

81
839

DEFINICION HIDRAULICA DE VERTEDERO ALTO Y VERTEDERO BAJO

JUAN JOSE ESPINOZA P. ✓
ROBERTO MANDINI C. ✓
CARLOS PALACIOS V. ✓
KONSTANTIN ZAGUSTIN I.

CARACAS, 1961

TESIS
EMPZ
61

DEFINICION HIDRAULICA
DE
VERTEDERO ALTO Y VERTEDERO BAJO

TRABAJO ESPECIAL PRESENTADO ANTE
LA ILUSTRE UNIVERSIDAD CENTRAL DE
VENEZUELA PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL.

Juan José Espinoza P.

Roberto Mandini C.

Carlos Palacios W.

Konstantin Zagustin I.

Caracas, julio de 1961

Al Dr. Gschwendtner

Para mi magnifico
Profesor de cuya amistad
me honro.

Robert Alford C.

A nuestros Padres

AGRADECIMIENTO

A nuestro Profesor Guía, el Dr. Ing. Jindrich Brezina.

Al personal del Laboratorio de Ingeniería Mecánica por la ayuda prestada en la construcción de los modelos.

A la Srta. Mayra Chávez por su colaboración en la edición de este Trabajo Especial.

INDICE

	Página
Introducción	1
Parte teórica	4
Parte experimental	8
Cálculos	14
Gráficos	17
Fotografías	22
Conclusiones	24
Bibliografía	27

INTRODUCCION

En este trabajo se pretende llegar a distinguir hidráulicamente los vertederos bajos de los altos y determinar el valor del coeficiente de caudal para un vertedero dado variando las condiciones aguas arriba y aguas abajo.

En investigaciones bibliográficas realizadas se ha encontrado:

a) En trabajos realizados por el Bureau of Reclamation en 1948 sobre la influencia de las condiciones aguas abajo para aliviaderos de perfil Creager, trabajando a su cota de diseño, se ha demostrado que el coeficiente de caudal no sólo depende del nivel aguas abajo sino también de la forma como se alcanzó este nivel, o sea según los distintos tipos de flujo que se presentan, y se hace sentir después de que la cota aguas abajo alcance la cresta del perfil.

b) Rouse afirma en cambio que para vertederos de pared delgada este efecto se produce aún con niveles aguas abajo menores que el valor w .

c) En trabajos realizados por el Tennessee Valley Authority (Transaction 1957) sobre modelos de aliviaderos de distintas formas y características se han obtenido curvas en las cuales se observa que la variación del coeficiente de caudal debida a la sumersión se produce después de alcanzar el agua aguas abajo el nivel de la cresta del aliviadero.

Las curvas obtenidas para cada tipo de aliviadero una vez superpuestas no arrojaron sino una discrepancia máxima del 10% y casi coincidiendo en va-

lores para el punto en que se empieza a sentir la influencia del nivel aguas abajo, atribuyéndose las discrepancias a la gran variedad de formas y características.

A pesar de la existencia de estas investigaciones no sabemos de ningún trabajo experimental que tienda a probar este segundo criterio (b) para vertedero de pared delgada, siendo nuestro propósito lograr experimentalmente dicha comprobación.

Como hemos dicho al comienzo en el presente trabajo nos limitaremos a obtener el punto en que el coeficiente de caudal empieza a sentir la influencia de la sumersión y a determinar los valores de dicho coeficiente de caudal, siendo materia de trabajos posteriores hacer lo mismo para aliviaderos de cresta y al compararlos con éste llegar a las conclusiones pertinentes.

En el ya mencionado trabajo del Bureau of Reclamation se han observado las siguientes características del flujo aguas abajo para aliviaderos de perfil Creager que nos servirán de guía para nuestras observaciones con los vertederos de pared delgada.

- 1°) El flujo continúa en condiciones supercríticas.
- 2°) Se produce un resalto total o parcial inmediatamente agua abajo.
- 3°) Se produce un resalto ahogado en el cual el chorro penetra en el interior del agua.

4°) Cuando el nivel aguas abajo es considerablemente superior al nivel de la cresta, el chorro cambia abruptamente de dirección produciéndose una ondulación suave aguas abajo del aliviadero.

PARTE TEORICA

Consideraciones sobre la escogencia de las variables

Analicemos la función que nos definirá con toda generalidad el flujo permanente de un vertedero

$$Q = f_1(H, b, w, d, \rho, g, \sigma, \mu) \quad (1)$$

H: es la cota total sobre la cresta

b: es el ancho de la cresta, valor constante

w: altura de la cresta con respecto al fondo del canal

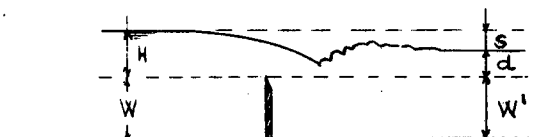
ρ : densidad del fluido, en nuestro caso agua

g: aceleración de gravedad

σ : tensión superficial del fluido

μ : viscosidad dinámica del fluido

d: ver gráfico



Poniendo a la relación (1) en forma de parámetros adimensionales

$$C_d = \frac{Q}{\frac{2}{3} b H^{3/2} \sqrt{2g}} = f_2 \left(\frac{H}{H+w}, \frac{d}{H}, \rho, w \right) \quad (2)$$

Reconocemos al primer término de la relación (2) como el coeficiente de descarga C_d .

Discusión de los Parámetros

$\frac{H}{H+W}$: Sabemos de experiencias anteriores (ver bibliografía) que es el parámetro de más significación en la expresión de C_d

R : es el número de Reynolds $R = \frac{VL}{\nu} = \frac{VL}{\mu/\rho}$ donde L es la longitud de mas influencia en el fenómeno bajo el punto de vista de la viscosidad. Para vertederos relativamente anchos será naturalmente la cota H , pudiendo en caso de ser la dimensión b muy pequeña, llegar a ser dicha dimensión b ; o en casos intermedios b y H a la vez. De cualquier modo podemos poner en forma general:

$$R = \frac{VH}{\nu} \quad \text{ó} \quad R = \frac{Vb}{\nu}$$

Debido a que la velocidad en las inmediaciones de la cresta es proporcional a \sqrt{H} podemos llegar a:

$$R \sim \frac{H^{3/2}}{\nu} \quad R \sim \frac{\sqrt{H} b}{\nu}$$

En cualquiera de los dos casos vemos que R sería siempre una función de H pues b es constante durante el fenómeno y ν es también una constante para un mismo fluido y a una misma temperatura; quedando entonces que:

$$R = F_1(H)$$

W : es el número de Weber $W = \frac{V\sqrt{L}}{\sqrt{P\sigma}}$ donde de nuevo L es la longitud significativa para los efectos de tensión superficial. Siguiendo un razonamiento paralelo al que seguimos para el parámetro R podemos concluir también

$$W = F_2(H)$$

$\frac{d}{H}$: es la medida del grado de sumersión del vertedero cuya influencia en la relación (2) pretendemos investigar.

Resumiendo podremos expresar con toda generalidad

$$C_d = F_2 \left[\frac{H}{H+W}, \frac{d}{H}, F_1(H), F_2(H) \right]$$

a) Puesto que la finalidad de este trabajo es lograr definir en función de la sumersión los casos de vertedero alto y vertedero bajo, separando los dos fenómenos, debemos buscar la influencia del parámetro variable $\frac{d}{H}$ sobre la descarga, encontrando así el punto donde la caída deje de ser libre y empiece a ser sumergida. La única forma de lograr esto es aislando el parámetro $\frac{d}{H}$ como variable independiente, buscando la influencia que éste tenga sobre la función implícita (3).

Al fijar el caudal Q y variar la sumersión aguas abajo lograremos este efecto pues obligamos a H a variar únicamente en función de la sumersión $\frac{d}{H}$. Será necesario también para no incluir otra variable, garantizar la aireación de la lámina vertiente.

b) Razonando de manera idéntica a como se hizo para $\frac{d}{H}$ pero con otra expresión de la sumersión que esté más ligada aún al valor de H , como sería $\frac{S}{H}$ (ver Figura) podríamos lograr una función

$$C_d = F_3 \left[\frac{H}{H+W}, \frac{S}{H}, F_1(H), F_2(H) \right]$$

Ahora como igual que antes tenemos que fijar una variable, fijemos en vez de Q la cota H y busquemos para el campo de variabilidad de $\frac{S}{H}$ los valores correspondientes de $\frac{C_{ds}}{C_d}$ obtenidos a partir del Q que resulte, de manera de obtener un gráfico tal que a cada valor de la variable $\frac{H}{H+W}$ corresponda una serie de puntos según el valor que tome la variable $\frac{S}{H}$ correspondiéndole a cada curva un valor del parámetro $\frac{C_{ds}}{C_d}$.

