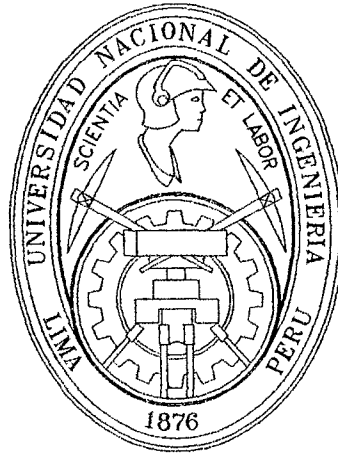


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**INVESTIGACIÓN DEL COEFICIENTE DE
DESCARGA EN VERTEDEROS LATERALES**

TESIS

Para optar el Título Profesional de :

INGENIERO CIVIL

AUSBERTO RIVERA MEDINA

Lima - Perú

2005

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

DEDICATORIA

*A mi Querida madre Maximina Medina, por su ayuda
Incondicional a lo largo de mi formación profesional*

AGRADECIMIENTOS

Al C.E. Francisco Coronado del Águila, Por su valiosa orientación y estímulo en el desarrollo de la presente investigación.

A mi hermano Juan M. Rivera por sus ideales y consejos.

Al Laboratorio Nacional de Hidráulica

A Luis Ventura, por su constante colaboración y amistad.

A todos aquellos que en una u otra forma colaboraron en la presente investigación.

INVESTIGACIÓN DEL COEFICIENTE DE DESCARGA EN VERTEDEROS LATERALES

INDICE

CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Estructuras de seguridad y control.....	1
1.2.	Los vertederos.....	1
1.3.	Vertederos laterales.....	6
1.3.1.	Condiciones de flujo sobre vertederos laterales.....	6
1.3.2.	Aplicación de los Vertederos Laterales.....	8
CAPITULO II	OBJETIVOS.....	9
CAPITULO III	INVESTIGACIONES PREVIAS REALIZADAS.....	10
3.1	Coeficiente de descarga en vertederos frontales.....	11
3.2	Coeficiente de descarga en vertederos laterales.....	13
3.2.1	Coeficiente de descarga lateral Variable C_{dle}	14
3.2.2	Coeficiente de descarga lateral global C_{dlg}	15
3.3	Coeficiente de descarga propuesto por diversos investigadores....	15
3.3.1	Coeficiente de descarga lateral C_M según de Marchi (1934).....	16
3.3.2	Coeficiente de descarga lateral C_M según Subramanya y Awasthy (1972).....	17
3.3.3	Coeficiente de descarga lateral C_M según Ranga y Raju (1979).....	20
3.3.4	Coeficiente de descarga lateral C_{dle} según Hager (1987).....	22
3.3.5	Coeficiente de descarga lateral C_M según Cheong (1991).....	24
3.3.6	Coeficiente de descarga lateral C_M según Singh (1994).....	25
3.3.7	Coeficiente de descarga lateral según Silva (1997).....	26
3.3.8	Coeficiente de descarga según Borghei, Jailili y Ghodsian (1999).....	29

CAPITULO IV	FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE UN FLUJO	
	ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL.....	31
4.1	Formulación matemática por el principio de cambio de momentum...	31
4.2	Formulación matemática por el principio de conservación de la Energía.....	37
4.3	Aproximación teórica del coeficiente de descarga lateral C_M	38
4.4	Análisis dimensional de un flujo espacialmente variado sobre un Vertedero lateral.....	40
CAPITULO V	PROGRAMA EXPERIMENTAL MATERIALES Y	
	PROCEDIMIENTO.....	43
5.1	Alcances.....	44
5.2	Programa Experimental.....	44
5.3	Equipamiento Y materiales.....	44
5.3.1	Canal de pendiente variable.....	46
5.3.1.1	Compuerta de Control.....	47
5.3.1.2	Equipamiento para la medición de pendientes en el canal.....	48
5.3.2	Sistema de drenaje del caudal aliviado.....	48
5.3.3	Vertederos laterales.....	49
5.3.4	Equipo para la medición de tirantes.....	49
5.3.5	Vertedero triangular de 90°.....	51
5.3.6	Vertedero triangular de 27°.....	53
5.3.7	Canal de retorno.....	55
5.3.8	Bomba hidráulica.....	55
5.3.9	Otros.....	55
5.4	Procedimiento.....	56
CAPITULO VI	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
6.1	Análisis cualitativo de resultados.....	57
6.1.1.	Flujo tipo A.....	60
6.1.2.	Flujo tipo B.....	61
6.1.3.	Flujo tipo C.....	62

6.2	Calculo del coeficiente de descarga.....	85
6.3	Dependencia del coeficiente de descarga con los parámetros π	85
6.3.1.	Efecto del número de Froude aguas arriba del vertedero lateral (F1).....	85
6.3.2.	Efecto del número de Froude aguas abajo del vertedero lateral (F2).....	85
6.3.3.	Efecto del parámetro (P/y_1)	86
6.3.4.	Efecto del parámetro (P/y_2)	86
6.3.5.	Efecto del parámetro (F_2/F_1)	86
6.3.6.	Efecto del parámetro $(B/y_1), (L/y_1)$	86
6.4	Expresión desarrollada en la presente investigación.....	86
6.5	Comparación del coeficiente de descarga experimental con Investigaciones anteriores.....	95
6.6	Metodología de diseño recomendado	104
6.6.1	Ejemplo numérico de aplicación.....	106
CAPITULO VII	CONCLUSIONES.....	108
CAPITULO VIII	RECOMENDACIONES.....	110
CAPITULO IX	BIBLIOGRAFÍA.....	111

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1 Esquema de un vertedero frontal.....	2
Fig. 1.2 Clasificación de acuerdo al ancho de cresta.....	3
Fig. 1.3 Clasificación con respecto a la dirección del flujo en el plano.....	3
Fig. 1.4 Clasificación respecto a la longitud y el ancho del flujo en el canal.....	4
Fig. 1.5 Vertedero sumergido	4
Fig. 1.6 Clasificación con respecto al flujo que se establece encima del vertedero....	5
Fig. 1.7. Esquema de un vertedero lateral Vista isométrica.....	6
Fig. 1.8 Esquema de un vertedero lateral Vista en Planta y Perfil.....	7
Fig. 1.9 Perfil de flujo en Régimen Subcrítico.....	8
Fig. 1.10 Perfil de flujo en Régimen Supercrítico.....	8
Fig. 1.11 Obra de toma típica con aliviadero lateral.....	9
Fig. 3.1 Esquema de un vertedero frontal de cresta delgada.....	12
Fig. 3.2 Vista esquemática de un vertedero lateral.....	14
Fig. 3.3 Coeficiente descarga obtenido por SUBRAMANYA Y AWASTHY (1972).....	20
Fig. 3.4 Vertedero de cresta ancha usado por RANGA Y RAJU.....	21
Fig. 3.5 Coeficiente descarga obtenido por RANGA Y RAJU para vertederos de cresta delgada (1979).....	22
Fig. 3.6. Coeficiente descarga lateral elemental C_{dle} obtenido por Hager(1987).....	23
Fig. 3.7. Coeficiente descarga C_M obtenido por Cheong (1991).....	24
Fig. 3.8 Coeficiente descarga obtenido por Silva vs F_1	27
Fig. 3.9 Coeficiente descarga obtenido por Silva vs \bar{y}/P	27
Fig. 3.10 Coeficiente descarga obtenido por Silva vs $L/(V_1^2 / 2g)$	28
Fig. 4.1 Vista en planta del esquema computacional	32
Fig. 4.2 Vista en perfil del esquema computacional.....	32
Fig. 4.3 Sección transversal del esquema computacional.....	33
Fig. 4.4 Efecto de la velocidad del chorro saliente y su ángulo de deflexión.....	38
Fig. 5.1 Esquema general del equipo experimental.....	45
Fig. 5.2 Sección transversal del canal de pendiente variable.....	47
Fig. 5.3 Limnímetros de medición de tirantes de flujo.....	50
Fig. 5.4 Curva de descarga del vertedero triangular de 90°.....	51

Fig. 5.5 Curva de descarga del vertedero triangular de 27°	53
Fig. 6.1 Comportamiento del flujo en un vertedero lateral.....	58
Fig. 6.2 Configuración del flujo tipo A	60
Fig. 6.3 Configuración del flujo tipo B.....	61
Fig. 6.4 Configuración del flujo tipo C	62
Fig. 6.5 Esquema de cálculo del coeficiente de descarga.....	63
Fig. 6.6 Comparación entre la energía específica inicial y final.....	83
Fig. 6.7 Comparación entre el tirante inicial experimental y_1^* y teórico y_1	84
Fig. 6.8 Coeficiente de descarga experimental C_M vs F_1	87
Fig. 6.9 Coeficiente de descarga experimental C_{dlg} vs F_1	88
Fig. 6.10 Coeficiente de descarga experimental C_M vs F_2	89
Fig. 6.11 Coeficiente de descarga experimental C_{dlg} vs F_2	90
Fig. 6.12 Coeficiente de descarga experimental C_M vs P/y_1	91
Fig. 6.13 Coeficiente de descarga experimental C_{dlg} vs P/y_1	92
Fig. 6.14 Coeficiente de descarga experimental C_M vs P/y_2	93
Fig. 6.15 Coeficiente de descarga experimental C_{dlg} vs P/y_2	94
Fig. 6.16 Coeficiente de descarga experimental C_M vs Subramanya y Awasthy.....	96
Fig. 6.17 Coeficiente de descarga experimental C_M vs Nadesamoothy.....	97
Fig. 6.18 Coeficiente de descarga experimental C_M vs Yu Tech.....	98
Fig. 6.19 Coeficiente de descarga experimental C_M vs Ranga y Raju.....	99
Fig. 6.20 Coeficiente de descarga experimental C_M vs Cheong.....	100
Fig. 6.21 Coeficiente de descarga experimental C_M vs Singh.....	101
Fig. 6.22 Coeficiente de descarga experimental C_M vs Silva.....	102
Fig. 6.23 Coeficiente de descarga experimental C_M vs Borghei.....	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1	Coeficiente de descarga para vertederos frontales de cresta delgada.....	12
Tabla 3.2	Diferencia entre vertederos frontales y laterales.....	13
Tabla 3.3	Características geométricas y de flujo utilizado por Subramanya y Awasthy (1972)	18
Tabla 3.4	Características geométricas y de flujo utilizado por Ranga y Raju (1979)...	21
Tabla 3.5	Características geométricas y de flujo utilizado por Hager (1987).....	23
Tabla 3.6	Características geométricas y de flujo utilizado por Cheong (1991).....	25
Tabla 3.7	Características geométricas y de flujo utilizado por Singh (1994).....	25
Tabla 3.8	Características geométricas y de flujo utilizado por Borghei, Jaillili y Ghodsian (1994).....	29
Tabla 3.9	Resumen de las expresiones del coeficiente de descarga de un vertedero Lateral.....	30
Tabla 4.1	Variables consideradas en el análisis dimensional	41
Tabla 5.1	Rango de parámetros y de flujo ensayados para cada vertedero lateral....	49
Tabla 5.2	Dimensiones de los vertederos laterales ensayados.....	49
Tabla 5.3	Tabla de calibración de caudales vertedero triangular de 90 ^o	52
Tabla 5.4	Tabla de calibración de caudales vertedero triangular de 27 ^o	54
Tabla 6.1	Características geométricas y de flujo de los vertederos ensayados.....	62
Tabla 6.2	Registro de laboratorio Vertedero I.....	63
Tabla 6.3.a	Registro de laboratorio Vertedero II.....	64
Tabla 6.3.b	Registro de laboratorio Vertedero II.....	65
Tabla 6.4	Registro de laboratorio Vertedero III.....	66
Tabla 6.5	Registro de laboratorio Vertedero IV.....	67
Tabla 6.6	Registro de laboratorio Vertedero V.....	68
Tabla 6.7	Cálculo del y_1 por conservación de la energía Vertedero I.....	71
Tabla 6.8.a.	Cálculo de y_1 por conservación de la energía Vertedero II.....	72
Tabla 6.8.b.	Cálculo de y_1 por conservación de la energía Vertedero II.....	73
Tabla 6.9	Cálculo de y_1 por conservación de la energía Vertedero III.....	74
Tabla 6.10	Cálculo de y_1 por conservación de la energía Vertedero IV	75
Tabla 6.11	Cálculo de y_1 por conservación de la energía Vertedero V	76

