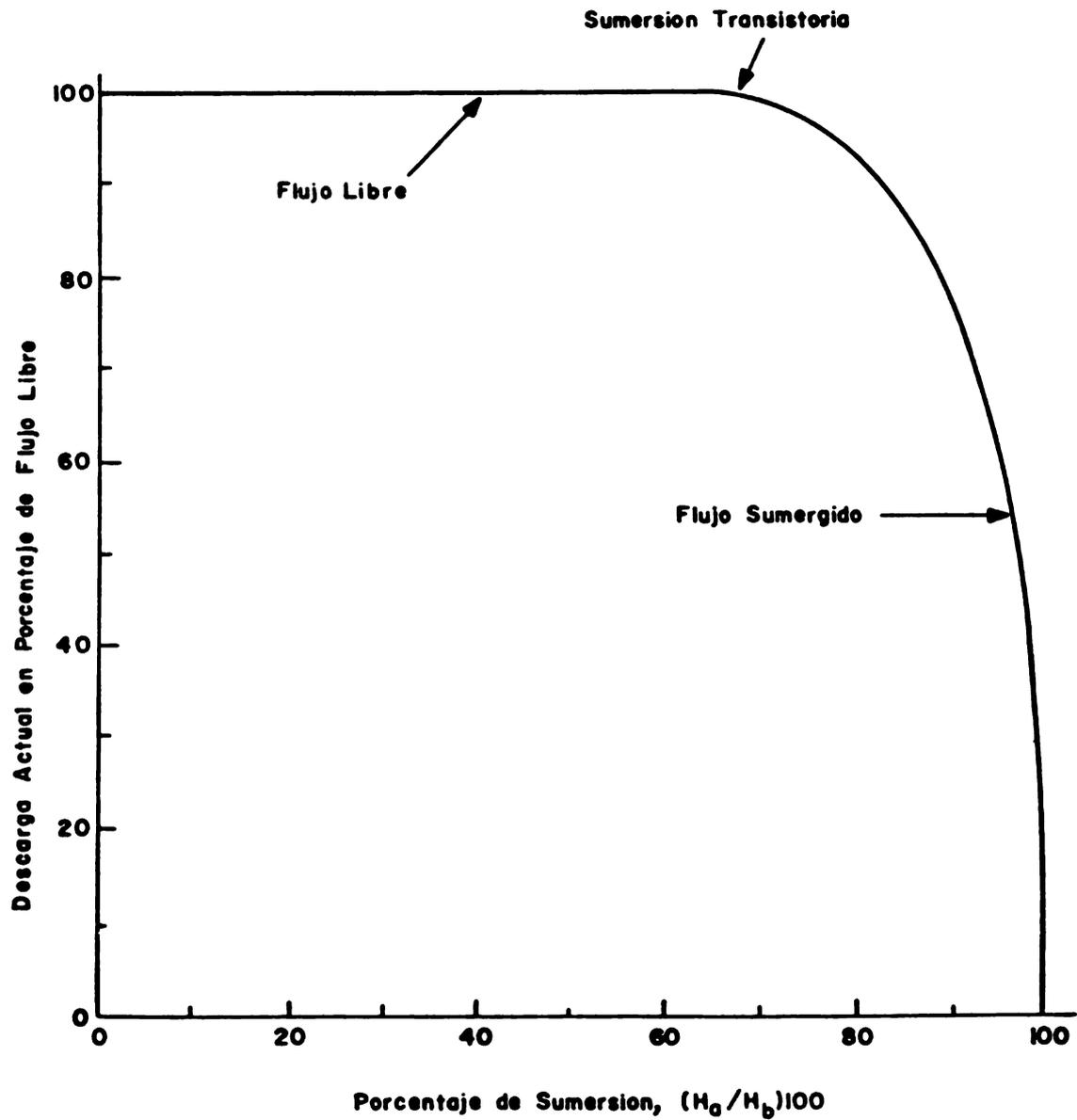
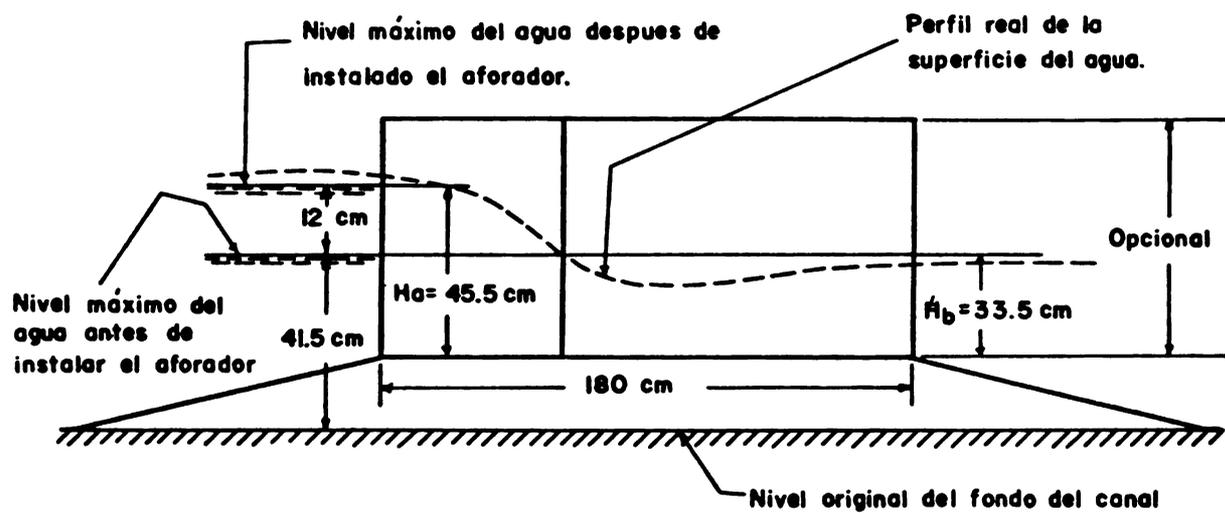
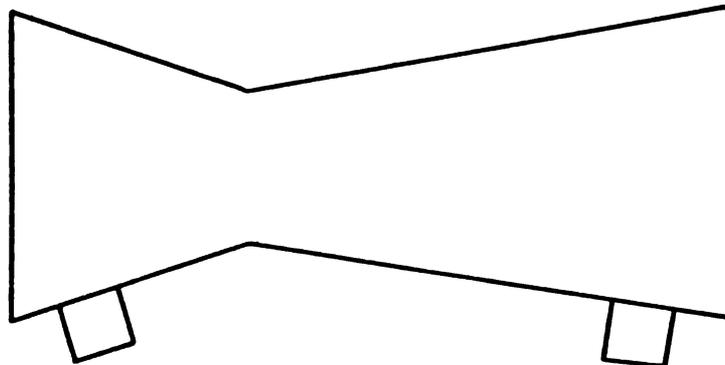
