

Diseño y construcción de un modelo físico para el análisis del comportamiento hidráulico en canales laterales

Ricardo Cogollo*, José Alonso Muñoz Redondo**, Edgar Enrique Villadiego del Portillo***

Resumen

Se diseñó y construyó un modelo físico con el fin de estudiar la distribución de caudales en canales de derivación y su comportamiento hidráulico. El modelo físico consta de un canal principal rectangular de 30 cm. de ancho, con tres posibles combinaciones de ángulos de derivación hacia el canal lateral (30, 45 y 60°), y éste a su vez, con tres anchos (10, 20 y 30 cm.). De las experiencias se obtuvieron algunos gráficos, los cuales permiten con base en datos del canal principal, determinar el caudal derivado y las condiciones hidráulicas en el canal lateral.

Summary: Aiming to study the discharge distribution in diversion channels a physical model was designed and constructed. It is composed of a main rectangular channel 30 cm. wide, with three possible combinations of diversions angles (30, 45 and 60°) and three widths (10, 20 and 30 cm.). From the experiments carried out some graphs were obtained, which permit to calculate the diverted discharge and the hydraulic conditions in the lateral channel, based on the data of the main channel.

1. Generalidades

El comportamiento hidráulico en canales de derivación ha sido estudiado anteriormente por algunos investigadores; como Taylor (1980) y Law & Reynolds(1966), entre otros; sin embargo, los estudios, en general, han sido realizados con un ángulo de derivación de 90° y sólo unos pocos han intentado generalizar esta teoría a diferentes ángulos y anchos.

* Ingeniero Metalúrgico. Experiencia Análisis de falla en componentes metálicos. Postgrado en Metodología de la Investigación de la enseñanza universitaria. Actualmente profesor de las cátedras: Procesos de fabricación, Tratamientos térmicos, Corrosión y Jefe del Departamento de Diseño del Programa de Ingeniería Mecánica.

** Ingeniero Civil. Universidad del Norte.

*** Ingeniero Civil. Universidad del Norte

La figura 1 muestra las fuerzas que actúan en la derivación, asumidas por Law y Reynolds.

De la ecuación de momento para el canal lateral, los mencionados investigadores obtuvieron la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\left[\left(\frac{d_b}{d} \right) \left(\frac{B_b}{b} \right)^2 \left[\left(\frac{d_b}{d} \right)^2 - \frac{\left(\frac{d_m}{d} \right)^2 + 1}{2} \right] \right]^{\frac{1}{2}}}{2 \left(\frac{Q_b}{Q} \right) \left[\left(\frac{B_b}{b} \right) \left(\frac{d_b}{d} \right) \cos \alpha - \left(\frac{Q_b}{Q} \right) \right]} \quad (1)$$

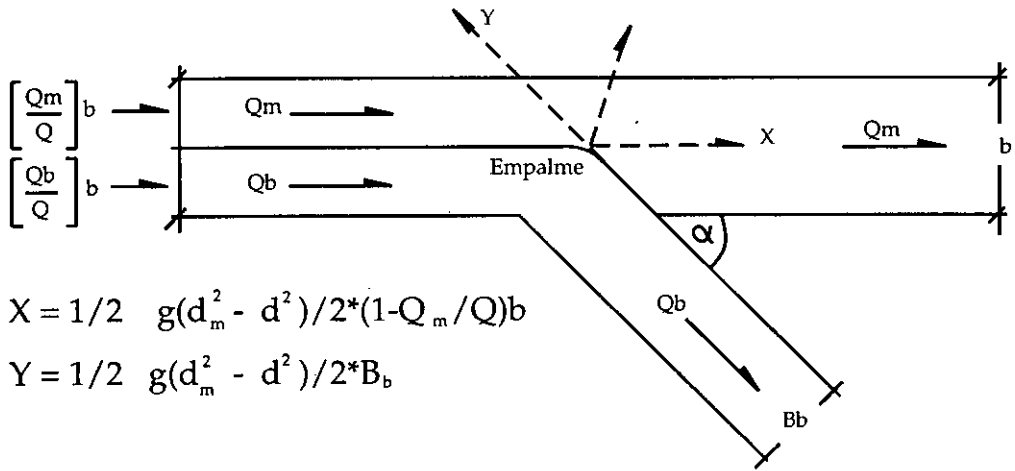


Figura 1. Fuerzas hidrostáticas en los canales

2. Descripción del modelo físico

El modelo diseñado y construido consta de:

- Canales laterales:
 - Canales rectos (ancho 10, 20 y 30 cm.)
 - Acople triangular
 - Acople de restricción
 - Acople lateral derecho (para ángulo de 30, 30 y 60°)
 - Acople de ajuste
 - Acople inferior
 - Acople lateral izquierdo
- Mesa de soporte
- Sistema de drenaje

En la figura 2 se observa el modelo físico con cada una de sus partes.