Tabla 6.12 Cálculo del coeficiente de descarga medido y mediante expresiones anteriores Vertedero I.....	77
Tabla 6.13.a Cálculo del coeficiente de descarga medido y mediante expresiones anteriores Vertedero II.....	78
Tabla 6.13.b Cálculo del coeficiente de descarga medido y mediante expresiones anteriores Vertedero II.....	79
Tabla 6.14 Cálculo del coeficiente de descarga medido y mediante expresiones anteriores Vertedero III.....	80
Tabla 6.15 Cálculo del coeficiente de descarga medido y mediante expresiones anteriores Vertedero IV.....	81
Tabla 6.16 Cálculo del coeficiente de descarga medido y mediante expresiones anteriores Vertedero V.....	82
Tabla 6.17 Resumen de expresiones de coeficiente de descarga C_M	95

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Foto 5.1 Vista del canal de pendiente variable en funcionamiento.....	46
Foto 5.2 Disipación de energía al ingreso del canal.....	47
Foto 5.3 Compuerta de control.....	48
Foto 5.4 Sistema de drenaje del caudal aliviado.....	48
Foto 5.5 Vertedero lateral ubicado en la pared del canal en funcionamiento.....	49
Foto 5.6 Medición de tirantes utilizando limnómetros.....	50
Foto 5.7 Vertedero triangular de 90° en funcionamiento para estimar Q_2	51
Foto 5.8 Vertedero triangular de 27° en funcionamiento para estimar Q_w	53
Foto 5.9 Canal de retorno.....	55

LISTADO DE SÍMBOLOS

P	: Altura de la cresta del vertedero Lateral.
L	: Longitud del vertedero.
B	: Base del canal principal.
A	: Área de la sección transversal del canal.
h	: Altura de lamina de agua vertiente (y-P).
y	: Tirante de agua.
y_1	: Tirante en la sección 1.
y_1^*	: Tirante medido experimentalmente en la sección 1.
y_2	: Tirante en la sección 2.
V	: Velocidad media en el canal principal.
V_1	: Velocidad media en el canal principal en la sección 1.
V_2	: Velocidad media en el canal principal en la sección 2.
V_w	: Velocidad del chorro vertiente.
F	: Número de Froude en el canal principal.
F_1	: Número de Froude en el canal principal sección 1.
F_2	: Número de Froude en el canal principal sección 2.
ϕ	: Ángulo de deflexión del chorro vertiente.
S_o	: Pendiente del Canal Principal.
S_f	: Pendiente de la línea de Energía.
E	: Energía específica.
Q	: Caudal en el canal principal.
Q_1	: Caudal en el canal principal en la sección 1.
Q_2	: Caudal en el canal principal en la sección 2.
Q_w	: Caudal aliviado por el Vertedero Lateral.
α	: Coeficiente de Corrección de Energía Cinética.
β	: Coeficiente de corrección de Momentum.
Z	: Talud de Canal Trapezoidal.
C_d	: Coeficiente de descarga.
C_{dle}	: Coeficiente de descarga lateral Variable.
C_{dlg}	: Coeficiente de descarga lateral Global.
C_M	: Coeficiente de De Marchi.
Φ	: Función hidráulica de De Marchi.
g	: Aceleración de la gravedad.
ρ	: Densidad del agua.
n	: Coeficiente de Rugosidad del Canal Principal.
q_w	: Caudal unitario del vertedero lateral.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de los ríos del Perú poseen una distribución temporal y espacial de caudales no uniforme, debido a las condiciones geográficas y meteorológicas sus cuencas están sujetas a periodos húmedos y secos muy marcados, más aún están propensas a eventos extraordinarios, por lo cual en el diseño de obras de toma se deben contemplar estructuras de seguridad que garanticen la descarga de diseño en los canales de derivación.

Los vertederos laterales son estructuras muy usadas para este fin permitiendo proyectar estructuras seguras, siendo el estudio de su comportamiento hidráulico de importancia.

1.1 ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD Y CONTROL.

Se denomina estructuras de seguridad a aquellas que evacuan las aguas que superan las descargas requeridas por un determinado sistema, permitiendo devolver las aguas en exceso generalmente a un medio natural, impidiendo de este modo se exceda la capacidad de conducción de un canal, entre ellas podemos mencionar a los vertederos laterales.

En un sistema hidráulico el estudio de la interacción entre las obras de seguridad y control es de mucha importancia.

1.2 LOS VERTEDEROS

Donde un obstáculo es construido sobre la base de un canal, el nivel de agua es elevado pasando sobre este, estructuras de este tipo son llamados vertederos, los vertederos son estructuras que tienen una aplicación muy extendida en todo tipo de sistemas hidráulicos y expresan una condición especial de movimiento no uniforme en un tramo con notoria diferencia de nivel, normalmente desempeñan funciones de seguridad y control, por ello son ampliamente aplicados como barrajes, caídas, aforadores, etc.

Se han diseñado vertederos para necesidades específicas, siendo sus principales fines los siguientes.

- Lograr que el nivel de agua en una obra de toma alcance el valor requerido para el funcionamiento de la misma.
- Mantener un nivel mínimo aguas arriba de una obra de toma, permitiendo que el flujo sobre el coronamiento del vertedero se desarrolle con una altura de espesor limitado
- Constituir una estructura de seguridad de mayor importancia, evacuando las aguas de exceso generadas durante los eventos de máximas crecidas.
- Aforar la descarga en flujos de superficie libre, por su facilidad de determinar con razonable aproximación, el caudal que escurre sobre el mismo conociendo el espesor de la lamina vertiente y por su sencilla construcción.

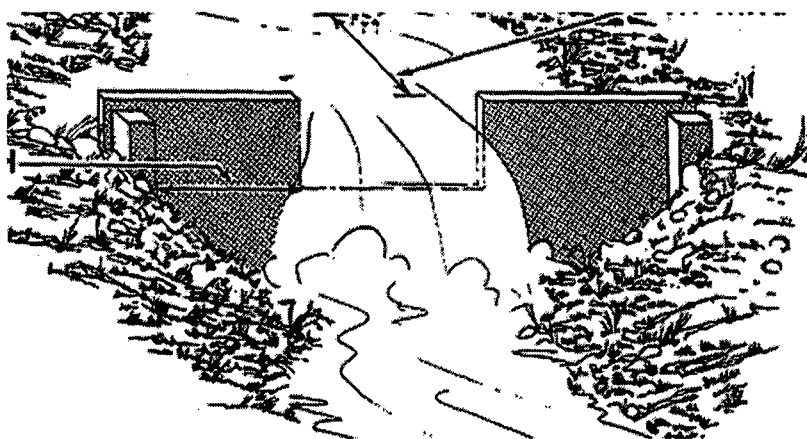


FIG. 1.1 Esquema de un vertedero frontal.

Existe una amplia gama de vertederos clasificándose de acuerdo a los siguientes aspectos:

- De acuerdo al ancho de la cresta en vertedero de cresta delgada, de pared gruesa e intermedia (dependiendo de la relación entre la carga aguas arriba y el espesor de la cresta del vertedero) ver Fig. 1.2.

Como regla general cuando el espesor de la cresta es menor que 0.5 de la carga el vertedero es de pared delgada, la adherencia de la lamina a la cresta es nula, si $0.5h < e < 2h/3$ la adherencia es inestable.

Cuando $2h/3 < e < 3h$ los vertederos son de pared intermedia

Cuando $3h < e < 15h$ vertederos son de pared gruesa el escurrimiento se aproxima al de un canal con flujo crítico y si el ancho de la cresta es mayor que $15h$ se considera un canal.

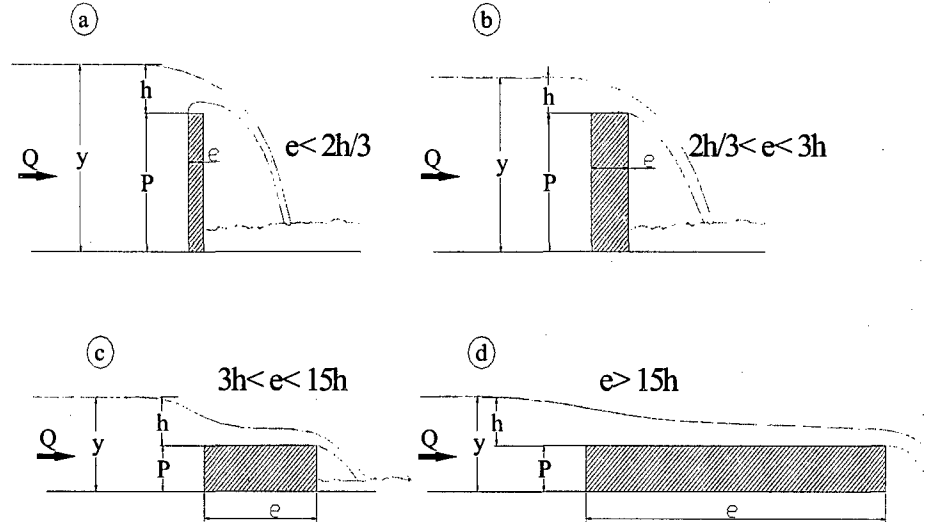


FIG. 1.2 Clasificación de vertederos al ancho de cresta a) vertedero de cresta delgada b) vertedero de cresta intermedia c) vertedero de cresta ancha d) canal.

- De acuerdo a la localización de la cresta respecto al flujo en vertederos frontales, laterales, circulares (Vertederos Morning Glory) y otras formas.