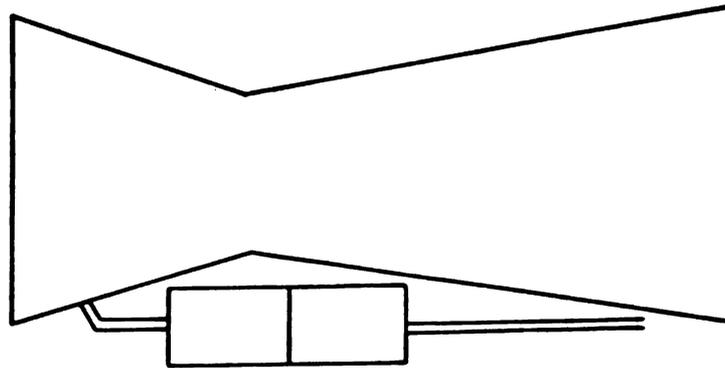
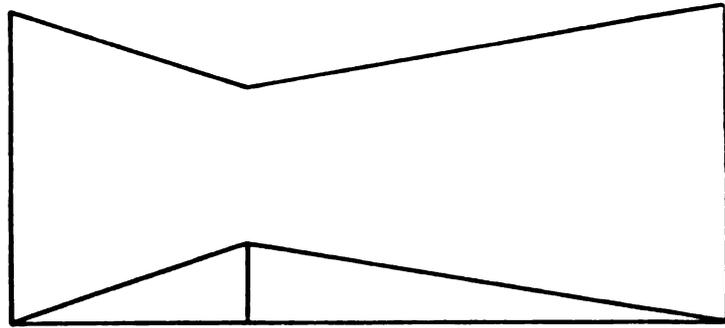