3. Experiencias realizadas

Para la realización de los ensayos pertinentes a la investigación, fue necesario

calibrar la pendiente del canal principal y el vertedero, mediante mediciones con micromolinete y tubo Pitot.

Así mismo, por medio del micromolinete se midieron velocidades en diferentes profundidades, con las cuales se obtuvo la profundidad en la vertical, en que la velocidad medida es representativa en la media de la vertical.

Para cada una de las condiciones de ancho y ángulo de derivación del canal lateral, se realizaron las siguientes mediciones:

- Velocidad por medio del tubo Pitot en el canal principal.
- Altura de la lámina de agua en el vertedero, en el canal principal, en la extensión del canal principal y en el canal lateral.

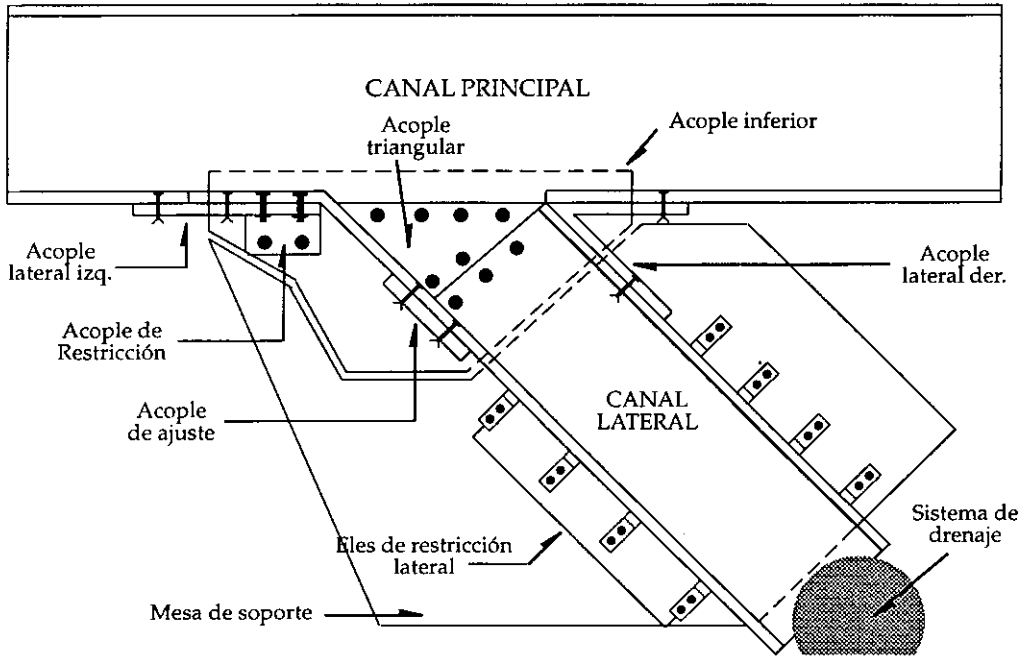


Figura 2. Modelo físico.

4. Resultados experimentales y comparación con la teoría existente

Con estas mediciones se obtuvieron los resultados mostrados en el cuadro 1; en el cuadro 2 se presenta una comparación de los valores de Froude en el canal principal, obtenidos experimentalmente y con la ecuación 2.

De la ecuación de continuidad se obtuvo la siguiente relación:

$$F^2 = \frac{\left(\frac{d_b}{d}\right)^3 F_b^2 \left(\frac{B_b}{b}\right)^2}{\left(\frac{Q_b}{Q}\right)^2} \dots\dots\dots (2)$$

Los resultados obtenidos con la ecuación (1) no presentan una buena correlación con los datos experimentales debido a que la teoría supone que la línea divisora de flujo finaliza en la esquina aguas abajo del empalme y se desprecia cualquier fuerza adicional ejercida por la pared; mientras que con la ecuación (2) se obtienen resultados aceptables y con un margen de error pequeño.