En realidad las relaciones (3) y (4) serán también funciones de la posición del fondo aguas abajo, o sea de un valor w' paralelo al valor w para las condiciones aguas arriba.

Es lógico pensar que se puede alcanzar un mismo valor de d para distintos valores de w' y que los resultados serán distintos, pues si para $w' = \infty$ la lámina puede zambullirse en la sumersión y formar un resalto; si w' es pequeño, el fondo puede obligar a la lámina a doblarse y hacer que siga en forma de flujo supercrítico.

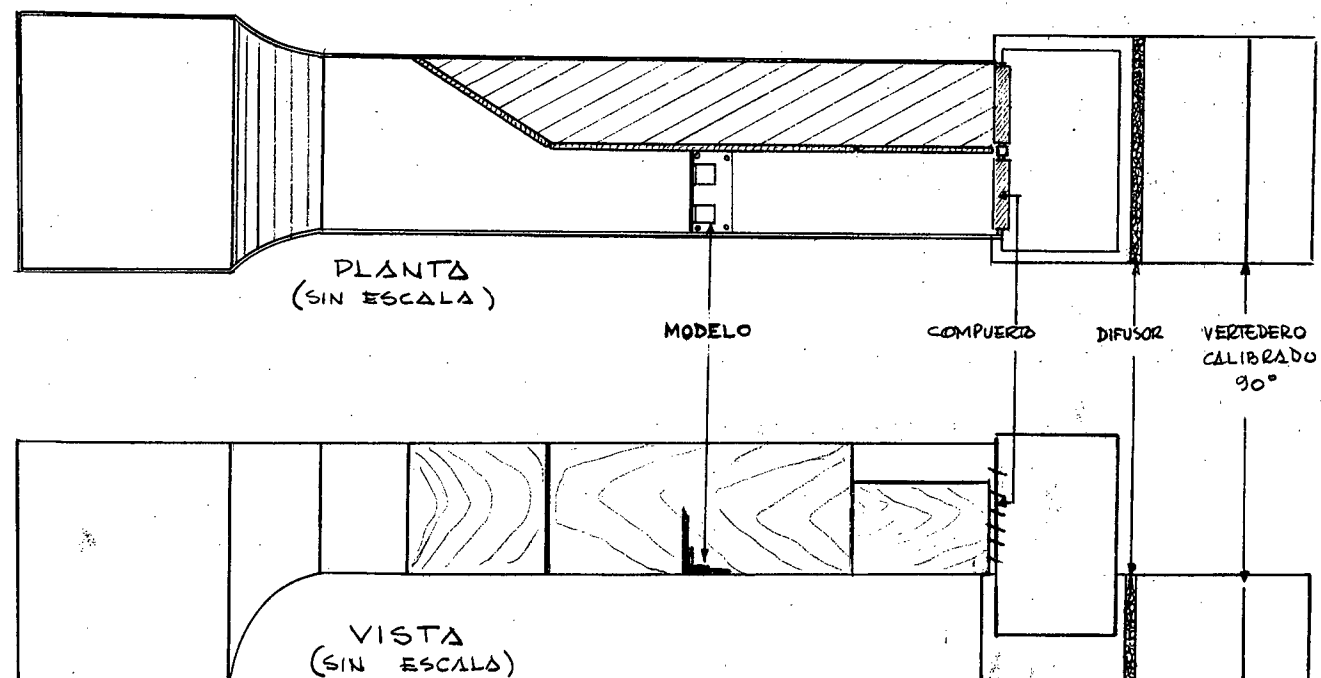
Tendremos que separar esta nueva variable usándola como parámetro independiente y elaborando un gráfico aparte para cada valor de ésta.

PARTE EXPERIMENTAL

Para comprobar las consideraciones anteriores mediante el trazado de los gráficos nombrados, tendremos que acudir a la experimentación con modelos.

a) Descripción del canal de ensayo:

Canal de sección rectangular de 0,63 x 0,86 de 10 mts. de longitud. Debido a la necesidad de utilizar este mismo canal para investigaciones distintas se dividió el mismo mediante una pared en el centro y a todo lo largo, encauzándose el flujo aguas arriba mediante una transición recta (ver Planta)



El suministro de agua al canal se regula mediante una llave de compuerta

de paso fino de 18" con una carga disponible de dos metros, lo cual nos asegura un caudal máximo de aproximadamente 15 lts/seg.

El extremo aguas abajo del canal está provisto de una compuerta de mamparas que permite variar la profundidad del agua.

El canal descarga en una caja de 0,90 x 1,80 provisto de un vertedero triangular de 90° para medir los caudales.

b) Calibración del vertedero para las mediciones del caudal;

Para la curva de calibración utilizamos la ecuación general $Q = C H^n$. Todas las ecuaciones encontradas en la bibliografía fueron reducidas a esta forma para $n = 2.5$ o sea donde obviamente C será $C = f_i(H)$ según el autor.

Tomando un gráfico de las distintas $C = f_i(H)$ y tomando una curva promedio (para más simplicidad una recta) de manera que la discrepancia máxima entre la recta y cualquiera de las $f_i(H)$ consideradas apropiadas sea menor del 1%, el error probable introducido estará dentro del margen tolerable.

A partir de estos valores promedios de C se trazó la curva de la cual se obtuvieron los caudales usados en los cálculos.