FIGURA 2: Efecto de la sumersión en el aforador "Sin Cuello" de 30x 90 cm



**FIGURA 3:** Instalación de un aforador sin cuello de 60 x 180 cm Para un gasto máximo de 400 L/s y operación en libre. (Kraatz, D. B. y I. K. Mahajan. 1975. II. p. 245).



**FIGURA 4:** Posibles formas de instalación de pozos tranquilizadores para permitir una mayor facilidad y exactitud al medir las profundidades  $h_a$  y  $h_b$

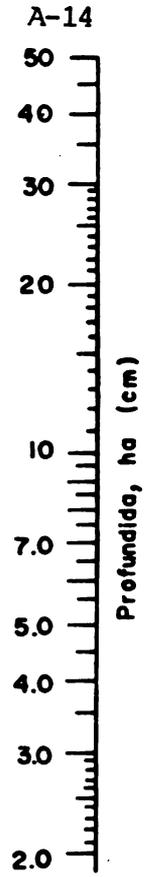
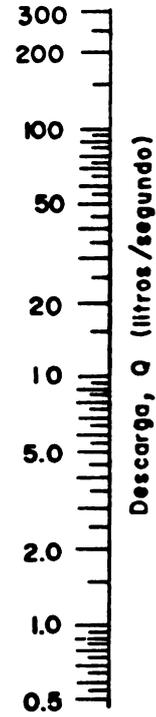
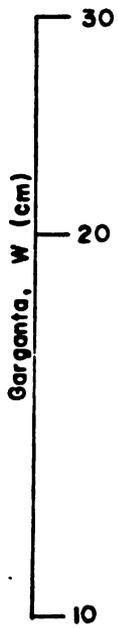


FIGURA 5: Solución de la ecuación de descarga de flujo libre para aforadores "Sin Cuello" de longitud  $L = 90$  cm

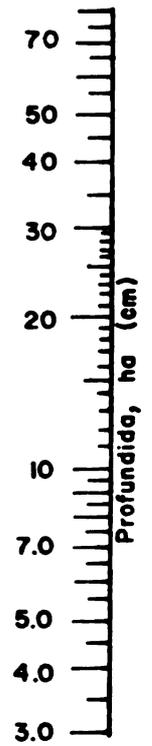
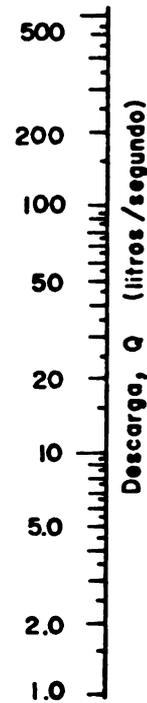
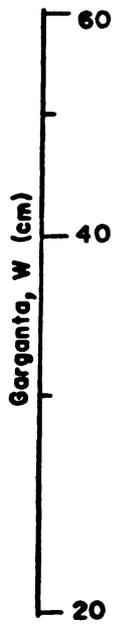


FIGURA 6: Solución de la ecuación de descarga de flujo libre para aforadores "Sin Cuello" de longitud  $L = 180$  cm