La figura 3 muestra un comparativo teórico - práctico para valores de Froude (F) en el canal principal, obtenidos experimentalmente y calculados utilizando la ecuación (2), para un ancho de 30 cm y un ángulo de derivación del canal lateral de 60°.

Cuadro 1. Datos experimentales de laboratorio

a (cm)	Bb (cm)	d (cm)	dm (cm)	dv (cm)	db (m/ seg)	V (m ³ / seg)	Q (m ³ / seg)	Qm (m ³ / seg)	Vm (m ³ / seg)	Qb1 (m ³ / seg)	Qb2 (m ³ / seg)	Qb (m/ seg)	Vb (m ³ / seg)	Q (m seg)	V
60	30	4.10	3.90	9.30	1.70	0.43	5.29	3.74	0.32	1.55	1.50	1.52	0.30	5.26	0.43
60	30	3.95	3.75	9.45	1.50	0.42	4.98	3.89	0.35	1.08	1.10	1.09	0.24	4.98	0.42
60	30	3.65	3.55	9.05	1.50	0.39	4.27	3.49	0.33	0.78	0.70	0.74	0.16	4.23	0.39
60	30	3.05	3.05	7.82	1.30	0.34	3.11	2.42	0.27	0.69	0.72	0.70	0.18	3.13	0.34
45	30	4.10	3.65	9.40	1.80	0.44	5.41	3.84	0.35	1.57	1.50	1.54	0.28	5.38	0.44
45	30	4.05	3.65	9.20	1.60	0.42	5.10	3.64	0.33	1.46	1.49	1.48	0.31	5.12	0.42
45	30	3.86	3.55	8.90	1.65	0.40	4.63	3.35	0.31	1.28	1.20	1.24	0.25	4.59	0.40
45	30	3.50	3.40	8.40	1.50	0.38	3.99	2.90	0.28	1.09	1.10	1.10	0.24	3.99	0.38
45	30	3.05	3.07	7.70	1.42	0.35	3.20	2.33	0.25	0.87	0.90	0.88	0.21	3.22	0.35
30	30	4.35	3.25	9.05	2.10	0.43	5.61	3.49	0.36	2.12	2.10	2.11	0.33	5.60	0.43
30	30	3.92	3.35	8.75	2.18	0.47	5.53	3.21	0.32	2.32	2.30	2.31	0.35	5.52	0.47
30	30	3.70	3.33	8.40	2.12	0.45	5.00	2.90	0.29	2.10	2.10	2.10	0.33	5.00	0.45
30	30	3.48	3.16	7.90	1.98	0.40	4.18	2.49	0.26	1.69	1.65	1.67	0.28	4.16	0.40
30	30	3.00	2.93	7.31	1.80	0.36	3.24	2.05	0.23	1.19	1.20	1.20	0.22	3.24	0.36
60	20	4.15	4.05	10.10	1.80	0.44	5.48	4.60	0.38	0.88	0.85	0.87	0.24	5.46	0.44
60	20	4.15	4.05	10.20	1.85	0.45	5.60	4.71	0.39	0.89	0.90	0.90	0.24	5.61	0.45
60	20	3.88	3.90	9.60	1.85	0.41	4.77	4.05	0.35	0.72	0.81	0.77	0.21	4.82	0.41
60	20	3.62	3.65	8.93	1.78	0.37	4.02	3.38	0.31	0.64	0.65	0.64	0.18	4.02	0.37