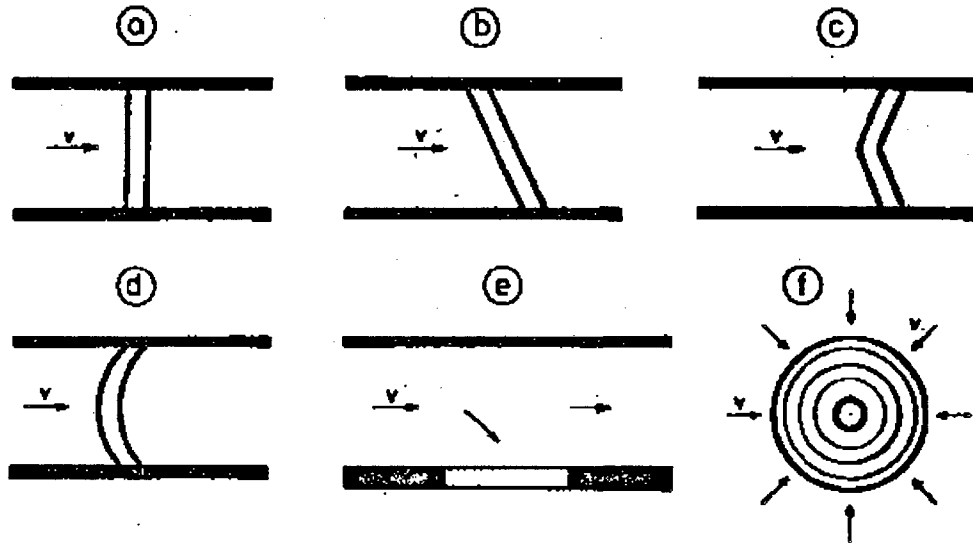


FIG. 1.3 Clasificación con respecto a la dirección de flujo en el plano a) perpendicular b) oblicuo c) Quebrado d) Curvado e) Lateral f) Circular.

- Con respecto a la longitud del vertedero y el ancho del flujo en el canal de aproximación en vertederos con contracciones y sin contracciones

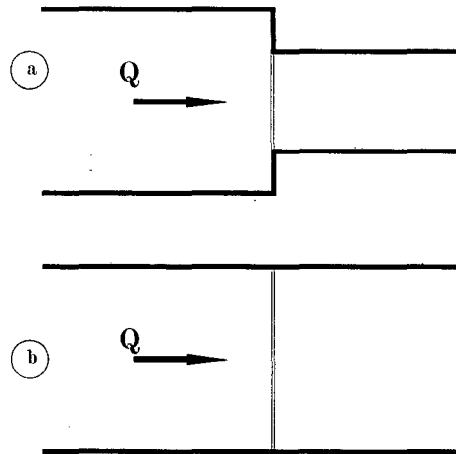


FIG. 1.4 Clasificación con respecto a la longitud del vertedero y el ancho del flujo en el canal a) con contracciones b) sin contracciones.

- De acuerdo a la influencia del nivel aguas abajo; cuando el nivel aguas abajo esta encima de la cresta del vertedero esta se denomina sumergido.

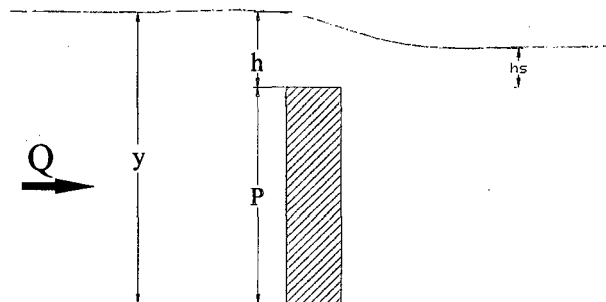


FIG. 1.5 vertedero sumergido.

- Según la geometría del contorno de la abertura pueden distinguirse, vertederos rectangulares, trapeziales, triangulares, circulares y parabólicos en la práctica se emplean los tres tipos enunciados en primer término.
- De acuerdo a la ventilación de la lamina vertiente en vertederos de lámina ventilada, parcialmente ventilada y ahogados.

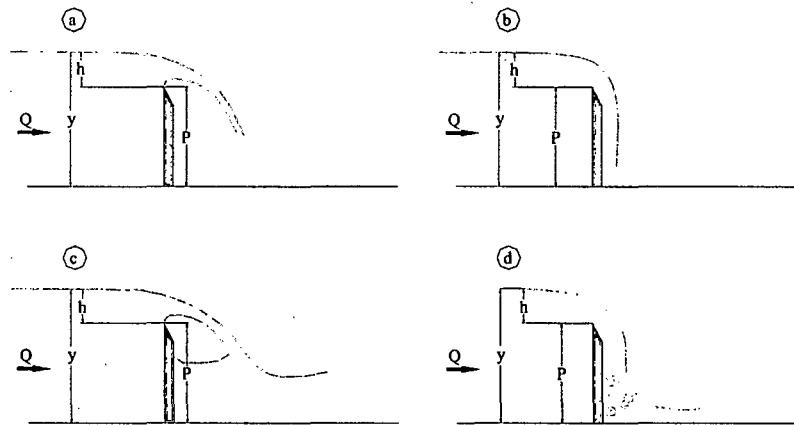


FIG. 1.6 Ventilación de lámina vertiente a) Completamente ventilada b) Lámina adherente c) Parcialmente ventilado d) Ahogado

El problema más importante cuando se diseña un vertedero es el de relacionar la descarga sobre el vertedero con las características geométricas y de flujo.

Un vertedero bien diseñado exhibe un flujo subcrítico corriente arriba de la estructura, el cual converge y se acelera hasta una condición crítica cerca de parte superior o cresta del vertedero. En consecuencia puede establecerse una relación entre la descarga y una profundidad aguas arriba del vertedero.

Hay varios factores que afectan el funcionamiento de un vertedero; entre los más importantes están el patrón de flujo tridimensional en función al régimen de flujo, los efectos de turbulencia, la resistencia por fricción, el grado de ventilación debajo de la cascada y en mucho menor grado la tensión superficial.

Las deducciones simplificadas que presentan muchos autores se basan en la ecuación de Bernouilli, los efectos de los diversos factores se pueden incluir corrigiendo la descarga teórica con un coeficiente de descarga C_d para obtener la descarga real; siendo conveniente calibrar un vertedero dado en su ubicación a fin de obtener la exactitud deseada

Los vertederos frontales han sido motivo de investigaciones como las de Poleni, Weisbach, Boussinesq, Lauck, Pikalow y otros utilizando la misma base teórica y con similares resultados.

El coeficiente de descarga depende también de la forma del umbral, de las contracciones y de la relación de las condiciones de flujo aguas abajo, el problema de establecer una relación fija entre la altura de carga y el caudal para cierto tipo de vertederos se complica debido a las formas que puede tomar la lámina vertiente, la dirección de la velocidad respecto a la cresta mereciendo un

análisis particular tal es el caso del vertedero lateral cuya cresta tiene dirección paralela a la corriente este vertedero cuyo estudio presenta dificultades aun no perfectamente resueltas se utiliza como evacuador de exceso de agua que puede conducir un canal.

La capacidad de descarga por unidad de ancho de un vertedero lateral es significativamente menor que al de un vertedero frontal muchos investigadores por su parte han propuesto expresiones y procedimientos para la determinación del caudal, aunque las características del problema han dificultado, hasta ahora la determinación de expresiones de suficiente generalidad y exactitud.

1.3. VERTEDEROS LATERALES

Si uno de los lados de un canal tiene altura P , menor que el tirante inicial y_1 , un gasto Q_w será eliminado por encima de la barrera, continuando solamente Q_2 en el canal véase Fig. 1.7. y 1.8.

El flujo sobre un vertedero lateral es un caso especial diferenciándose los siguientes fenómenos:

- 1) Se producen perturbaciones en los extremos del vertedero, la separación al inicio de la cresta del vertedero y la concentración del flujo al final del vertedero.
- 2) La altura de la lámina de agua no es constante a lo largo del vertedero.
- 3) El flujo es variado y tridimensional
- 4) Vórtices

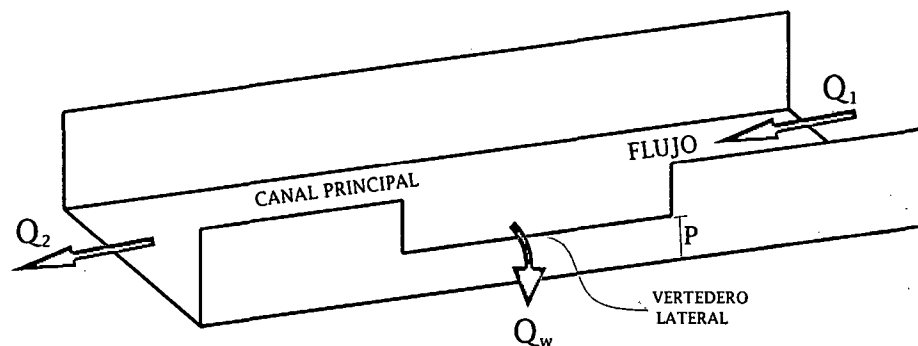


FIG. 1.7 Esquema de un vertedero lateral vista isométrica

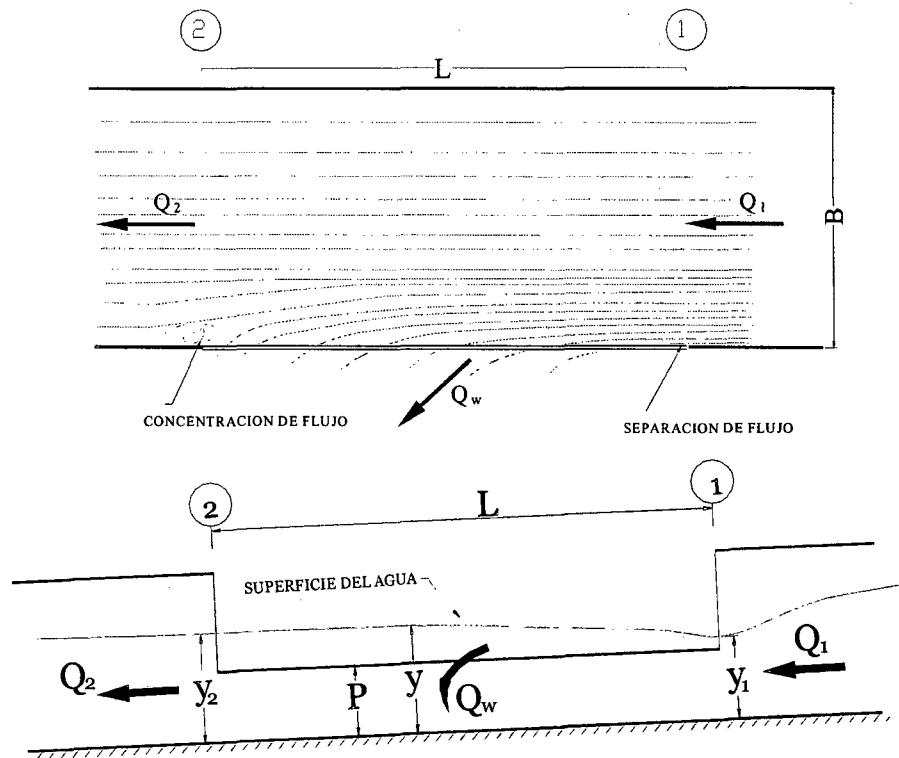


FIG. 1.8. Esquema de un vertedero lateral vista en planta y perfil.