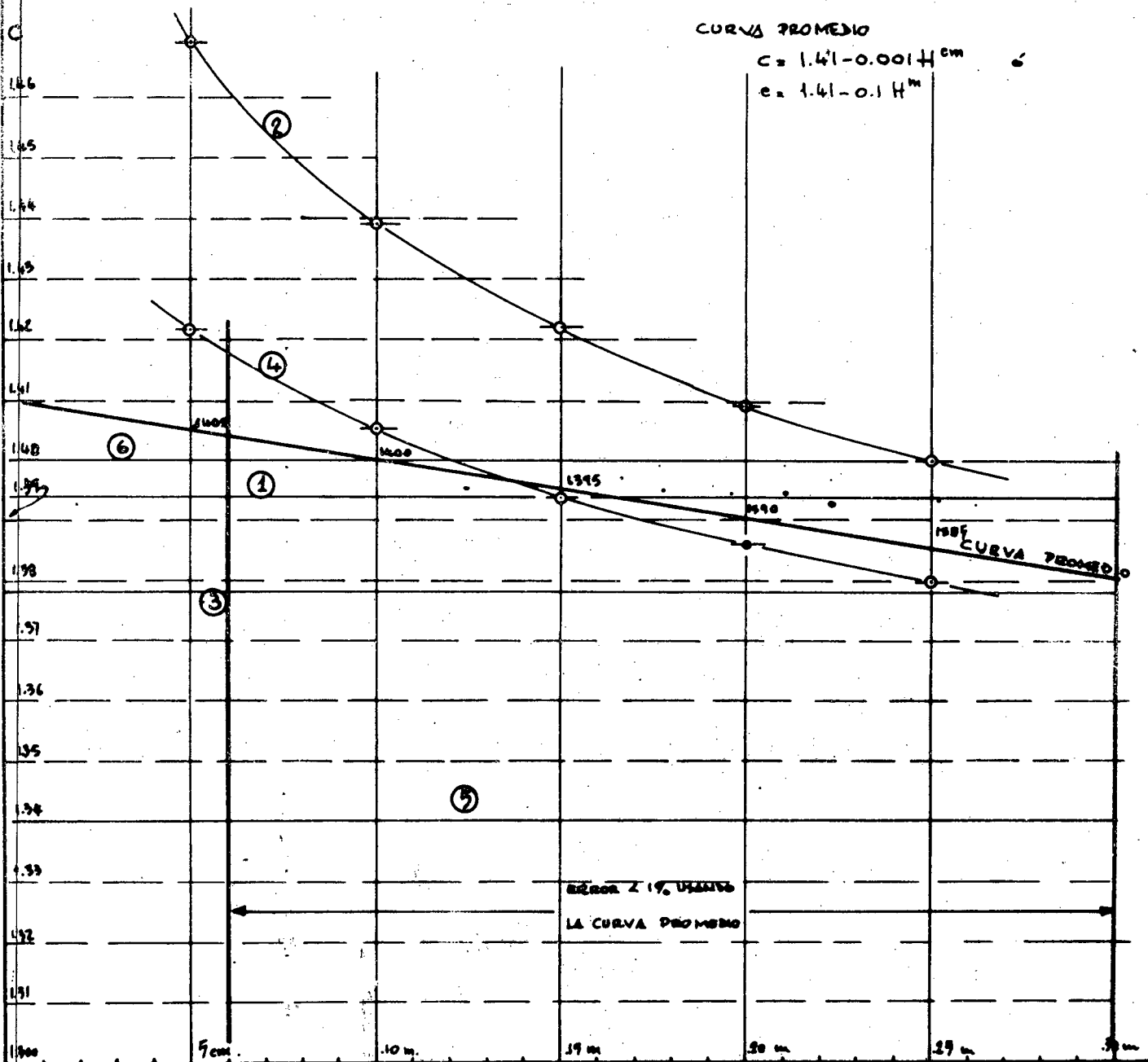
c) Descripción de los modelos

Se escogieron dos vertederos de bronce de $w = 0,20$ y $w = 0,40$ mts. de $b = 0,30$ mts. El biselado de la cresta está a 30° con la vertical dejando un borde

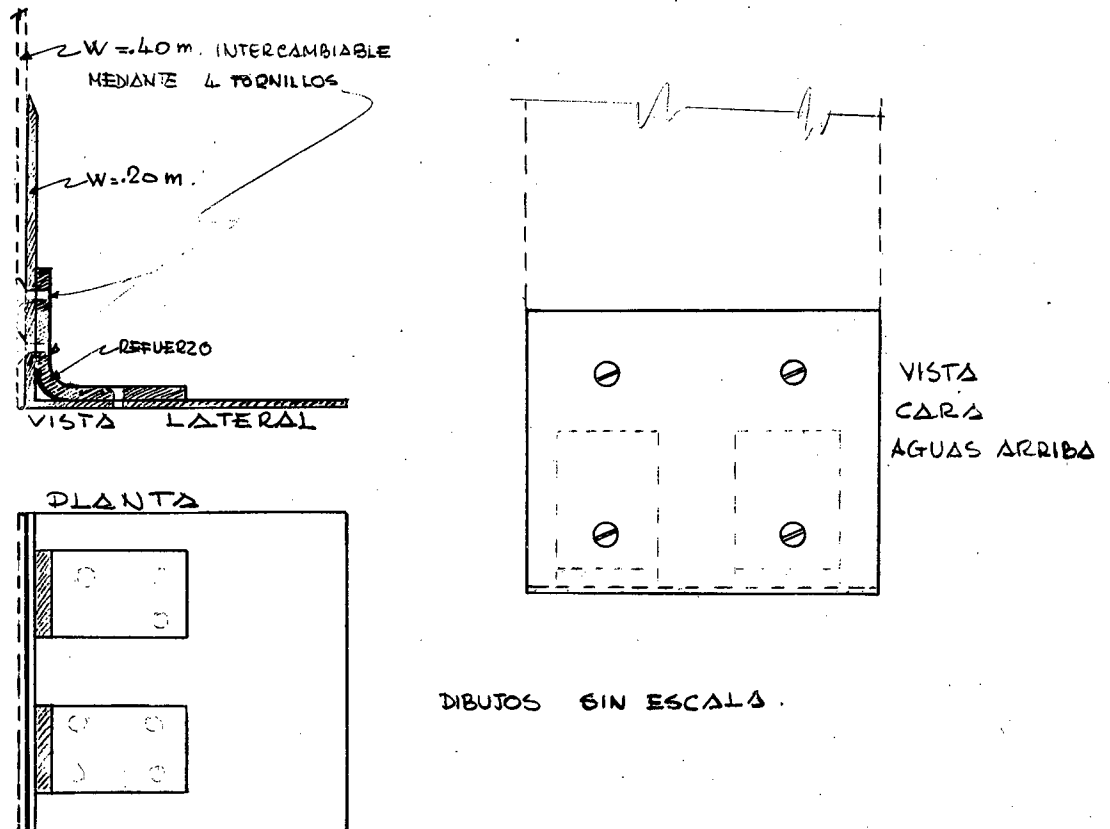
RANGO DE VARIACION DE H PARA QUE
EL ERROR PROBABLE COMETIDO
SEA MENOR QUE 1%

$$Q = C \cdot H^{2.9}$$

- CURVAS:
- ① C = 1.394
 - ② C = 1.343 H^{-0.03}
 - ③ C = 1.378
 - ④ C = 1.342 H^{-0.02}
 - ⑤ C = 1.340
 - ⑥ C = 1.400



superior de 1 mm. Los dos vertederos están diseñados para poder intercambiar fácilmente el valor de w fijando al fondo del canal el de $w=0,20$ mts e intercambiando la pared de $w=0,40$ mts mediante cuatro tornillos.



De acuerdo a nuestro razonamiento es necesario garantizar la aireación del vertedero de manera que la presión por debajo de la lámina permanezca igual a la atmosférica hasta que las condiciones del flujo hagan que dicha presión sobrepase este valor. Es aquí donde la posición del fondo aguas abajo juega un papel importante. Para lograr esta aireación fué necesario instalar un conducto de aireación y un manómetro para medir la presión en la zona situada por debajo

de la lámina.

d) Rutina de Mediciones:

1) Definición de vertedero alto y bajo: Fijando el caudal que pasa por el modelo y manteniendo la caída libre y aireada podremos medir las características del flujo en estas condiciones.

Variando luego la profundidad aguas abajo obtendremos las características del flujo para distintos grados de sumersión que al seleccionarlos con las anteriores nos resultarán en dos curvas para cada valor de w' .

La cota aguas arriba se mide con un medidor de punta directamente sobre la superficie del flujo mientras que la cota aguas abajo hay que medirla mediante un pozo amortiguador, pues la forma de la superficie es muy irregular. Esto último se logró abriendo un paso para el agua hacia la otra mitad del canal y colocando allí un medidor de punta.

Resumiendo, con los dos medidores de punta obtenemos el nivel del agua, aguas arriba y aguas abajo y restando de estas lecturas las que corresponden a la cota de la cresta del vertedero, obtenemos los valores de H y d que nos interesan.

2) Curvas de C_{d_s}/C_d para las distintas condiciones aguas arriba y aguas abajo: Fijando con el medidor aguas arriba un valor de H medimos luego el caudal con el vertedero triangular calibrado, con este caudal podemos

calcular el valor de C_d libre. A continuación comenzamos a variar el nivel aguas abajo hasta que nos cambie también el valor de H , variando entonces el caudal hasta que H recobre su valor inicial, lo medimos obteniendo así el valor C_{d_2} correspondiente a esa sumersión S/H ; así sucesivamente obtenemos para un valor de H los distintos valores de S/H y C_{d_2}/C_d .

Repitiendo la operación para los otros valores de H vamos obteniendo la gama de puntos necesarios para el trazado de nuestras curvas.