60	20	3.18	3.29	8.20	1.65	0.33	3.15	2.73	0.28	0.42	0.40	0.41	0.12	3.14	0.33
45	20	4.10	3.90	9.90	2.00	0.46	5.66	4.37	0.37	1.29	1.20	1.24	0.31	5.62	0.46
45	20	3.80	3.75	9.72	1.85	0.48	5.47	4.18	0.37	1.30	1.22	1.26	0.34	5.43	0.48
45	20	3.78	3.76	9.50	1.90	0.43	4.88	3.94	0.35	0.93	1.00	0.97	0.25	4.91	0.43
45	20	3.55	3.63	8.98	1.85	0.41	4.37	3.43	0.31	0.94	0.95	0.94	0.26	4.37	0.41
45	20	3.10	3.25	8.18	1.72	0.34	3.16	2.71	0.28	0.45	0.50	0.47	0.14	3.19	0.34
30	20	4.25	3.75	9.80	2.30	0.45	5.74	4.26	0.38	1.47	1.48	1.48	0.32	5.74	0.45
30	20	3.92	3.57	9.25	2.24	0.44	5.17	3.69	0.34	1.48	1.50	1.49	0.33	5.18	0.44
30	20	3.72	3.60	9.00	2.12	0.43	4.80	3.45	0.32	1.35	1.40	1.38	0.32	4.82	0.43
30	20	3.50	3.50	8.51	2.00	0.40	4.20	3.00	0.29	1.20	1.11	1.16	0.29	4.15	0.40
30	20	3.05	4.10	7.72	1.78	0.35	3.20	2.35	0.19	0.85	0.80	0.83	0.23	3.18	0.35
60	10	4.20	4.25	10.50	2.05	0.44	5.54	5.07	0.40	0.48	0.50	0.49	0.24	5.55	0.44
60	10	4.38	4.37	10.60	2.70	0.42	5.52	5.19	0.40	0.33	0.40	0.37	0.14	5.55	0.42
60	10	4.02	4.23	9.90	2.50	0.39	4.70	4.37	0.34	0.33	0.35	0.34	0.14	4.71	0.39
60	10	3.65	3.80	9.40	2.38	0.37	4.05	3.84	0.34	0.21	0.15	0.18	0.08	4.02	0.37
60	10	3.22	3.38	8.50	2.20	0.33	3.19	2.99	0.29	0.20	0.17	0.19	0.08	3.17	0.33
45	10	4.10	4.15	10.20	2.50	0.44	5.41	4.71	0.38	0.70	0.70	0.70	0.28	5.41	0.44
45	10	4.00	4.00	10.12	2.20	0.44	5.28	4.62	0.38	0.66	0.65	0.66	0.30	5.27	0.44
45	10	3.78	3.97	9.72	2.25	0.44	4.99	4.18	0.35	0.81	0.80	0.81	0.36	4.98	0.44
45	10	3.68	3.75	9.21	2.15	0.35	3.86	3.65	0.32	0.21	0.20	0.21	0.10	3.86	0.35
45	10	3.18	3.37	8.42	2.00	0.33	3.15	2.92	0.29	0.23	0.20	0.22	0.11	3.13	0.33
30	10	4.10	3.95	10.20	2.40	0.45	5.54	4.71	0.40	0.82	0.80	0.81	0.34	5.52	0.45
30	10	3.90	3.97	10.00	2.45	0.47	5.50	4.48	0.38	1.01	1.05	1.03	0.42	5.52	0.47
30	10	3.85	3.93	9.71	2.45	0.42	4.85	4.17	0.35	0.68	0.71	0.70	0.28	4.86	0.42
30	10	3.55	3.70	9.12	2.32	0.39	4.15	3.56	0.32	0.59	0.65	0.62	0.27	4.18	0.39