1.3.1 CONDICIONES DE FLUJO SOBRE VERTEDEROS LATERALES

El flujo sobre un vertedero lateral es un caso del flujo espacialmente variado con caudal decreciente a lo largo del canal, diferenciando su funcionamiento de acuerdo al régimen del flujo de aproximación en: Vertederos laterales con régimen subcrítico y supercrítico aunque en la práctica sólo se usan vertederos laterales con régimen subcrítico.

EN RÉGIMEN SUBCRÍTICO: La profundidad del flujo al inicio del vertedero es mayor que la profundidad crítica, la profundidad de flujo se incrementa a lo largo de la sección como muestra la siguiente Figura.

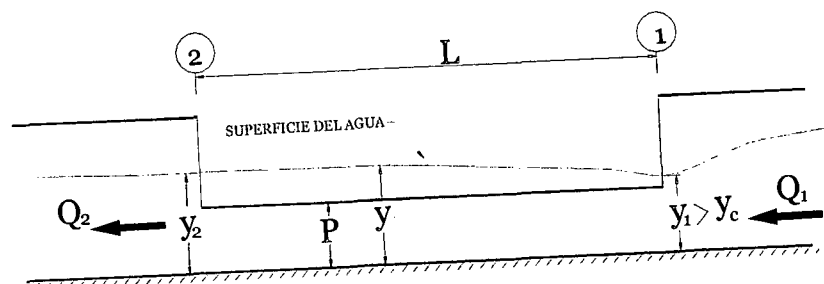


FIG. 1.9. Perfil de flujo en régimen subcrítico.

EN RÉGIMEN SUPERCRÍTICO: Profundidad de flujo menor que la profundidad crítica a la entrada con flujo supercrítico en el tramo donde se ubica el vertedero, la profundidad de flujo disminuye a lo largo de dicha sección Fig. 1.10.

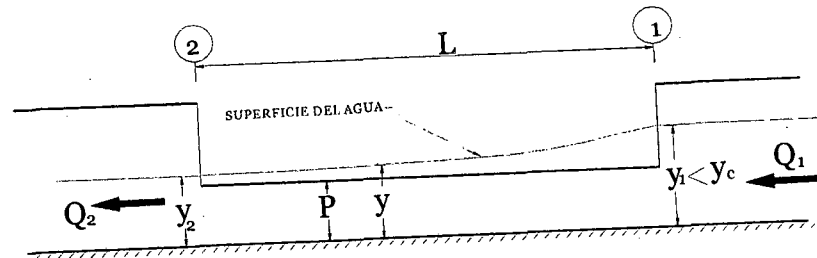


FIG.1.10 Perfil de flujo en régimen supercrítico.

Adicionalmente se puede citar a Ven Te Chow quien señala el caso de saltos hidráulicos a lo largo del vertedero.

1.3.2 APLICACIÓN DE LOS VERTEDEROS LATERALES

Las obras de toma son diseñadas de manera tal que, con un cierto nivel de agua en el río, una cantidad de agua determinada sea captada al canal principal, el gasto captado cambia de acuerdo a los caudales del río, razón por la cual puede ser muchas veces mayor que el caudal de diseño del canal principal.

Así con el fin de limitar el caudal del canal principal, se debe de construir una obra de alivio como los vertederos laterales detrás de las ventanas de captación de las bocatomas, de manera que los excedentes de agua puedan ser evacuadas al río. Las obras más favorables para este fin son los vertederos laterales como se muestra en la Figura 1.11.

Adicionalmente se pueden citar aplicaciones en obras drenaje urbano y rural, protección contra tormentas, sistemas de alcantarillado combinado, irrigación, etc.

No son necesarias compuertas móviles, de manera que la obra de aliviadero prácticamente no requiere mantenimiento.

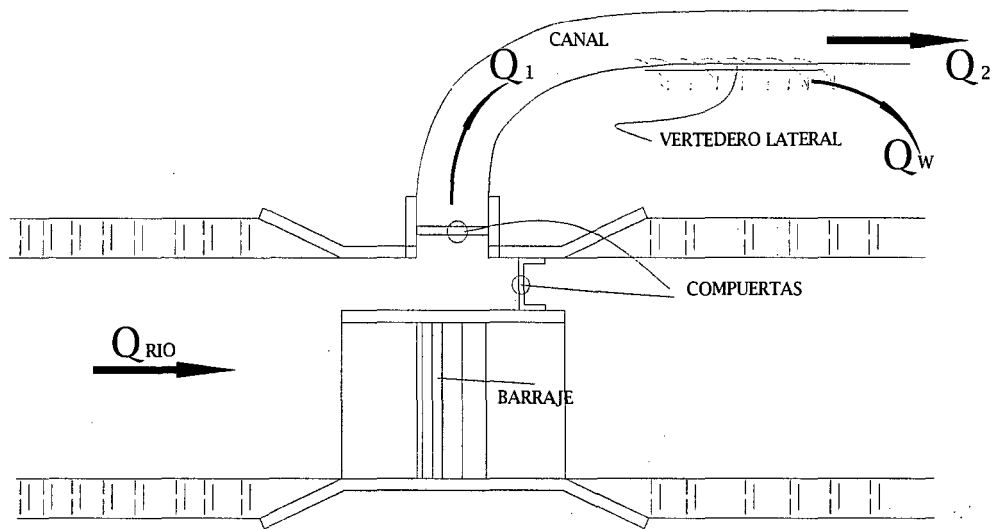


FIG.1.11 Obra de toma típica con aliviadero lateral

CAPITULO II

OBJETIVOS DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

1. Establece una expresión para determinar el coeficiente de descarga de un vertedero lateral en flujo subcrítico.
2. Recopilar y comparar las expresiones del coeficiente de descarga propuestas por diversos autores con los resultados experimentales de la presente investigación.
3. Comprender el comportamiento hidráulico y los fenómenos asociados a esta estructura.
4. Presentar las ecuaciones de un flujo espacialmente variado sobre un vertedero lateral.

CAPITULO III

INVESTIGACIONES PREVIAS REALIZADAS

3.1. COEFICIENTE DE DESCARGA EN VERTEDEROS FRONTALES.

Relacionar el caudal que descarga un vertedero con las características geométricas del vertedero y de escurrimiento es de primordial importancia en la práctica. La expresión que relaciona el caudal y la carga es en vertederos frontales es $Q = KLh^{3/2}$, donde para vertederos de cresta delgada $K = \frac{2}{3}C_d\sqrt{2g}$, siendo C_d es el coeficiente de descarga, expresión que no presenta otro inconveniente que la determinación del coeficiente de descarga requiriendo investigaciones de laboratorio aunque, en algunos casos particulares se puede deducir analíticamente citando por ejemplo los excelentes trabajos para vertederos de cresta delgada totalmente aireada y sin contracciones laterales realizados por Boussinesq, Von Mises(1917); no disponiendo una relación general aceptada que permita deducir el valor de C_d en función de las principales características del flujo y características del vertedero de los mismos, esta incertidumbre se plantea resolver expresiones experimentales aplicables a ciertos casos particulares.

Los vertederos frontales por su amplia gama de aplicabilidad merecieron severas investigaciones entre los cuales podemos mencionar Du Buat(1799), J B Francis(1890), Freese (1890), Bazin (1898), Von Mises(1917), King , Rehbook. Henderson (1966), Bos(1976) y muchos otros, estas expresiones pueden ser fácilmente encontradas en los manuales y textos de hidráulica, en este trabajo mencionamos sólo las expresiones más usuales para vertederos de cresta delgada de lámina completamente aireada.

El caudal descargado por un vertedero frontal de cresta afilada completamente aireado de acuerdo a la figura 3.1 esta dado por.

$$Q = \frac{2}{3}C_d\sqrt{2g}(E - P)^{3/2}L \dots\dots\dots(3.1a)$$

Donde C_d es el coeficiente de descarga, cuando la velocidad de aproximación es muy pequeña (muy usual en la práctica), el valor de la descarga se determina con la ecuación.

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} (y - P)^{3/2} L \dots\dots\dots(3.1b)$$

Con $K = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g}$ y $h = y - P$ resultando

$$Q = K L h^{3/2} \dots\dots\dots(3.1c)$$

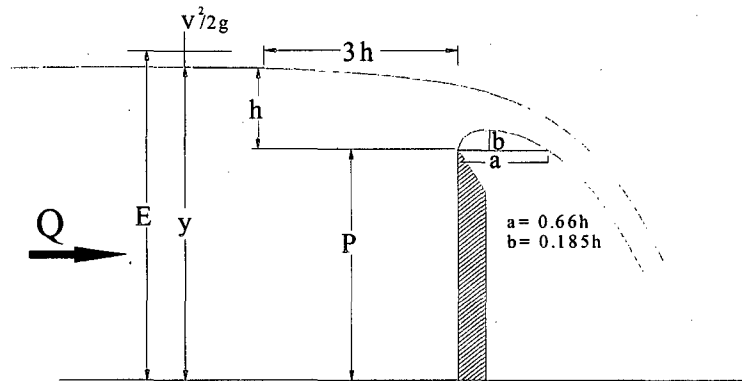


FIG. 3.1 Esquema de un vertedero frontal de cresta delgada sin contracción lateral.

Referencia	Expresión	Rango	Notas
Von Mises (1917)	$C_d = \frac{\pi}{\pi + 2}$	$\frac{h}{P}$ P alto	Cálculo de flujo de fluido ideal en orificios.
Henderson (1966)	$C_d = 0,611 + 0,08 \frac{h}{P}$	$0 \leq \frac{h}{P} < 5$	Trabajos experimentales de Rehbock.
Bos (1976)	$C_d = 0,602 + 0,075 \frac{h}{P}$	$h > 0,03m$ $\frac{h}{P} < 2$	Con base en experimentos desarrollados en Georgia Institute of Technology.

TABLA 3.1 Coeficiente de descarga para vertederos frontales de cresta delgada, sin contracciones laterales y velocidad de aproximación lenta.

El problema de determinación de la geometría de la lamina vertiente ha sido prácticamente resuelto con gran exactitud, utilizándose en el diseño de perfiles

de barrajes (perfiles de Cimacio), presas de embalse donde ajustar la lámina vertiente al paramento aguas abajo tiene fundamental importancia.

3.2. COEFICIENTE DE DESCARGA EN VERTEDEROS LATERALES.

Para determinar el caudal aliviado por un vertedero lateral podría adoptarse una expresión similar $Q_w = KLh^{3/2}$ aquella para vertederos de cresta delgada aunque K tendría otra expresión o valor, teniendo en cuenta las principales diferencias entre un vertedero frontal y otro lateral que se muestra en la siguiente tabla.