CALCULOS

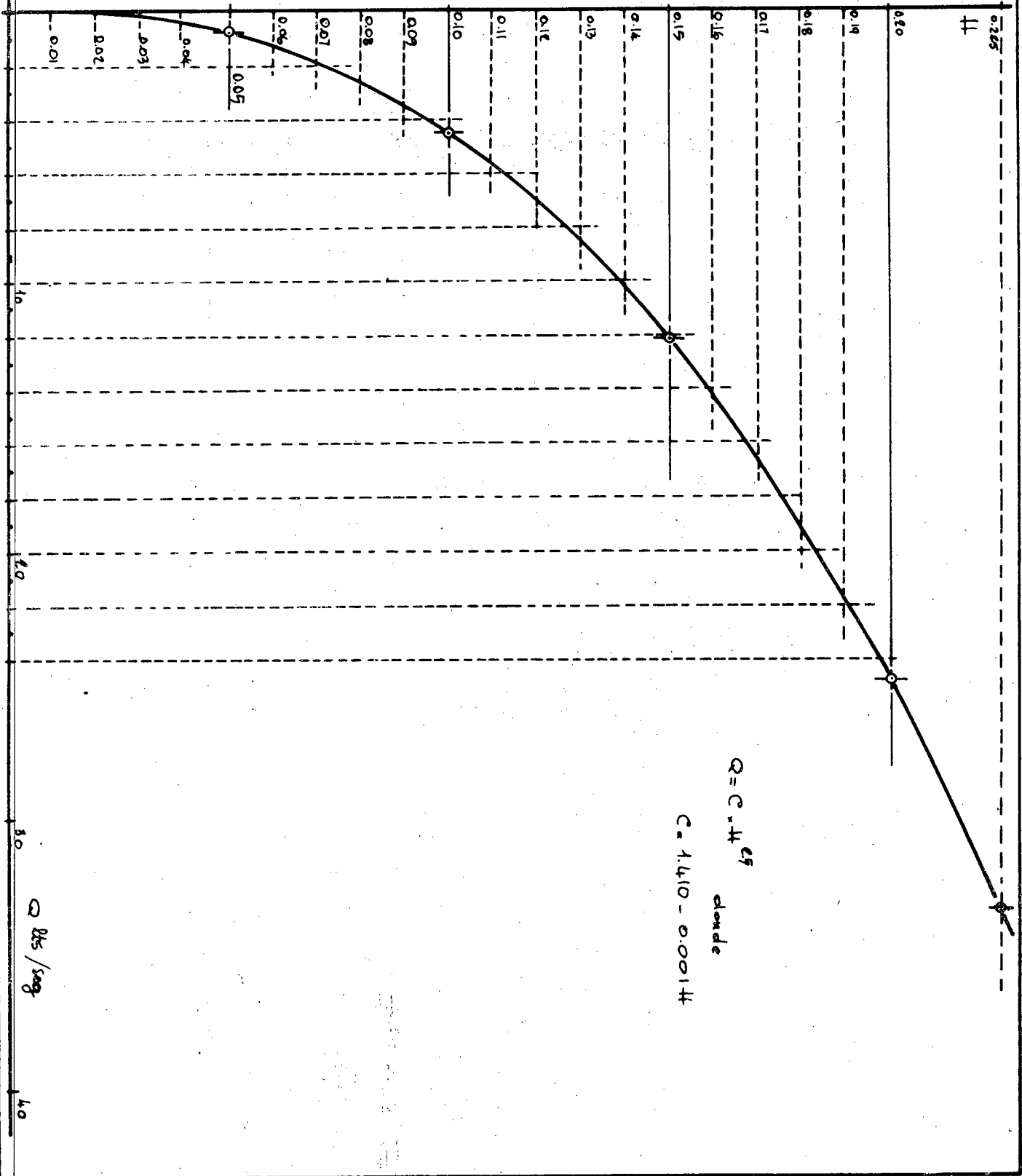
1) PARA LA PRIMERA PARTE $\frac{C_{ds}}{C_d} = \frac{\frac{Q}{2/3\sqrt{2g} H_s^{3/2}}}{\frac{Q}{2/3\sqrt{2g} H^{3/2}}} = \left(\frac{H_o}{H_s}\right)^{3/2}$ PUES Q ES CONSTANTE

2) PARA LA SEGUNDA PARTE $\frac{C_{ds}}{C_d} = \frac{\frac{Q_s}{2/3\sqrt{2g} H^{3/2}}}{\frac{Q_o}{2/3\sqrt{2g} H^{3/2}}} = \left(\frac{Q_s}{Q_o}\right)$ PUES H ES CONSTANTE

MODELO DE MINUTA Y CUADRO DE CALCULO 1ª PARTE

1ª PARTE				W = 40 CMS.			H _{INICIAL} ≈ 10 CMS.	
Nº	COTA AGUAS ARRIBA	H	H _o /H	(H _o /H) ^{3/2}	COTA AGUAS ABAJO	d	d/H	OBS.
1	76.63	9.42	1.000	1.000	28.40	-37.11	-3.939	LAMINA LIBRE
2	76.64	9.43	0.999	0.998 ⁵	56.00	- 9.51	- 1.008	RESALTO AL PIE
3	76.64	9.43	0.999	0.998 ⁵	61.72	- 3.79	-0.402	LA LAMINA SE RAM-BULLE
4	76.65	9.44	0.998	0.997	64.20	- 1.31	-0.139	PRESION POSITIVA AIRE DEBAJO DE LA LAMINA
5	76.52	9.31	1.011	1.018	65.60	+ 0.09	0.001	PRESION POSITIVA NO HAY AIRE
6	76.64	9.43	0.999	0.998 ⁵	66.40	+ 0.89	0.094	LA LAMINA SE HACE HORIZONTAL
7	76.89	9.68	0.974	0.961	67.70	+ 2.19	0.226	CASI ONDULACION
8	78.32	11.11	0.846	0.778	72.20	+ 6.69	0.602	RESALTO ONDULAD
9	80.16	12.95	0.726	0.620	76.10	+ 10.59	0.818	ONDA
10	84.14	16.93	0.556	0.416	81.44	+ 15.93	0.941	ONDA

CURVA CAUDAL - ALTURA



$$Q = C \cdot H^{2.5}$$

$$C = 1.410 - 0.001H$$

donde

Q lts/seg

MODELO DE MINUTA Y CUADRO DE CALCULO 2ª PARTE

2ª PARTE				W = 40 CMS.			H = 30 CMS.	
Nº	COTA AGUAS ABAJO	S	S/H	COTA CAUDAL	H _q	Q	$\frac{q}{q_0} = \frac{C_d}{C_{d_0}}$	OBS.
1	37.90			90.74	31.56	77.141	1.000	LAMINA LIBRE
2	15.39	31.18	1.039	90.70	31.52	76.921	0.997	RESALTO AHOGADO
3	20.64	25.93	0.864	90.40	31.22	75.128	0.994	LA LAMINA PENETRA EN EL RESALTO
4	31.70	14.87	0.495	90.26	31.08	73.528	0.953	
5	34.84	11.70	0.390	89.26	30.08	72.535	0.940	
6	39.34	7.23	0.241	87.98	28.80	61.366	0.796	ONDA
7	41.16	5.41	0.180	86.82	27.64	55.381	0.718	ONDA
8	43.20	3.37	0.112	85.20	26.02	47.658	0.618	ONDA