Cuadro 2. Comparación de valores de Froude experimentales y teóricos

Angulo (°)	Bb(cm)	Fm	Fb	Qb/Q	dm/d	db/d	F	Fc	Error(%)
60	30	0.52	0.74	0.29	0.95	0.41	0.68	0.67	1.49
60	30	0.57	0.62	0.22	0.95	0.38	0.67	0.66	1.51
60	30	0.56	0.41	0.17	0.97	0.41	0.64	0.63	1.58
60	30	0.48	0.51	0.22	1	0.43	0.63	0.65	3.00
45	30	0.59	0.67	0.28	0.89	0.44	0.69	0.70	1.42
45	30	0.56	0.76	0.29	0.9	0.4	0.67	0.66	1.51
45	30	0.53	0.62	0.27	0.92	0.43	0.64	0.65	1.53
45	30	0.49	0.63	0.27	0.97	0.43	0.65	0.66	1.51
45	30	0.46	0.55	0.27	1.01	0.47	0.64	0.66	3.00
30	30	0.63	0.74	0.38	0.75	0.48	0.66	0.65	1.54
30	30	0.56	0.76	0.42	0.85	0.56	0.76	0.76	0.00
30	30	0.51	0.73	0.42	0.9	0.57	0.75	0.75	0.00
30	30	0.47	0.64	0.4	0.91	0.57	0.68	0.69	1.45
30	30	0.43	0.52	0.37	0.97	0.6	0.66	0.65	1.54
60	20	0.6	0.55	0.15	0.98	0.43	0.68	0.69	1.45
60	20	0.62	0.58	0.16	0.98	0.45	0.71	0.73	2.74
60	20	0.56	0.5	0.16	1.01	0.48	0.67	0.69	2.90
60	20	0.52	0.43	0.16	1.01	0.49	0.62	0.61	1.64
60	20	0.49	0.31	0.13	1.03	0.52	0.59	0.60	1.66
45	20	0.6	0.69	0.22	0.95	0.49	0.72	0.72	0.00
45	20	0.6	0.79	0.23	0.99	0.49	0.78	0.79	1.26
45	20	0.58	0.59	0.2	0.99	0.5	0.71	0.70	1.43
45	20	0.53	0.59	0.21	1.02	0.52	0.69	0.70	1.43
45	20	0.49	0.34	0.15	1.05	0.55	0.62	0.62	0.00
30	20	0.63	0.67	0.25	0.88	0.54	0.69	0.71	2.80
30	20	0.5	0.71	0.29	0.91	0.57	0.71	0.70	1.43
30	20	0.54	0.72	0.29	0.97	0.57	0.72	0.71	2.80
30	20	0.51	0.64	0.27	0.97	0.57	0.67	0.68	1.47
30	20	0.3	0.57	0.26	1.34	0.58	0.64	0.65	1.54
60	10	0.62	0.55	0.09	1.01	0.49	0.69	0.70	1.43
60	10	0.6	0.29	0.07	1	0.62	0.65	0.67	2.98
60	10	0.54	0.26	0.07	1.05	0.62	0.62	0.60	3.30
60	10	0.55	0.13	0.04	1.04	0.65	0.61	0.57	7.01
60	10	0.51	0.18	0.06	1.05	0.68	0.58	0.56	3.57
45	10	0.59	0.54	0.12	1.01	0.61	0.69	0.71	2.80
45	10	0.61	0.62	0.12	1	0.55	0.70	0.70	0.00
45	10	0.56	0.74	0.16	1.05	0.6	0.72	0.72	0.00
45	10	0.54	0.21	0.05	1.02	0.58	0.58	0.62	6.45
45	10	0.5	0.23	0.07	1.06	0.63	0.59	0.55	7.27
30	10	0.64	0.7	0.15	0.96	0.59	0.71	0.70	1.43
30	10	0.6	0.86	0.19	1.02	0.63	0.76	0.75	1.33
30	10	0.57	0.57	0.14	1.02	0.64	0.68	0.69	1.45
30	10	0.53	0.57	0.15	1.04	0.65	0.67	0.66	1.51