VERTEDERO FRONTAL	VERTEDERO LATERAL
Velocidad de aproximación perpendicular al plano del vertedero.	Velocidad de aproximación oblicua al plano del vertedero.
Espesor de lámina de agua constante encima de la cresta	Espesor de lámina de agua variable encima de la cresta
No existe concentración de flujo	Separación del flujo al inicio y concentración al final del vertedero.
No existe la presencia de vórtices	Presencia de vortices que se verifican con cierta periodicidad.

TABLA 3.2 Diferencias entre la descarga sobre un vertedero frontal y otro lateral.

La carga variable y la dirección de la velocidad dificultan la aplicación de la expresión $Q_w = KLh^{3/2}$, puesto que la carga a tomarse en la expresión varía al igual que el coeficiente de descarga, para enmendar esta deficiencia es usual dividir el vertedero en pequeños segmentos y aplicar la expresión para vertederos frontales conforme va variando la carga tomando coeficientes de descarga para vertederos frontales de igual geometría obteniendo resultados de caudal vertido como la suma. Otros autores prefieren tomar la carga al inicio o al final de vertedero y para elegir el coeficiente de descarga apelar a investigación o valores empíricos que son muy escasos en la literatura.

De Marchi (1934) fue el primero en formular una aproximación racional para la determinación del coeficiente de descarga a partir del cual investigadores utilizando la ecuación de De Marchi y pruebas de laboratorio tratan de expresar el coeficiente de descarga C_M en función de parámetros adimensionales de características del flujo y geométricos de los vertederos.

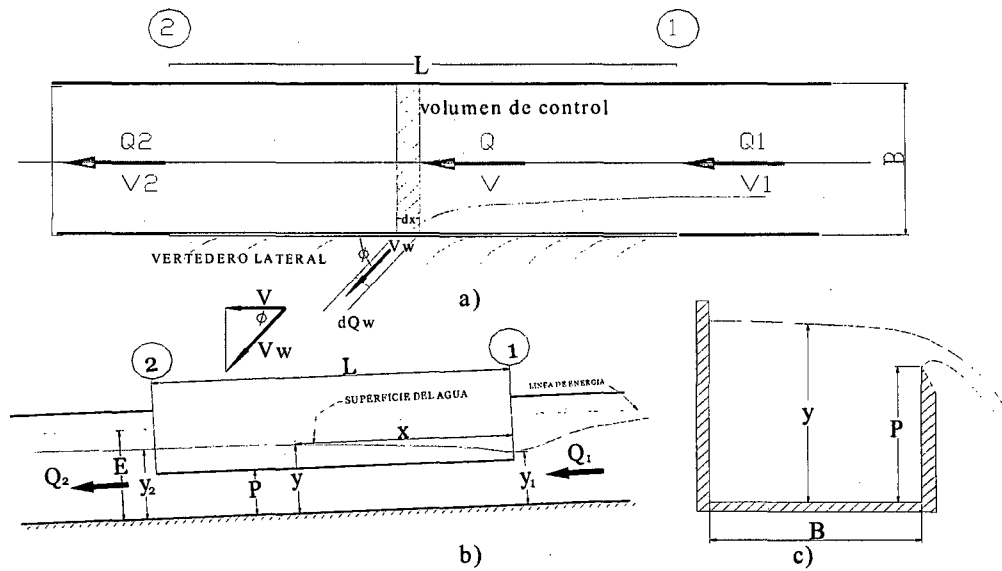


FIG. 3.2 Vista esquemática de un vertedero lateral a) vista en planta, b) vista en perfil, c) sección del canal donde esta ubicado el vertedero.

3.2.1. COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL VARIABLE C_{dle}

El caudal que descarga el vertedero por unidad de longitud de acuerdo a la Fig. 3.2. es definido como:

$$q_w = C_{dle} \frac{2}{3} \sqrt{2g} (y - P)^{3/2} \dots\dots\dots (3.2a)$$

$$Q_w = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \int_0^L C_{dle} (y - P)^{3/2} dx \dots\dots\dots (3.2b)$$

Donde C_{dle} es el coeficiente de descarga lateral variable a lo largo del vertedero lateral, que se agrega a la variación del nivel de agua a lo largo del canal principal¹.

¹ Volkart, P.U. Spatially varied flow over short side weirs in channels of circular shape. Proceedings XX IAHR, 1983.

3.2.2. COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL GLOBAL C_{dlg} .

El caudal aliviado por el vertedero Q_w de acuerdo a la fig. 3.2. es definido como:

$$Q_w = C_{dlg} \frac{2}{3} \sqrt{2g} (y_2 - P)^{3/2} L \dots\dots\dots(3.3a)$$

$$C_{dlg} = \frac{Q_w}{\frac{2}{3} \sqrt{2g} (y_2 - P)^{3/2} L} \dots\dots\dots(3.3b)$$

Donde C_{dlg} es el coeficiente de descarga lateral global cuyo valor es estimado puntualmente en la sección 2 únicamente, esto es en el extremo aguas abajo, en cuyo valor centraremos nuestra atención por ser un valor más práctico que las expresiones (3.2).

3.3. EXPRESIONES DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PROPUESTAS POR DIVERSOS INVESTIGADORES

La estimación del coeficiente de descarga en los vertederos laterales es un problema en curso en el área de medición de caudales, disponiendo de limitadas expresiones prácticas para determinarlo.

El comportamiento hidráulico de esta estructura aún no está totalmente esclarecida, existiendo investigaciones con diversos enfoques, es así que hasta la fecha en el medio no existen textos en el área de ingeniería hidráulica que proporcionen el valor del coeficiente de descarga lateral para diseños en ingeniería, ni expliquen satisfactoriamente el comportamiento hidráulico de estos vertederos, más aún, algunos autores incurren en imprecisiones que pueden ser contraproducentes al utilizarse en su de diseño.

A continuación se presentan y discuten en secuencia cronológica, las investigaciones realizadas con la finalidad de estimar el coeficiente de descarga en un vertedero lateral de un canal de sección rectangular.

Las variables usadas para la estimación del coeficiente de descarga por los autores son:

- Características hidráulicas del flujo en el canal principal.

Numero de Froude del flujo aguas arriba del vertedero lateral definido como

$$F_1 = \frac{V_1}{A_1 \sqrt{gy_1}}$$

- Características geométricas del canal.

Base (B)

Características geométricas del Vertedero lateral:

Longitud (L),

Altura de la cresta del vertedero lateral medido desde la base del canal principal (P)

3.3.1 COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL C_M DE MARCHI (1934)

Es el primero en dar una aproximación racional a la estimación del coeficiente de descarga lateral, bajo el supuesto de que la energía específica se conserva a lo largo del canal principal en el tramo donde se ubica el vertedero lateral, integro la ecuación diferencial del perfil de la superficie de agua en el eje para un canal principal de sección rectangular, también asume que el coeficiente de descarga a lo largo del vertedero lateral permanece constante¹.

El caudal aliviado por el vertedero por unidad de longitud es definida como

$$q_w = C_M \frac{2}{3} \sqrt{2g} (y - P)^{3/2} \dots\dots\dots (3.4.a)$$

$$Q_w = C_M \frac{2}{3} \sqrt{2g} \int_0^L (y - P)^{3/2} dx \dots\dots\dots (3.4.b)$$

¹ De Marchi, G. "Saggio Di Teoria Di Funzionamento Degli Stramazzi Laterali." L'Energia Elettrica, Milano, Italy, 11, 849-860. 1934

Donde C_M es el coeficiente de descarga lateral cuyo valor es constante a lo largo del vertedero lateral y es llamado coeficiente de De Marchi, se debe tener presente que para calcular el caudal vertido Q_w es necesario calcular paralelamente el perfil del flujo a lo largo del eje del canal principal De Marchi obtiene analíticamente la siguiente expresión.

$$C_M = \frac{3B}{2L} (\Phi_2 - \Phi_1) \dots\dots\dots(3.4c)$$

$$\Phi_{(y,E,P)} = \frac{2E-3P}{E-P} \sqrt{\frac{E-P}{y-P}} - 3\text{Sin}^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{E-P}} \dots\dots\dots(3.4d)$$

Esta expresión no resulta ser práctica ya que expresa el coeficiente de descarga en función de variables que no son conocidas de antemano, sin embargo es de mucha utilidad para obtener resultados experimentales en laboratorio donde se miden las variables desconocidas directamente.

3.3.2. COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL C_M SEGÚN SUBRAMANYA y AWASTHY (1972).

Basados en la deducción de De Marchi, realizaron pruebas en el Laboratorio de Hidráulica del Instituto Tecnológico de India, Kanpur, Deducen el coeficiente de descarga lateral C_M de manera teórica para un vertedero lateral con altura de cresta cero estableciendo una analogía con el flujo que se establece al final de un canal horizontal (caída), bajo la suposición de que justo en la caída se produce una velocidad crítica correspondiente a la energía específica del canal principal, obteniendo una expresión del coeficiente de descarga lateral dependiente únicamente del numero Froude del flujo en el canal de aproximación F_1 , realizaron una validación mediante pruebas experimentales en los cuales los valores de C_M son obtenidos de la ecuación de De Marchi. sus estudios consideraron flujos subcríticos y supercríticos de acuerdo con los autores. F_1 es el parámetro que tiene mayor influencia en la variación de C_M , los autores mencionan, que los parámetros que representan la configuración

geométrica, L/B , y_1/L y P/y_1 , tiene baja influencia sobre el coeficiente de descarga para regímenes subcríticos¹:

canal	B(ancho)	L (Canal)	Base(material)	vertedero lateral
A	0,61 m	9,00 m	cemento	Aluminio
B	0,25 m	3,00 m	Aluminio	Madera

PARÁMETRO	RANGO
F_1	0,02-4,3
L/B	0,2-1,00
P/y_1	0-0,96

TABLA 3.3 Características geométricas y de flujo utilizado por SUBRMANYA Y AWASTHY (1972)

$$C_M = 0,864 \sqrt{\frac{1 - F_1^2}{F_1^2 + 2}} \dots\dots\dots(3.5a)$$

$$\lim_{F_1 \rightarrow 0} (C_M) = 0,864 \sqrt{\frac{1 - F_1^2}{F_1^2 + 2}} = 0,611 \dots\dots\dots(3.5b)$$

$$\lim_{F_1 \rightarrow 1} (C_M) = 0,864 \sqrt{\frac{1 - F_1^2}{F_1^2 + 2}} = 0 \dots\dots\dots(3.5c)$$

Las experiencias indican que a partir de un número de Fraude igual a 0.8 el flujo se torna inestable con la aparición de ondulaciones obteniéndose coeficientes de descarga dispersos, sin embargo, estos son mayores a 0.36

Subramanya y Awasthy también recomiendan una expresión para el cálculo del coeficiente de descarga en regímenes supercríticos a partir de un número de Froude mayor a 2.

$$C_M = 0,36 - 0,08F_1 \dots\dots\dots(3.5d)$$

¹ Subramanya, K. and S. C. Awasthy. Spatially varied flow over side-weirs. J. Hyd. Eng., ASCE, 98(1):1-10, 1972.