CURVA PARA LA DETERMINACION DEL PUNTO DE INFLUENCIA DE $\frac{d}{H}$

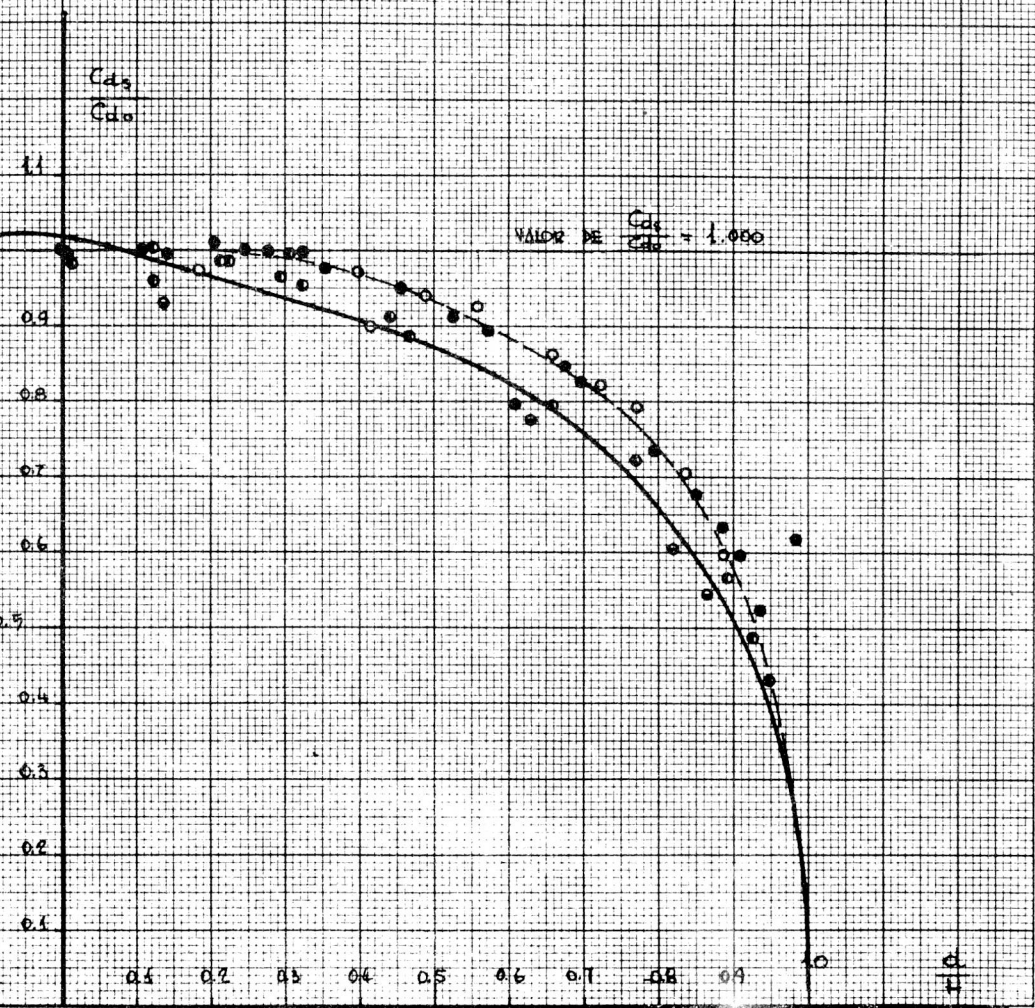
$W^* = 20 \text{ mts.}$

$\frac{C_{d2}}{C_{d0}}$

VALOR DE $\frac{C_{d2}}{C_{d0}} = 1.000$

$\frac{d}{H} = \frac{1}{9} = 0.111$

- COTA H INICIAL = 0.05 mts
- " " " " = 0.10 "
- " " " " = 0.25 "
- " " " " = 0.50 "



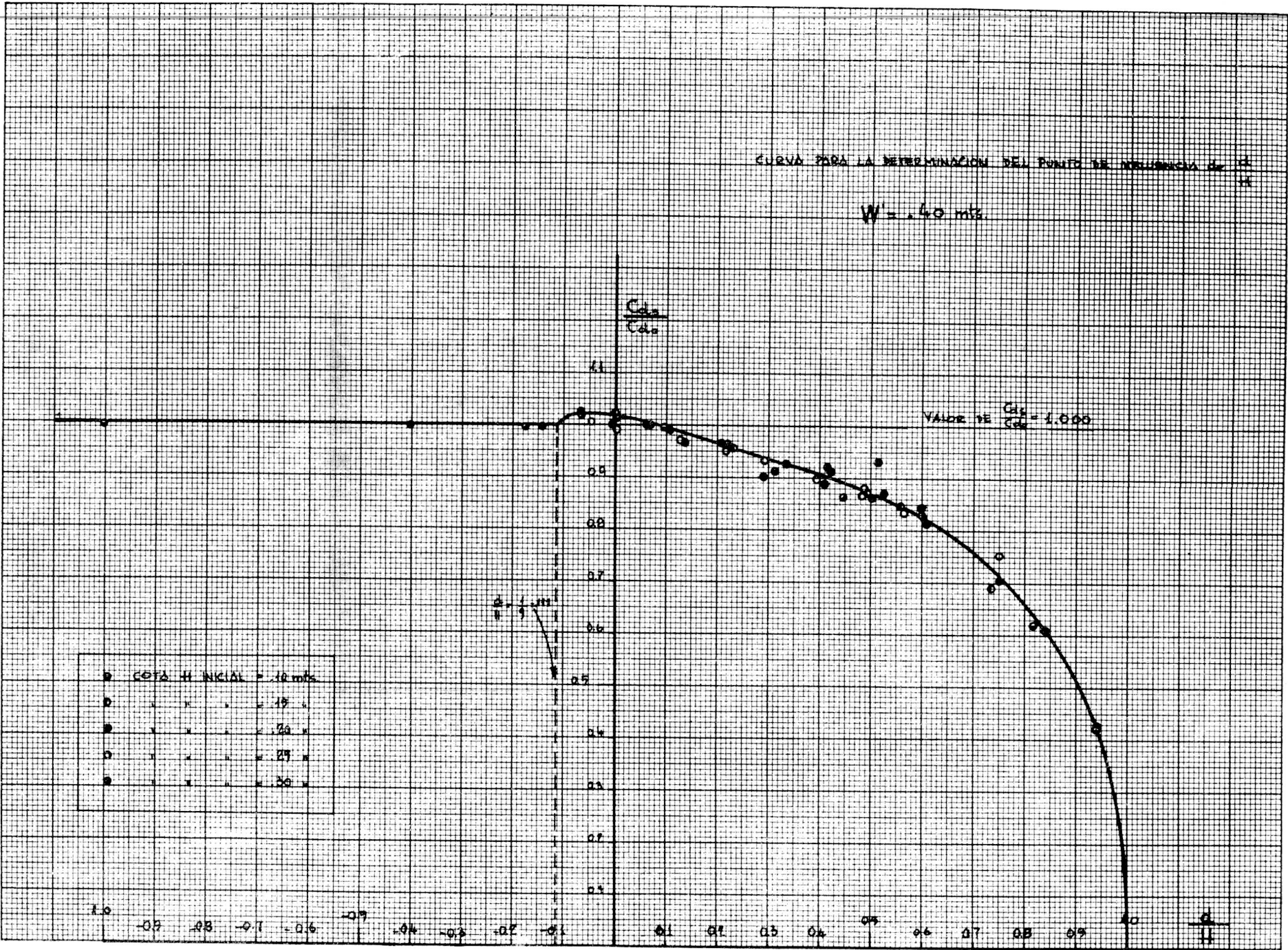
CURVA PARA LA DETERMINACION DEL PUNTO DE INFLUENCIA DE $\frac{C_{d2}}{C_{d1}}$