Cuadro 2. Comparación de valores de Froude experimentales y teóricos

Angulo (°)	Bb(cm)	Fm	Fb	Qb/Q	dm/d	db/d	F	Fc	Error(%)
60	30	0.52	0.74	0.29	0.95	0.41	0.68	0.67	1.49
60	30	0.57	0.62	0.22	0.95	0.38	0.67	0.66	1.51
60	30	0.56	0.41	0.17	0.97	0.41	0.64	0.63	1.58
60	30	0.48	0.51	0.22	1	0.43	0.63	0.65	3.00
45	30	0.59	0.67	0.28	0.89	0.44	0.69	0.70	1.42
45	30	0.56	0.76	0.29	0.9	0.4	0.67	0.66	1.51
45	30	0.53	0.62	0.27	0.92	0.43	0.64	0.65	1.53
45	30	0.49	0.63	0.27	0.97	0.43	0.65	0.66	1.51
45	30	0.46	0.55	0.27	1.01	0.47	0.64	0.66	3.00
30	30	0.63	0.74	0.38	0.75	0.48	0.66	0.65	1.54
30	30	0.56	0.76	0.42	0.85	0.56	0.76	0.76	0.00
30	30	0.51	0.73	0.42	0.9	0.57	0.75	0.75	0.00
30	30	0.47	0.64	0.4	0.91	0.57	0.68	0.69	1.45
30	30	0.43	0.52	0.37	0.97	0.6	0.66	0.65	1.54
60	20	0.6	0.55	0.15	0.98	0.43	0.68	0.69	1.45
60	20	0.62	0.58	0.16	0.98	0.45	0.71	0.73	2.74
60	20	0.56	0.5	0.16	1.01	0.48	0.67	0.69	2.90
60	20	0.52	0.43	0.16	1.01	0.49	0.62	0.61	1.64
60	20	0.49	0.31	0.13	1.03	0.52	0.59	0.60	1.66
45	20	0.6	0.69	0.22	0.95	0.49	0.72	0.72	0.00
45	20	0.6	0.79	0.23	0.99	0.49	0.78	0.79	1.26
45	20	0.58	0.59	0.2	0.99	0.5	0.71	0.70	1.43
45	20	0.53	0.59	0.21	1.02	0.52	0.69	0.70	1.43
45	20	0.49	0.34	0.15	1.05	0.55	0.62	0.62	0.00
30	20	0.63	0.67	0.25	0.88	0.54	0.69	0.71	2.80
30	20	0.5	0.71	0.29	0.91	0.57	0.71	0.70	1.43
30	20	0.54	0.72	0.29	0.97	0.57	0.72	0.71	2.80
30	20	0.51	0.64	0.27	0.97	0.57	0.67	0.68	1.47
30	20	0.3	0.57	0.26	1.34	0.58	0.64	0.65	1.54
60	10	0.62	0.55	0.09	1.01	0.49	0.69	0.70	1.43
60	10	0.6	0.29	0.07	1	0.62	0.65	0.67	2.98
60	10	0.54	0.26	0.07	1.05	0.62	0.62	0.60	3.30
60	10	0.55	0.13	0.04	1.04	0.65	0.61	0.57	7.01
60	10	0.51	0.18	0.06	1.05	0.68	0.58	0.56	3.57
45	10	0.59	0.54	0.12	1.01	0.61	0.69	0.71	2.80
45	10	0.61	0.62	0.12	1	0.55	0.70	0.70	0.00
45	10	0.56	0.74	0.16	1.05	0.6	0.72	0.72	0.00
45	10	0.54	0.21	0.05	1.02	0.58	0.58	0.62	6.45
45	10	0.5	0.23	0.07	1.06	0.63	0.59	0.55	7.27
30	10	0.64	0.7	0.15	0.96	0.59	0.71	0.70	1.43
30	10	0.6	0.86	0.19	1.02	0.63	0.76	0.75	1.33
30	10	0.57	0.57	0.14	1.02	0.64	0.68	0.69	1.45
30	10	0.53	0.57	0.15	1.04	0.65	0.67	0.66	1.51

$Bb = 30$ $= 60$

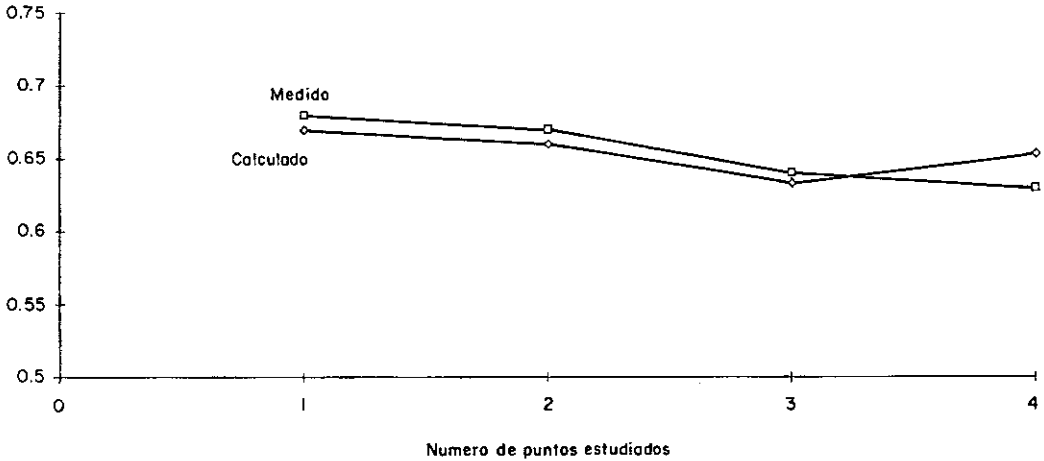


Figura 3. Comparativo teórico-práctico de Froude en el canal principal

El rango de caudales en el canal principal, con el cual se realizaron los ensayos de laboratorio, varió entre 3.1 lt/seg y 5.7 lt/seg, con una pendiente constante de 0.1% tanto en el canal principal como en el canal lateral.