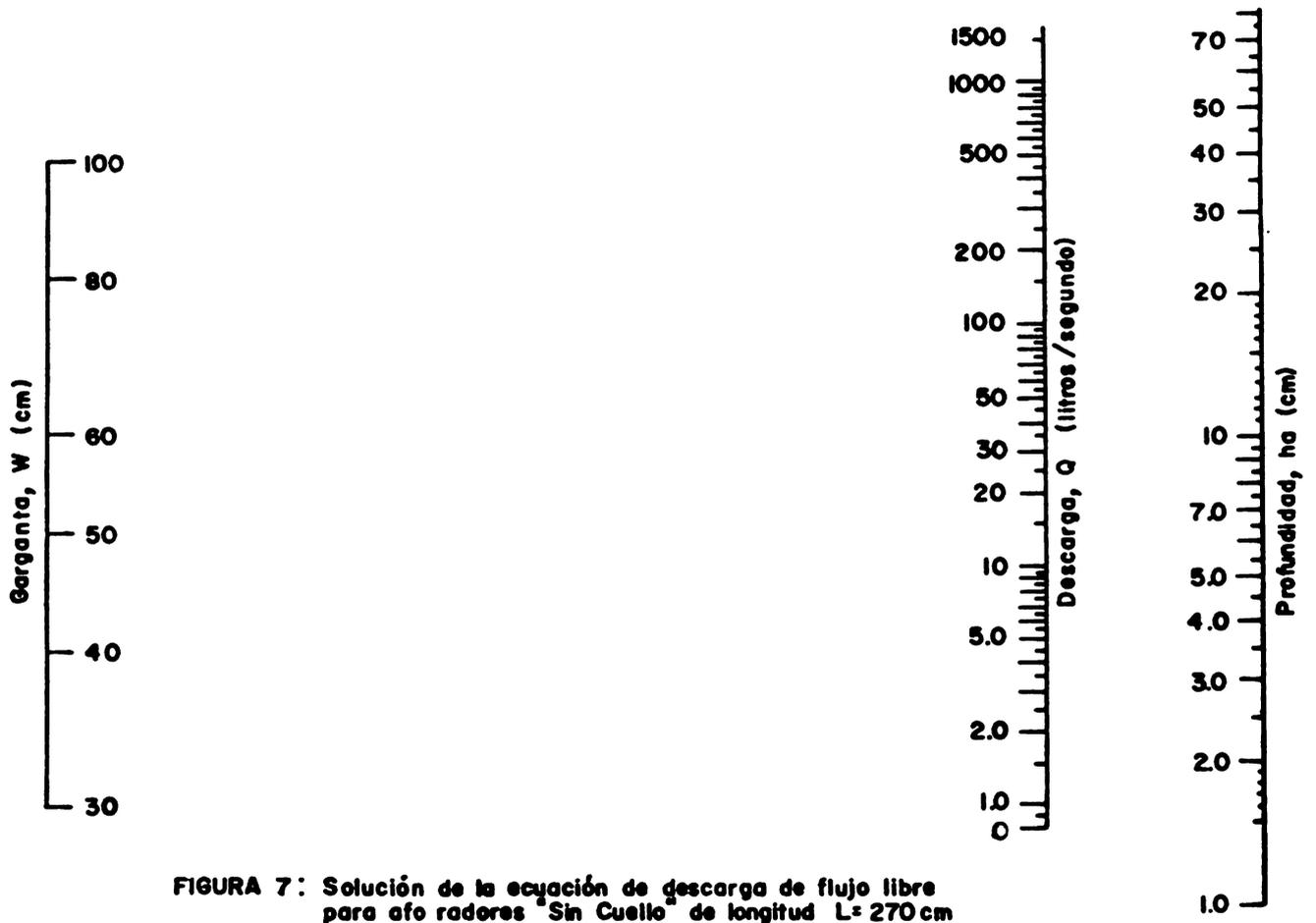


FIGURA 7: Solución de la ecuación de descarga de flujo libre para afo radores "Sin Cuello" de longitud  $L=270$  cm









DOCUMENTO  
MICROFILMATO

Foglio