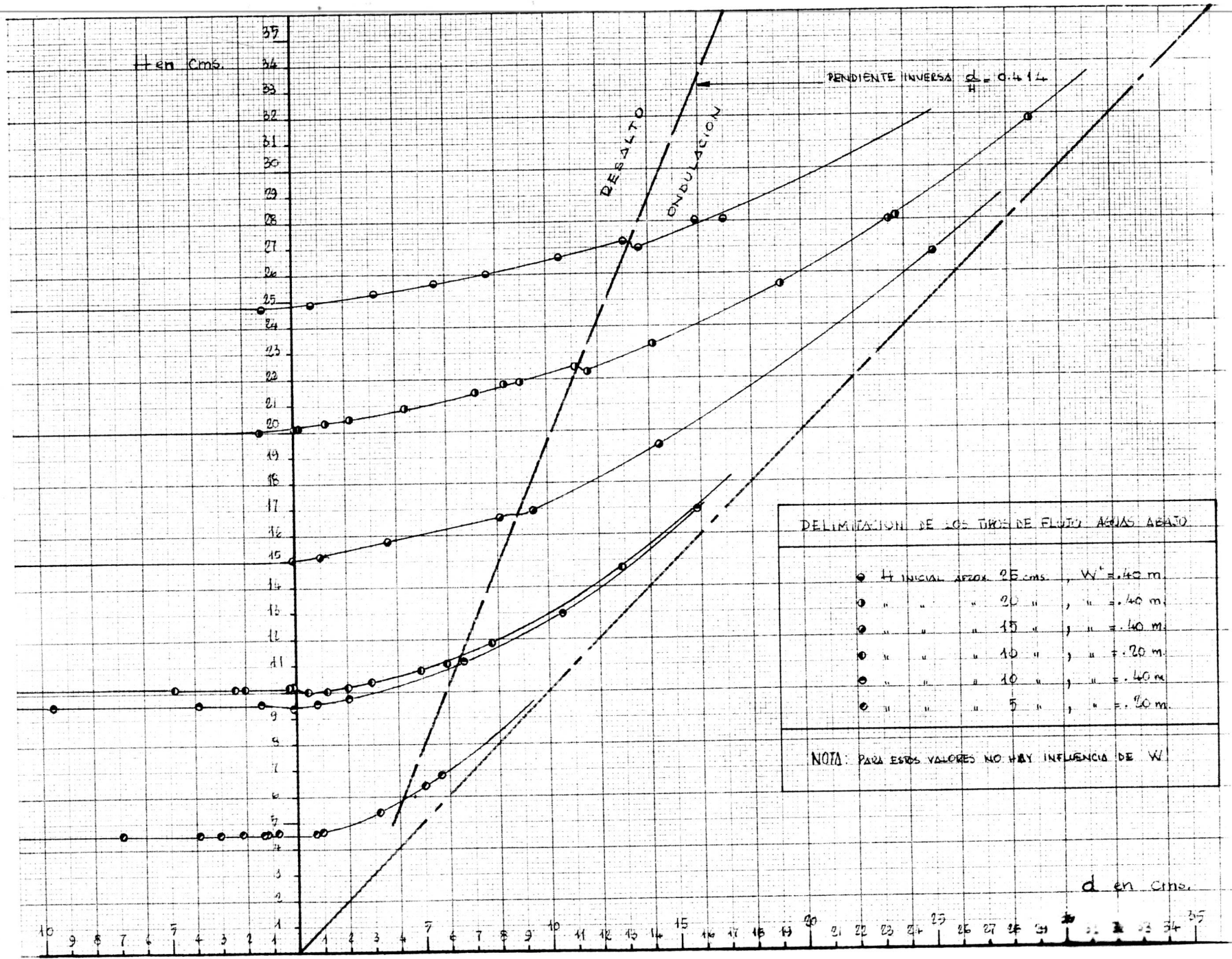
$W = .40 \text{ m/s}$

$\frac{C_{d2}}{C_{d1}}$

VALOR DE $\frac{C_{d2}}{C_{d1}} = 1.000$

○	COTA H INICIAL = 10 m/s
○	" " " " = 15 "
○	" " " " = 20 "
○	" " " " = 25 "
○	" " " " = 30 "





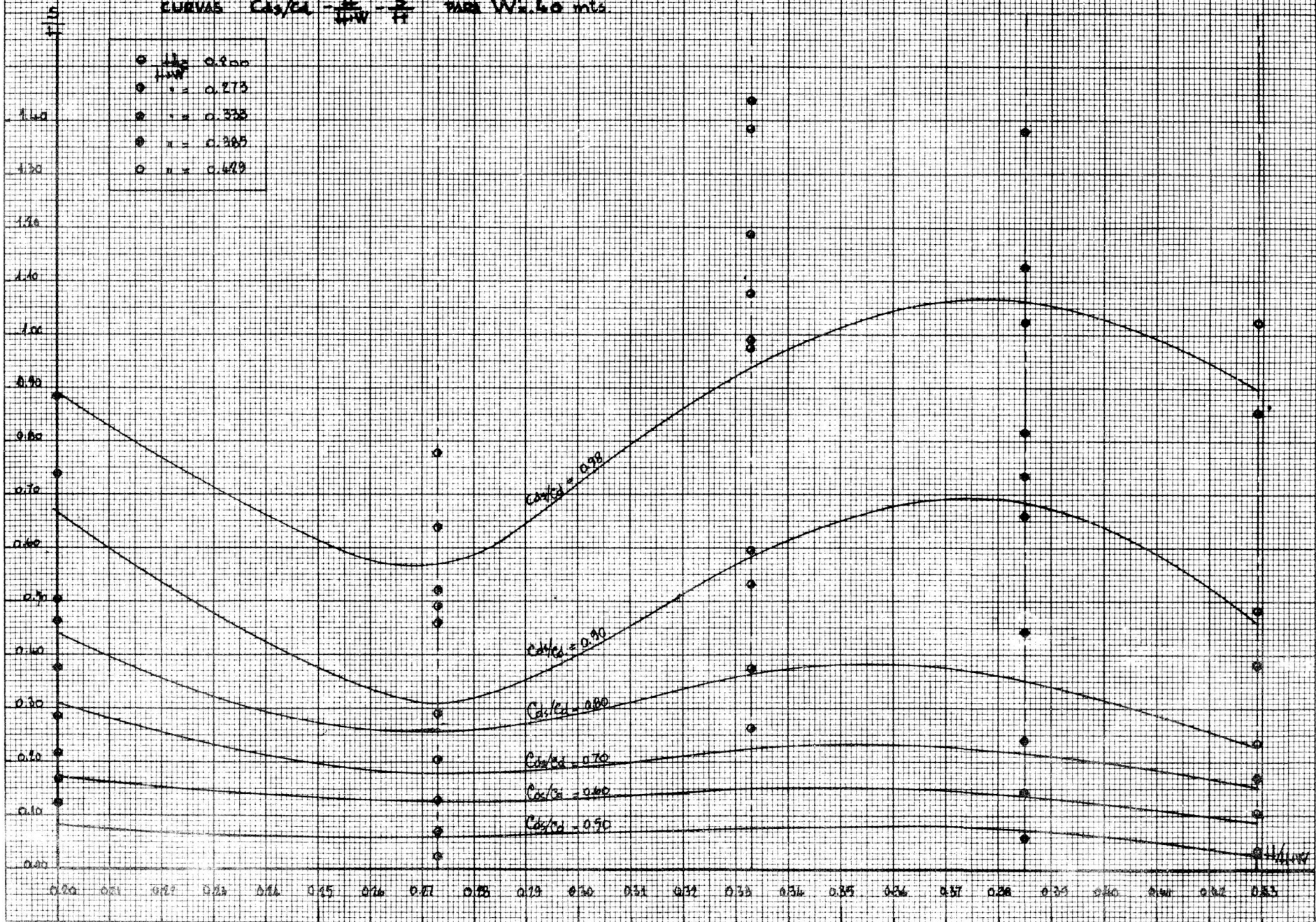
DELIMITACION DE LOS TIPOS DE FLUJO AGUAS ABAJO

●	h INICIAL ABAJO	25 cms.	, W' = .40 m
●	"	20 "	, " = .40 m
●	"	15 "	, " = .40 m
●	"	10 "	, " = .20 m
●	"	10 "	, " = .40 m
●	"	5 "	, " = .80 m

NOTA: PARA ESTOS VALORES NO HAY INFLUENCIA DE W

CURVAS $C_{s2}/C_{s1} = \frac{H_2}{H_1} = \frac{W_2}{W_1}$ para $W_2 = 60 \text{ mts}$

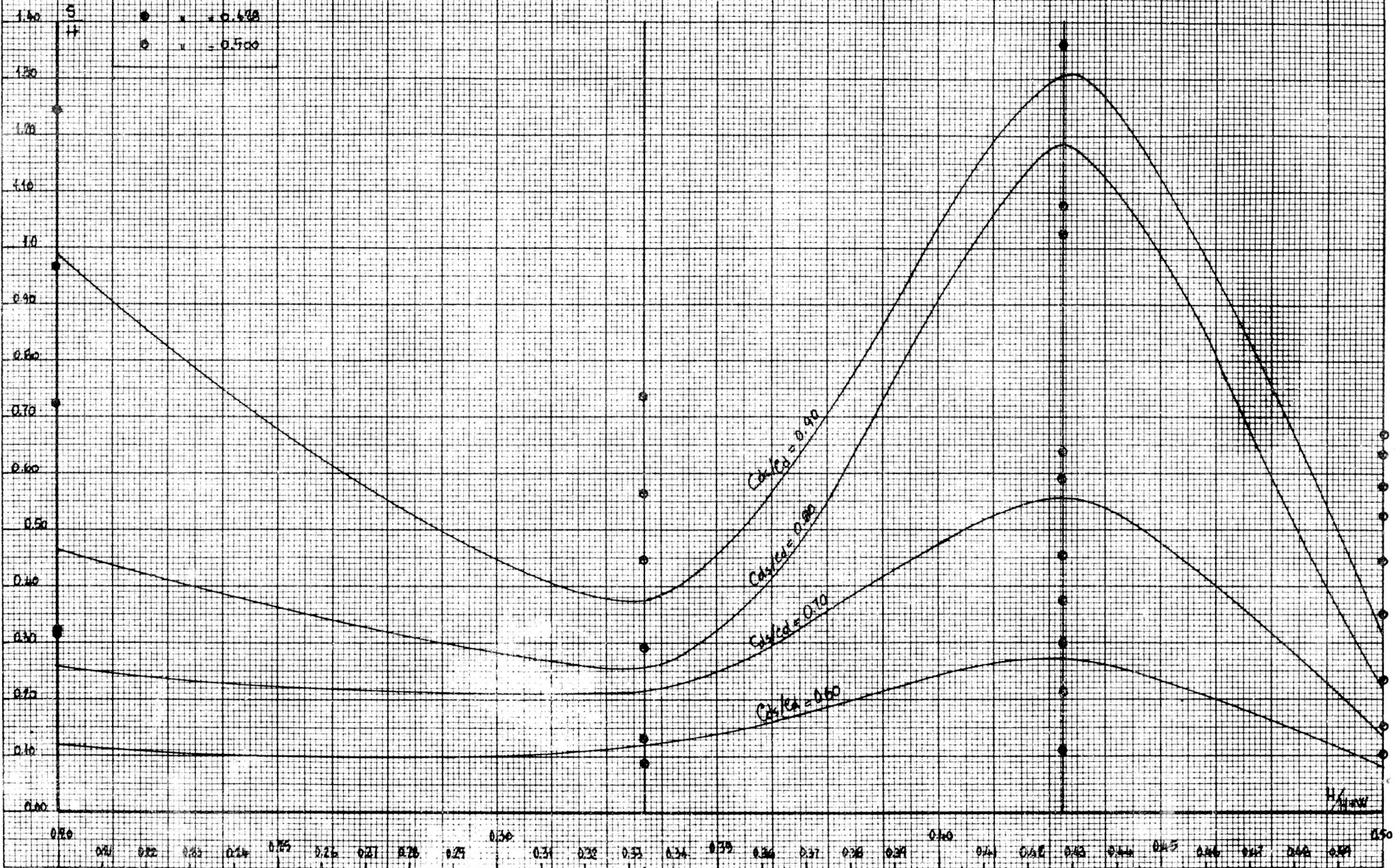
●	$\frac{H_2}{H_1} = 0.900$
●	$x = 0.273$
●	$x = 0.338$
●	$x = 0.385$
○	$x = 0.429$