El rango de variación del número de Froude en el canal principal está entre 0.58 y 0.78, lo cual permite una derivación del caudal hacia el canal lateral, que varía desde 5% hasta 42% (ver figura 4), con un rango de valores de Froude en el canal lateral que varía entre 0.13 y 0.86 (ver figura 5), encontrándose los mayores caudales en el canal lateral a medida que el ángulo de derivación se aproxima a 0° y la abertura del canal lateral es mayor. El cuadro 3 presenta los rangos de variación de la relación de caudales (Q_b/Q) para diferentes ángulos de derivación y relaciones de anchos (Bb/b).

5. Conclusiones y recomendaciones

Con base en el canal multifuncional, loca-

lizado en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad del Norte, se diseñó y construyó un modelo físico para el estudio del comportamiento hidráulico en canales laterales

Los experimentos de laboratorio fueron realizados en un canal principal y un canal lateral, ambos de sección rectangular y con pendiente media de 0.1%; el rango de caudales y números de Froude en el canal principal varió de 3 a 6 m³/seg, y de 0.58 a 0.78, respectivamente. Los caudales se obtuvieron por medio de micromolinete, tubo Pitot y Vertedero.

Los resultados en las mediciones en el modelo físico permiten concluir que a menor ángulo de derivación y mayor sección, mayor es el caudal que pasa por el canal lateral.

Las figuras 4 y 5 muestran que la relación existente entre el número de Froude en el canal principal o lateral, y la relación de caudales Q_b/Q es aproximadamente

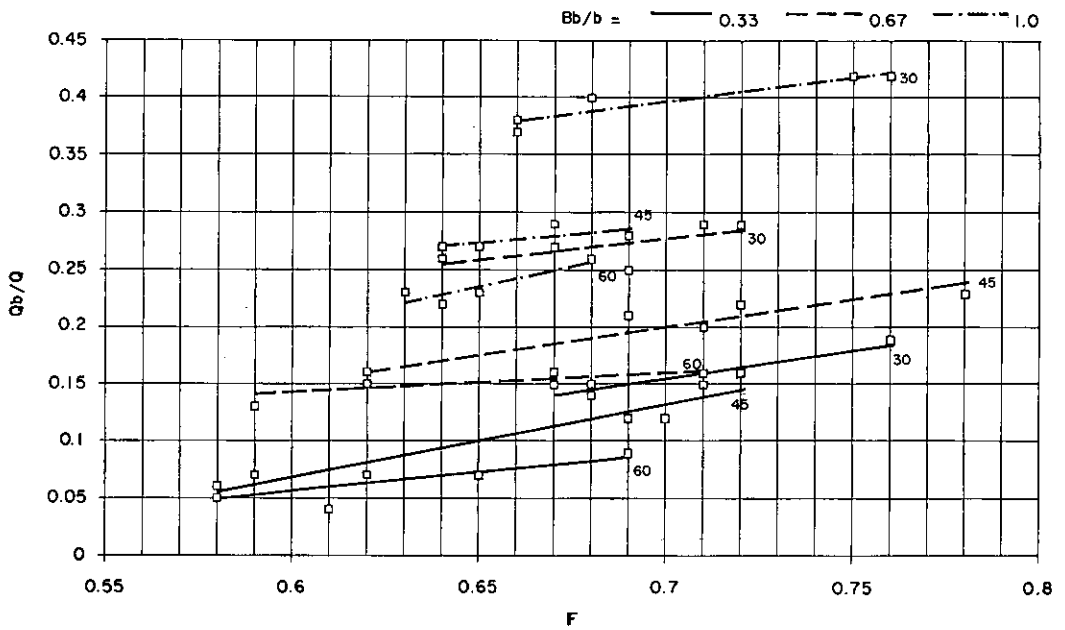


Figura 4. Froude (F) en el canal principal contra la relación de caudales (Q_b/Q), con isóneas para los ángulos 30° , 45° y 60°