En flujos supercríticos, el coeficiente de descarga tiene una tendencia oscilante con valores encima de 0.3 para flujos con $F_1 < 5^1$.

Nadesamoorthy y Thomson (1972) observa que la expresión de Subramanya da valores más bajos que los obtenidos experimentalmente para $F_1 > 0,6$ por lo que sugiere la siguiente expresión.

$$C_M = 0,432 \sqrt{\left[\frac{2 + F_1^2}{2F_1^2 + 1} \right]} \dots\dots\dots(3.5e)$$

$$\lim_{F_1 \rightarrow 0} (C_M) = 0,432 \sqrt{\left[\frac{2 + F_1^2}{2F_1^2 + 1} \right]} = 0,611 \dots\dots\dots(3.5f)$$

$$\lim_{F_1 \rightarrow 1} (C_M) = 0,432 \sqrt{\left[\frac{2 + F_1^2}{2F_1^2 + 1} \right]} = 0,432 \dots\dots\dots(3.5g)$$

Resultando para flujos subcríticos ($F_1 < 1$) $C_M \in \langle 0,432 - 0,611 \rangle$.

Yu Tech (1972), realiza una discusión a los datos obtenidos por Subramanya sugiriendo la siguiente expresión simplificada.

$$C_M = 0,6225 - 0,222F_1 \dots\dots\dots(3.5h)$$

¹ Subramanya, K. and S. C. Awashthy. Spatially varied flow over side-weirs. J. Hyd. Eng., ASCE, 98(1):1-10, 1972

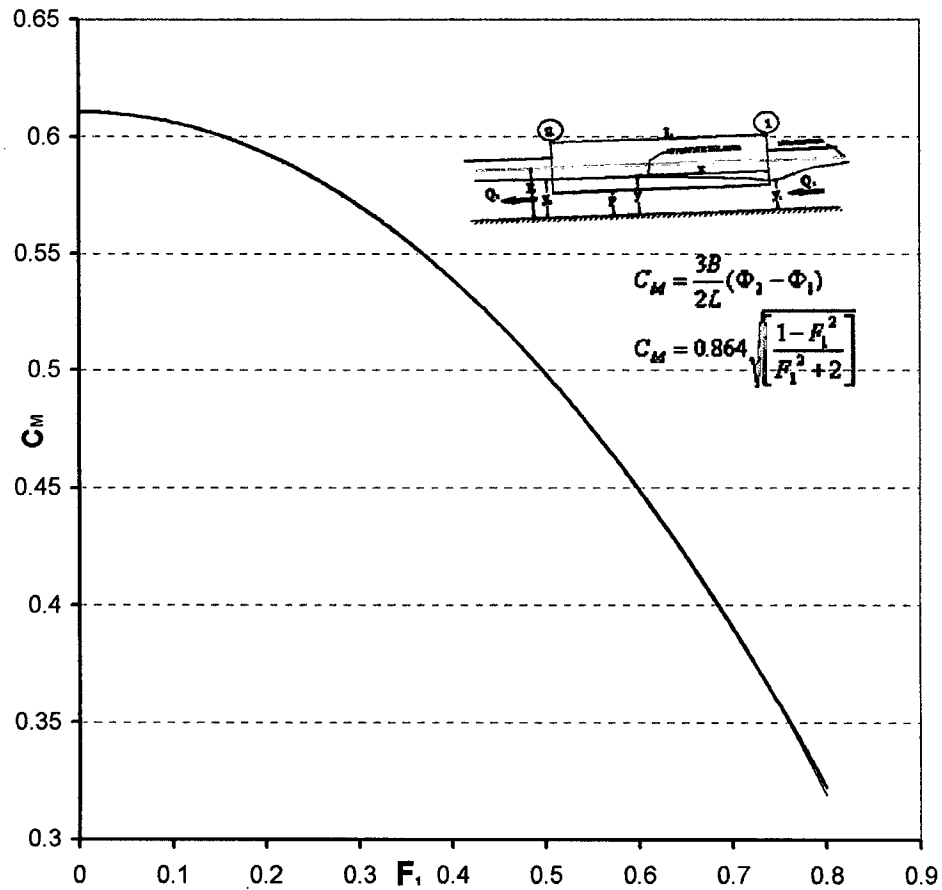


FIG. 3.3 Coeficiente descarga obtenido por SUBRAMANYA Y AWASTHY (1972).

3.3.3. COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL C_M SEGÚN RANGA Y RAJU (1979)

linvestigación realizada en la universidad de ROORKEE, INDIA, estiman el coeficiente de descarga en vertederos laterales mediante pruebas de laboratorio para diferentes anchos de cresta e .

El estudio experimental en un canal con una sección rectangular, en régimen subcrítico que esta indicado en la tabla 3.4. es interesante observar que los autores incluyen la influencia del ancho de la cresta del vertedero.

canal	B(ancho)	L (Canal)
A	0,40 m	9,00 m
B	1,00 m	9,00 m

PARÁMETRO	RANGO
F_1	0,10-0,50
L	0,20-0,50 m
e	0,10-0,30 m
P	0,05-0,25 m

TABLA 3.4 características geométricas y de flujo utilizado por RANGA Y RAJU (1979)

Utilizando la ecuación de De Marchi obtienen los valores del coeficiente de descarga lateral C_M , correlacionando el número de Froude del flujo de aproximación obteniendo la siguiente expresión.

Para vertederos de cresta delgada

$$C_M = 0,81 - 0,60F_1 \dots\dots\dots(3.6a)$$

Los autores proponen la siguiente expresión para vertederos de cresta ancha

$$C_M = (0,81 - 0,60F_1) \left(0,80 + \frac{y_1 - P}{e}\right) \dots\dots\dots(3.6b)$$

Donde e es el espesor de la cresta del vertedero. Según los autores la influencia de los parámetros geométricos es muy pequeña, el esquema usado por Ranga y Raju se muestra en la figura 3.4.

Las expresiones muestran cuanto mayor es el espesor de la cresta del vertedero menor será el coeficiente de descarga tendiendo al 80% de uno de cresta delgada.

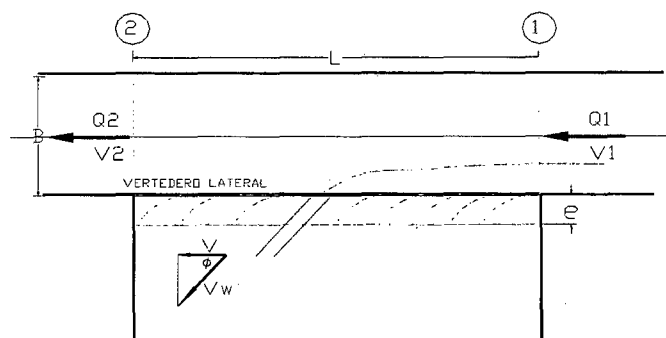
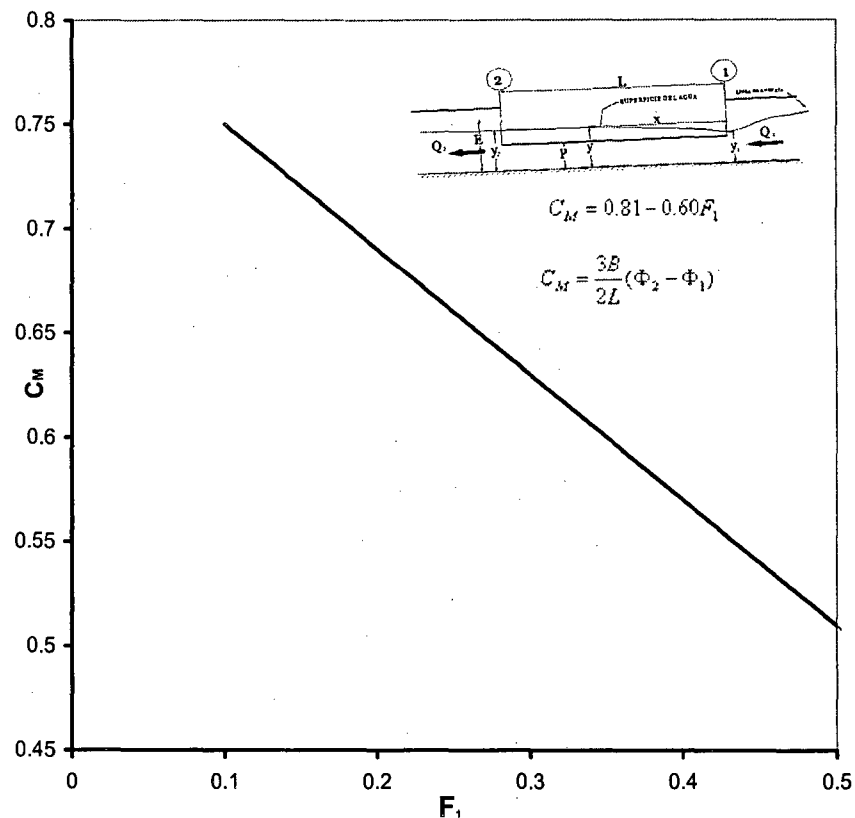


FIG.3.4 Vertedero de cresta ancha usado por RANGA Y RAJU



3.5 Coeficiente descarga obtenido por RANGA Y RAJU para vertederos de cresta delgada (1979).

Se observa que los valores del coeficiente de descarga están encima de la realidad, siendo mayor que en un vertedero frontal no siendo esto posible¹.

3.3.4 COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL C_{dle} SEGÚN HAGER. (1987)

Refiere una expresión del coeficiente de descarga lateral variable para un vertedero lateral de altura cero, dependiente únicamente del número de Froude, aplicable cuando la pendiente del canal principal es cercana a cero y F_1 no varíe significativamente a lo largo del vertedero lateral.

¹ Ranga Raju, K.G., B. Prasad and S.K. Gupta. Side weir in rectangular channel. J. Hyd. Eng., ASCE, 105 (5):547-554, 1979.

PARÁMETRO	RANGO
F_1	0,0-2,0
L	1,00 m.
S_o	-0,005-0,02
P	0 – 0,20m

TABLA 3.5 características geométricas y de flujo utilizado por HAGER (1987)

$$C_{dle} = 0,7275 \sqrt{\frac{2 + F^2}{2 + 3F^2}} \dots\dots\dots(3.7)$$

estando limitado como sigue para flujos subcríticos ($F_1 < 1$)
 $C_{dle} \in \langle 0,563 - 0,7275 \rangle$ valores altos que no pueden ser aplicados en
 vertederos con altura diferente de cero¹.