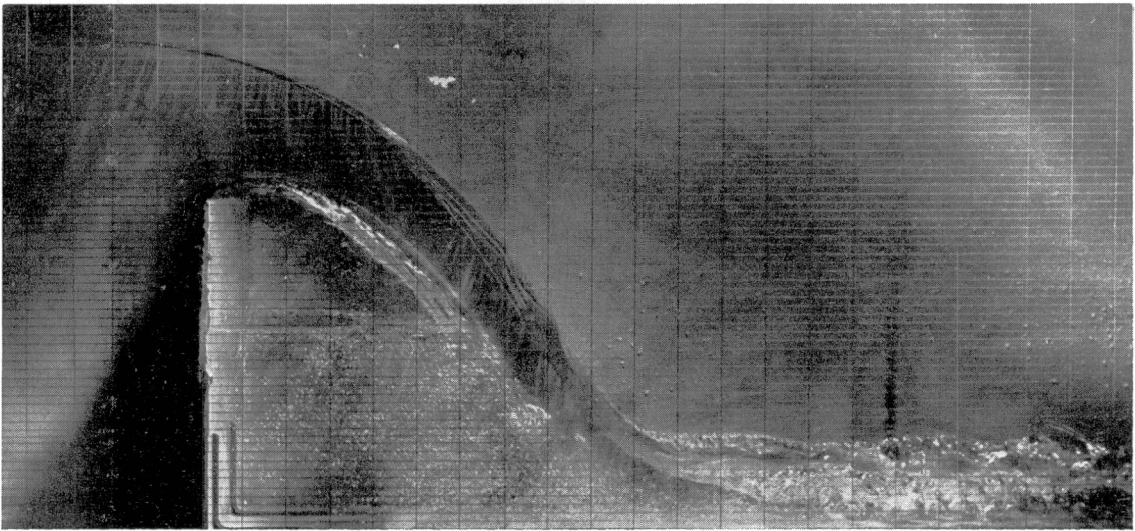


CURVAS $C_{ds}/C_d - \frac{H}{H_{max}}$ PARA $W = 80 \text{ m/s}$

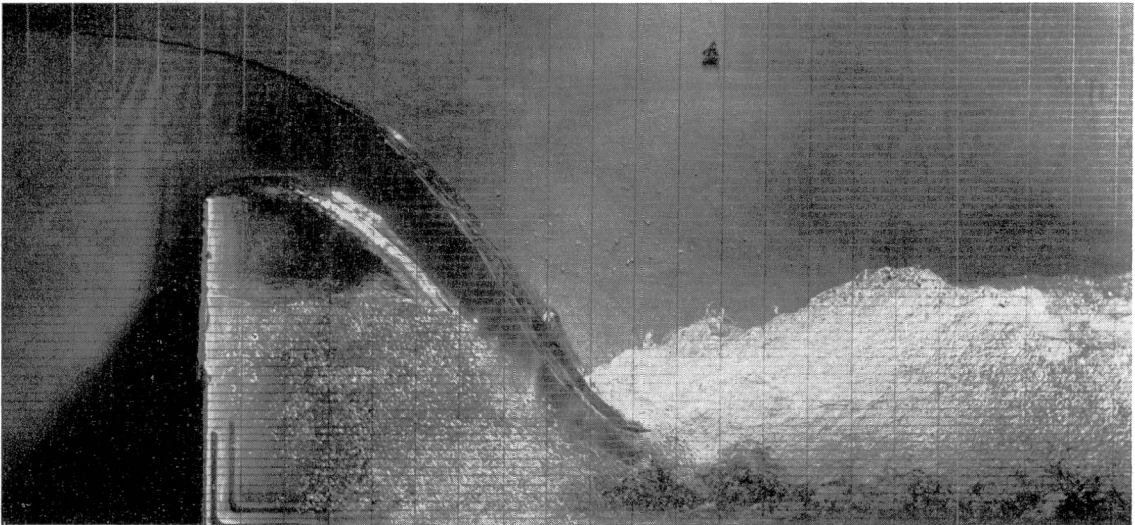
- $\frac{H}{H_{max}} = 0.200$
- $x = 0.333$
- $x = 0.478$
- $x = 0.500$