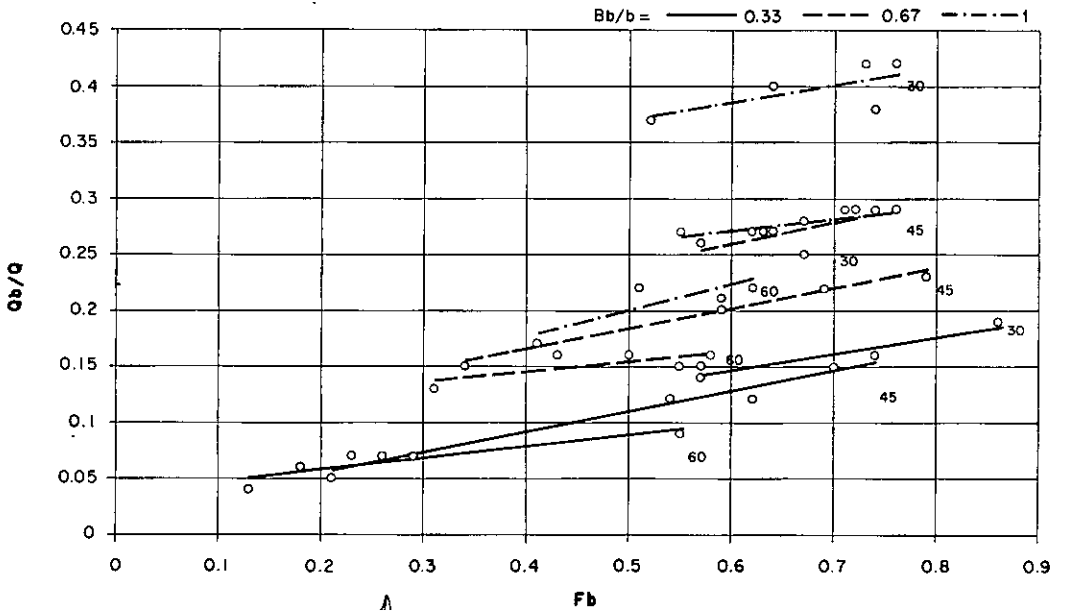


Figura 5. Froude (F_b) en el canal lateral contra la relación de caudales (Q_b/Q), con isóneas para los ángulos 30° , 45° y 60°

Cuadro 3. Rangos de variación de la relación de caudales (Qb/Q)

Angulo α	Relación de caudal (Qb/Q)	Relación de anchos (Bb/b)	Relación de caudal (Qb/Q)
30°	0.14 - 0.425	1.00	0.22 - 0.425
45°	0.06 - 0.28	0.67	0.14 - 0.285
60°	0.05 - 0.26	0.33	0.05 - 0.18

lineal. La inclinación de la pendiente de estas líneas es independiente del ancho del canal lateral y el ángulo de derivación. La similitud en la inclinación de la pendiente de las curvas presentadas en dichas figuras muestran que, independientemente del rango de caudales que se deriva por el canal lateral, el comportamiento hidráulico en ambos canales es similar.

Bibliografía

1. MUÑOZ R., Jose Alonso, VILLADIEGO, Edgar. Diseño y Construcción de un Modelo Físico para el Análisis del Comportamiento Hidráulico en Canales Laterales.

2. CASTRO, Gabriel M.; MOLINA, Freddy y QUINTANA, T. Lilianny. Diseño y Construcción de un prototipo de canal abierto multifuncional, para el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad del Norte. Universidad del Norte, Barranquilla, 1985.

3. CHOW, Ven Te. *Flujo a través de secciones de canales no prismáticos. Hidráulica de Canales Abiertos*. México, Editorial Diana, 1985.

4. FRENCH, Richard. *Hidráulica de Canales Abiertos*. México, McGraw-Hill, 1988.

5. GONZALEZ, Mauricio. LINDADOM, Rafael de Jesús. Complementación teórico y experimental del canal multifuncional, instalado en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad del Norte. Universidad del Norte, Barranquilla 1987.

6. HENDERSON, F. M. *Channel Transitions, Lateral Inflow and outflow, Open Channel Flow*, México, Macmillan Company, 1977, Pág. 268 - 285.

7. LAW, Shiu Wai; REYNOLDS, Alan J. *Dividing Flow In An Open Channel*. Journal of the Hydraulics Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Marzo, 1966.

8. STREETER, Víctor L. *Mecánica de los Fluidos*. México, McGraw-Hill, 8ª ed., 1988.