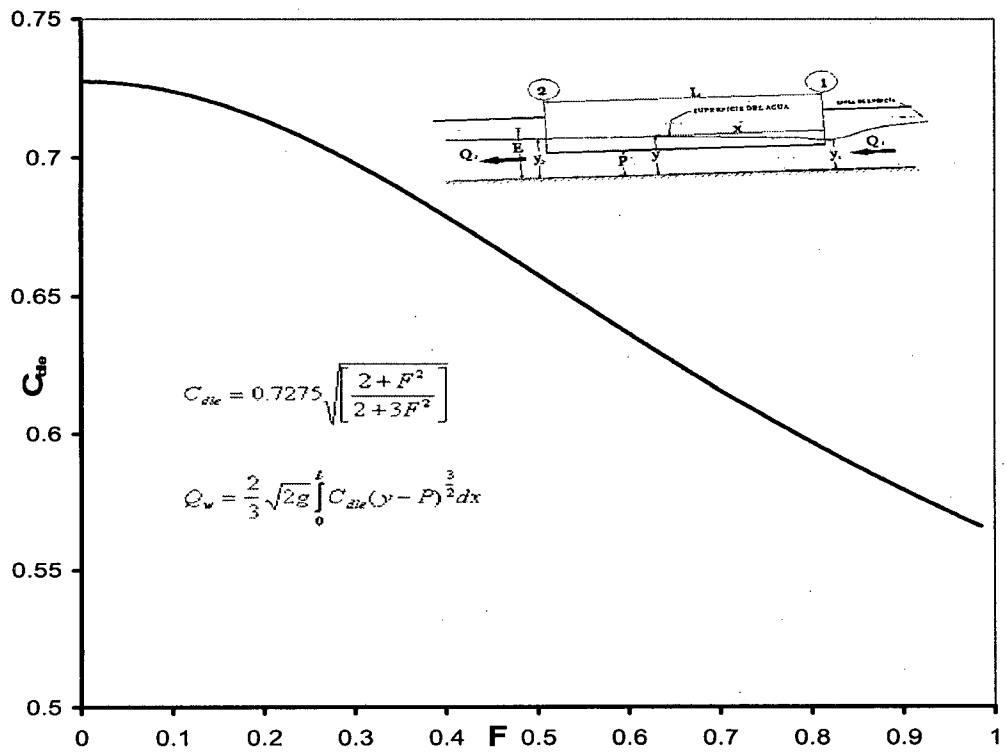


FIG. 3.6. Coeficiente descarga lateral variable C_{dle} obtenido por HAGER (1987)

¹ Hager, W. H. "Lateral outflow over side weirs," J. Hydraulic Engineering, vol. 113, no. 4, pp. 491-504. 144-160, 1987.

3.3.5. COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL C_M SEGÚN CHEONG (1991)

Estudio el coeficiente de De Marchi en un vertedero lateral de un canal con sección trapezoidal, de cresta delgada, sin embargo Cheong considera que los resultados pueden ser aplicados para canales rectangulares y propone la siguiente expresión¹:

$$C_M = 0,675 - 0,33F_1^2 \dots\dots\dots(3.8)$$

Cheong aplica directamente la expresión obtenida por De Marchi incurriendo en un error dicha expresión es aplicable sólo en canales rectangulares, probablemente es por ello que los valores del coeficiente de descarga resultantes sean ligeramente mayores a los obtenidos por Subramanya.

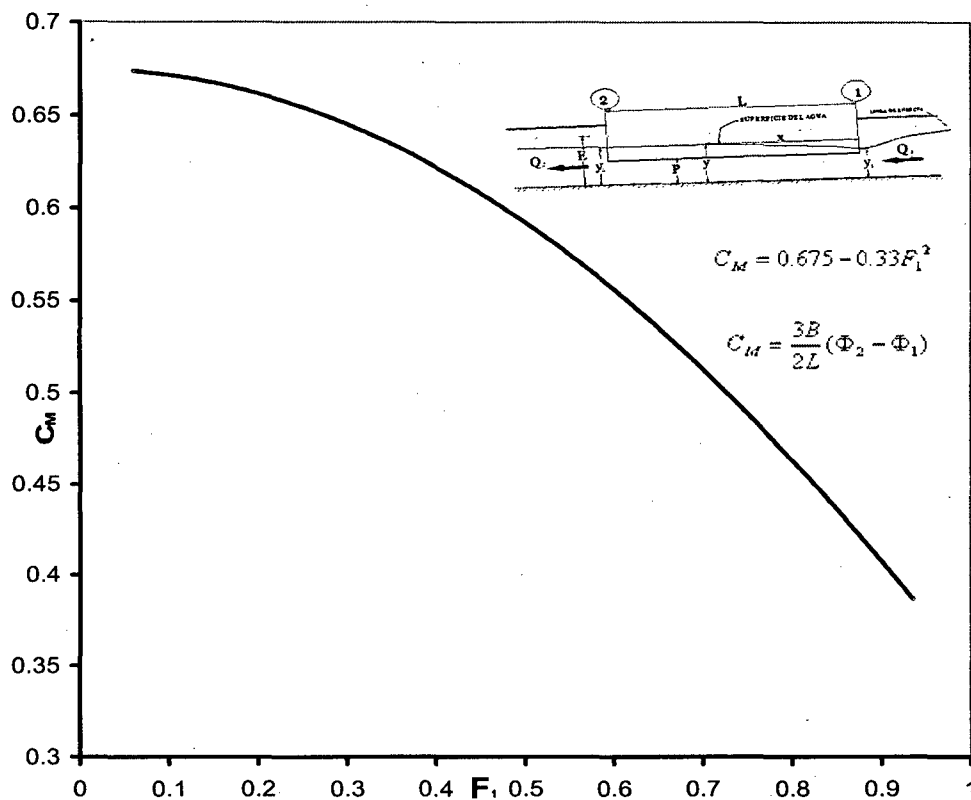


FIG. 3.7. Coeficiente descarga C_M obtenido por CHEONG (1991)

¹ Cheong, H.F. Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE 117 (4):461-475, 1991.

PARÁMETRO	RANGO
F_1	0,20-0,90
L	0,28-0,97 m
P	No mencionado

TABLA 3.6 características geométricas y de flujo utilizado por CHEONG (1991)

3.3.6. COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL SEGÚN SINGH et al. (1994)

Propone la siguiente expresión para el coeficiente de De Marchi C_M , deducido para canales rectangulares en régimen subcrítico, el rango de aplicación es muy estrecho, los valores que se obtienen son mayores que los valores obtenidos en un vertedero frontal, se observa que el termino P/y_1 tiene una marcada influencia¹

PARÁMETRO	RANGO
F_1	0,20-0,40
L	0,1-0,2 m
P	0,06-0,12m

TABLA 3.7 características geométricas y de flujo utilizado por SINGH (1994).

$$C_M = 0,33 - 0,18F_1 + 0,49 \frac{P}{y_1} \dots\dots\dots(3.9)$$

Esta expresión contradice las conclusiones presentadas por Subramanya y Awasthy (1972) que consideran que la influencia de los parámetros geométricos son despreciables a pesar que ambos utilizan canales rectangulares.

¹ Singh, R., D.. Discharge coefficient of rectangular side weirs. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 120(4):814-819, 1993.

3.3.7. COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL SEGÚN SILVA et al. (1997)

Estudia el comportamiento del coeficiente de descarga lateral C_M el modelo experimental desarrollado por SILVA (1997) incluye un vertedero lateral, con una longitud variable de con un máximo de 2,00m, y con una altura de 0,20 m. Su experimentación considero descargas en el canal principal de de 30, 40 ,50, 75, 100, 125, 150 l/s para cada una de estas descargas, 3 situaciones de caudales laterales fueron consideradas, correspondientemente a 25, 50 y 75% de la descarga en el canal principal

SILVA. concluye que el coeficiente de descarga lateral es influenciado principalmente por tres parámetros F_1 , $\frac{\bar{y}}{P}$, y $L_{ndim} = L/(V_1/2g)$, la longitud del vertedero lateral relativo a la velocidad agua arriba¹.

$$C = f\left(F_1, \frac{\bar{y}}{P}, \frac{L}{\frac{V_1^2}{2g}}\right) \dots\dots\dots(3.10a)$$

Para cada test, es calculado

$$C = \frac{Q_w}{L\sqrt{2g}(\overline{y-P})^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots(3.10b)$$

$\overline{y-p}$ es computado de acuerdo a

$$\overline{y-P} = \left[\frac{1}{L} \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} - P \right)^{\frac{3}{2}} \Delta x_i \right] \dots\dots\dots(3.10c)$$

La variación del coeficiente de descarga C con el número de Froude en aguas arriba, es representada en la figura 3.8.

¹ Silva, I. "Descarregadores Laterais . Modelação física e matemática" IST, Lisbon. 1997

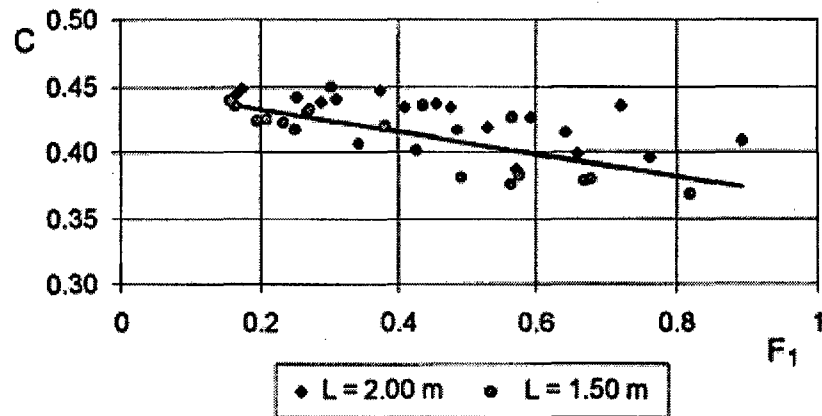


FIG. 3.8 Coeficiente descarga obtenido por SILVA vs F_1 .

$$C = 0,45 - 0,086F_1 \dots\dots\dots(3.10d)$$

Con una correlación de 0,74 y una desviación estándar de 0,019

La siguiente figura muestra la variación del coeficiente de descarga, C con el cociente entre el tirante medio del flujo $\bar{y} = (\bar{y} - \bar{P}) + P$ y la altura del vertedero lateral \bar{y}/P .