5
H

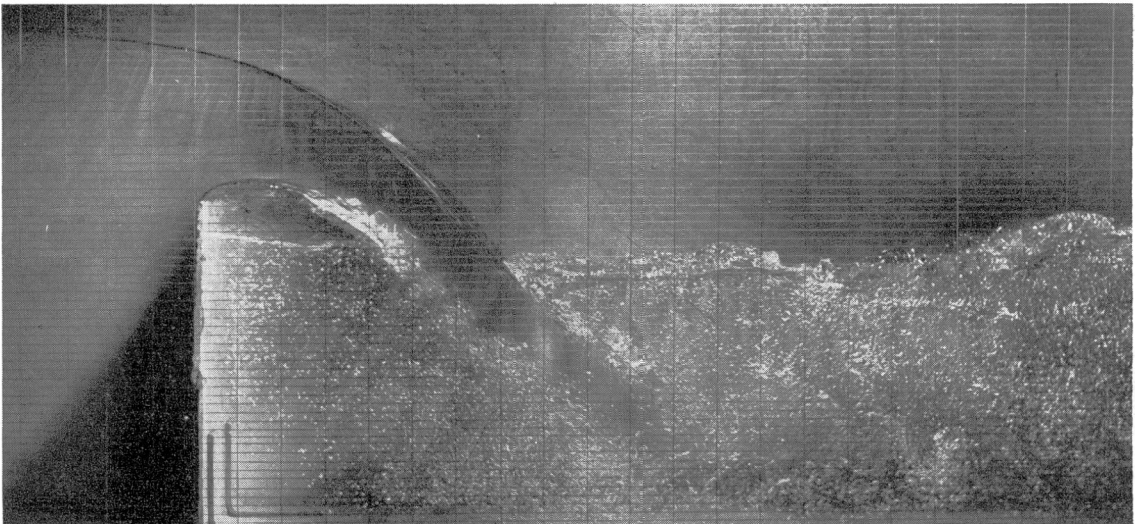




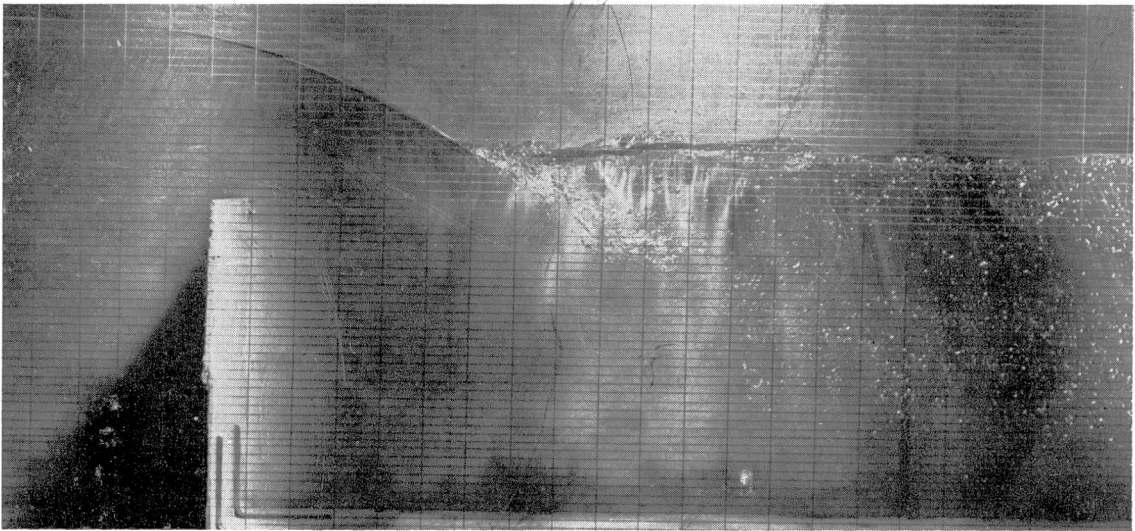
LAMINA LIBRE CON FLUJO SUPERCRITICO



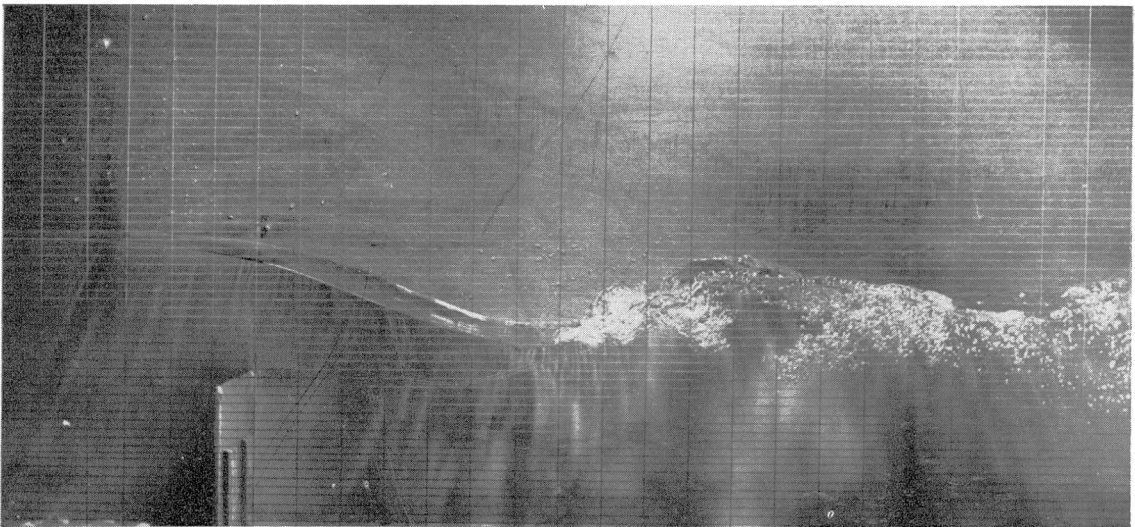
LAMINA LIBRE CON RESALTO AL PIE



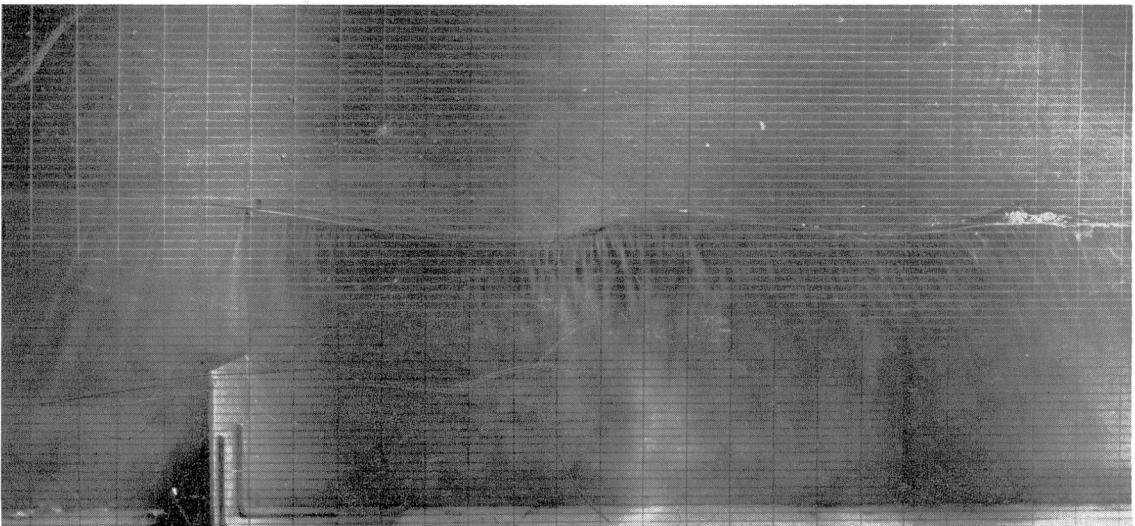
LAMINA QUE PENETRA



RESALTO AHOGADO



RESALTO ONDA



ONDULACION

CONCLUSIONES

a) Definición de vertedero alto y bajo:

- 1) Basados en nuestros razonamientos anteriores con respecto a la variable w' , o sea la posición del fondo aguas abajo, nos pareció lógico trazar un gráfico para cada modelo.

Como pudimos notar durante los ensayos, para el caso de $w' = 20$ cms. hay una discrepancia notable entre los puntos correspondientes a la lámina inicial libre y los que corresponden a la lámina inicial influenciada por la posición del fondo aguas abajo (sin aire desde el principio). Esto es lógico ya que el coeficiente de caudal C_d inicial usado en la relación C_{ds}/C_d no es en realidad el coeficiente de descarga libre pues ya ha sufrido la influencia del fondo desde el comienzo de las mediciones.

Es lógico pensar, que, a lo menos parcialmente, esta influencia de w' aparecerá como función de la relación $\frac{H}{H + w'}$ siendo naturalmente mayor para valores mayores de este parámetro.

Efectivamente, al trazar el gráfico correspondiente a $w' = 40$ cms.; que tuvo lámina inicial libre para todos los casos, vemos que los puntos caen sobre una misma curva que llevada al gráfico para $w' = 20$ cms, coincide con los puntos correspondientes a los casos en los que C_d inicial no sufrió la influencia del fondo (o por lo menos fué despre

ciable aparentemente).

En esta curva observamos que la influencia sobre el coeficiente de caudal se pone de manifiesto antes de que la sumersión alcance la cota de la cresta del vertedero, para $d/H = -0.11$ que asimilamos al valor $-\frac{1}{9}$.

Se observa también que el coeficiente de descarga aumenta a partir de este punto $d/H = -1/9$ para alcanzar un máximo y luego bajar hasta cero para $d/H = 1$. Esto se puede explicar por el hecho que la lámina vertiente se contrae pegándose a la pared del vertedero al desaparecer el aire y este efecto equivale a un aumento de cota H o a una succión, a pesar de que la presión debajo de la lámina se mantuvo positiva con el dispositivo de dirección y el manómetro.

- 2) Al realizar los ensayos hemos notado un cambio brusco de la cota H al transformarse el resalto en ondulación; esto nos sugirió la idea de obtener una delimitación de los dos tipos de flujo llevando la variación de H en función de la sumersión, para cada caudal a un gráfico, obteniendo así un haz de curvas que se hacen asintóticas a la recta correspondiente al caudal cero y en las cuales se notan discontinuidades que coinciden con las observaciones visuales hechas durante los ensayos y anotadas en nuestra minuta. Uniendo estas discontinuidades resulta una recta de pendiente $d/h = 0,414$ por lo tanto

BIBLIOGRAFIA

TRANSACTION A.S.C.E. 1957 ✓

SMALL DAMS BUREAU OF RECLAMATION

ENGINEERING HYDRAULICS - H. ROUSE

JOURNAL OF THE HYDRAULIC DIVISION

A. S. C. E. OCT. 1957