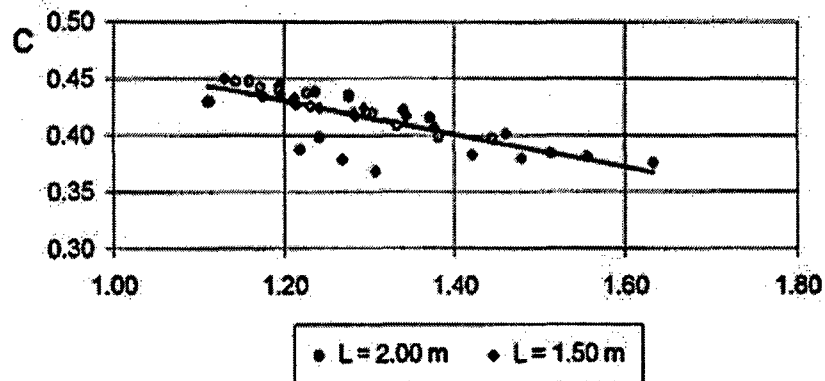


FIG. 3.9 Coeficiente descarga obtenido por SILVA vs \bar{y}/P

El coeficiente de descarga decrece con \bar{y}/P . La ecuación determinada mediante regresión por el método de mínimos cuadrados es:

$$C = 0,607 - 0,147\frac{\bar{y}}{P} \dots\dots\dots(3.10e)$$

Con coeficientes: De correlación de 0,76 y de desviación estándar de 0,026

La figura 3.10 muestra la variación del coeficiente de descarga con el parámetro $L_{ndim} = L/(V_1^2/2g)$. Un cambio no lineal y tendencia asintótica para un valor de C máximo que es considerado ser 0,45, puede ser notado, el significado de este cambio es que para vertederos laterales relativamente pequeños, los efectos de los límites tienen una importante contribución para reducir el coeficiente de descarga para vertederos laterales largos ($L \geq 200 \cdot V_1^2/2g$) los efectos de los límites no influye en C

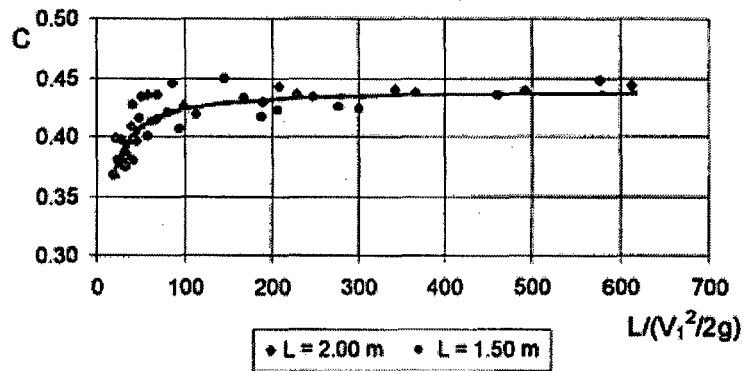


FIG. 3.10 Coeficiente descarga obtenido por SILVA vs $L/(V_1^2/2g)$.

$$C = 0,44 \frac{L_{ndim}}{3,78 + L_{ndim}} \dots\dots\dots(3.10g)$$

El coeficiente de correlación y la desviación estándar de esta expresión son respectivamente 0,84 y 0,023

La influencia conjugada de estos tres parámetros proporcionaría la expresión

$$\frac{1}{C} = 1,57 + 0,127 \frac{1}{F_1} + 7,45 \frac{1}{L_{ndim}} + 0,52 \frac{\bar{y}}{P} \dots\dots\dots(3.10h)$$

Llevando a términos de C_M resulta

$$\frac{3}{2C_M} = 1,57 + 0,127 \frac{1}{F_1} + 7,45 \frac{1}{L_{ndim}} + 0,52 \frac{\bar{y}}{P} \dots\dots\dots(3.10i)$$

Que presenta un coeficiente de correlación de 0,93, el inconveniente de esta expresión es la determinación de \bar{y} Silva toma mediciones encima de la cresta del vertedero por lo que obtiene valores mayores a la realidad.

3.3.8. COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL SEGÚN BORGHEI, JAILILI y GHODSIAN (1999) .

Investigación realizada en el Centro de Investigación del Agua, Tehran, Iran. investigan el coeficiente de De Marchi a través de 250 pruebas de laboratorio combinando diversas geometrías del vertedero lateral de cresta delgada mostradas en la tabla 3.8, el canal utilizado fue de 11,25m con un ancho de base de 0,30m .

Observando las correlaciones del coeficiente de descarga con los parámetros F_1 y P/y_1 se observa una dispersión de los datos muy pronunciada.

VARIABLE	VALOR
$L(cm)$	20, 30, 45, 70
$P (cm)$	1, 10, 19
$Q_1 (L/s)$	35-100

PARÁMETRO	RANGO
F_1	0,1-0,9
L/B	0,2-1,00
P/y_1	0,15-0,85

TABLA 3.8 características geométricas y de flujo utilizado por **BORGHEI, JAILILI , y GHODSIAN (1999)** .

Concluyen que el coeficiente de De Marchi es una función de las siguientes variables $F_1, P/y_1, L/B$, recomendando la siguiente expresión :

$$C_M = 0,7 - 0,48F_1 - 0,3\frac{P}{y_1} + 0,06\frac{L}{B} \dots\dots\dots(3.11)$$

Involucrando el termino L/B ¹.

Cuadro resumen de expresiones para computar el coeficiente de descarga en un vertedero lateral.

¹ Borghei, S. M., Jalili, M. R., and Ghodsian, M. 1999. "Discharge coefficient for sharp-crested side weirs in subcritical flow." J. Hydr. Engrg., ASCE, 125(10), 1051-1056. 1999

AUTOR	FECHA	EXPRESIÓN	Tipo de Coeficiente estudiado	RANGO
Subramanya	1972	$C_M = 0,864 \sqrt{\frac{1 - F_1^2}{F_1^2 + 2}}$	De Marchi	$F_1 \in < 0 - 0,8 >$
Nadesamoorthy	1972	$C_M = 0,432 \sqrt{\frac{2 + F_1^2}{2F_1^2 + 1}}$	De Marchi	$F_1 \in < 0 - 0,8 >$
Yu tech	1972	$C_M = 0,6225 - 0,222F_1$	De Marchi	$F_1 \in < 0 - 0,8 >$
Ranga Raju	1979	$C_M = 0,81 - 0,60F_1$	De Marchi	$F_1 \in < 0,1 - 0,5 >$
Hager	1987	$C_{de} = 0,485 \sqrt{\frac{2 + F^2}{2 + 3F^2}}$	Elemental	$F_1 \in < 0,3 - 0,8 >$
Cheong	1991	$C_M = 0,675 - 0,33F_1^2$	De Marchi	$F_1 \in < 0,2 - 0,9 >$
Singh	1994	$C_M = 0,33 - 0,8F_1 + 0,49 \frac{P}{y_1}$	De Marchi	$F_1 \in < 0,2 - 0,4 >$
Silva	1996	$\frac{2}{3C_M} = 1,57 + 0,127 \frac{1}{F_1} + 7,45 \frac{1}{L_{rdm}} + 0,52 \frac{y}{P}$	De Marchi	$F_1 < 1$
Borghei, Jaillili and Godshian	1999	$C_M = 0,7 - 0,48F_1 - 0,3 \frac{P}{y_1} + 0,06 \frac{L}{B}$	De Marchi	$F_1 \in < 0,1 - 0,9 >$

TABLA. 3.9 Resumen de las expresiones del coeficiente de descarga de un vertedero lateral.

CAPITULO IV

FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE UN FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

Teóricamente se pueden aplicar las ecuaciones de Navier Stokes. Sin embargo en la práctica es imposible de utilizar, por las siguientes razones.

- Se necesita conocer la descripción completa del campo de presión y velocidad, siendo estas desconocidas.
- El cálculo numérico es complicado.

En este aspecto existen dos criterios diferentes; uno considera que la energía específica en el canal a lo largo del vertedero es aproximadamente constante mientras que el otro descarta esta y utiliza la ecuación de cambio de cantidad de movimiento.

Este último criterio es teóricamente más ajustado a la realidad que el primero, siendo su aplicación práctica muy dispendiosa.

En algunos casos particulares como cuando se trabaja con canales prismáticos rectos de poca pendiente con regímenes tranquilos, los dos criterios producen resultados similares, por esta razón se prefiere utilizar el criterio de energía específica constante como una aproximación razonable.

En la presente investigación presentamos las ecuaciones diferenciales de un flujo espacialmente variado sobre un vertedero lateral obtenidas independientemente por ambos métodos.

4.1 FORMULACIÓN MATEMÁTICA POR EL PRINCIPIO DE CAMBIO DE MOMENTUM.

La ecuación del cambio de cantidad de movimiento posee la ventaja de tomar en cuenta, la geometría del canal, cambios en la pendiente, la rugosidad, contracciones, etc.

Para el esquema de la fig. 4.1 un vertedero de cresta delgada el caudal unitario es de la forma¹:

$$q_w = -\frac{dQ}{dx} = \frac{2}{3} C_{de} \sqrt{2g} (y - P)^{3/2} \dots\dots\dots(4.1)$$

¹ Hager, W. H. "Lateral outflow over side weirs," J. Hydraulic Engineering, vol. 113, no. 4, pp. 491-504. 144-160, 1987

Donde:

- q_w : Es la descarga por unidad de longitud de la cresta del vertedero,
- x : Es la distancia a lo largo del canal y es positivo en la dirección del flujo.
- dQ/dx : Es negativo para indicar la salida de flujo desde el canal principal.
- C_{dlb} : Es el coeficiente de descarga elemental.

Esta expresión para el coeficiente de descarga del vertedero será incorporado dentro de una ecuación para cambios en el tirante del agua para un flujo espacialmente variado (flujo del canal con un flujo distribuido saliente a lo largo de la longitud del vertedero lateral), El esquema presenta un canal de sección trapezoidal donde uno de sus lados se va estrechando gradualmente y en el otro se ubica un vertedero lateral de longitud L .

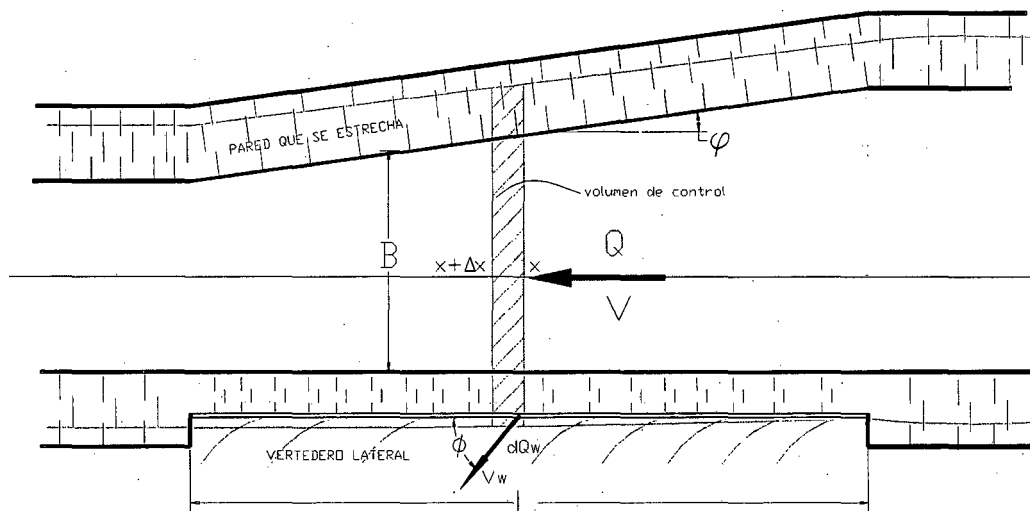


FIG. 4.1 Vista en planta del esquema computacional nótese el volumen de control para un diferencial de longitud a lo largo del canal y la cresta del vertedero.

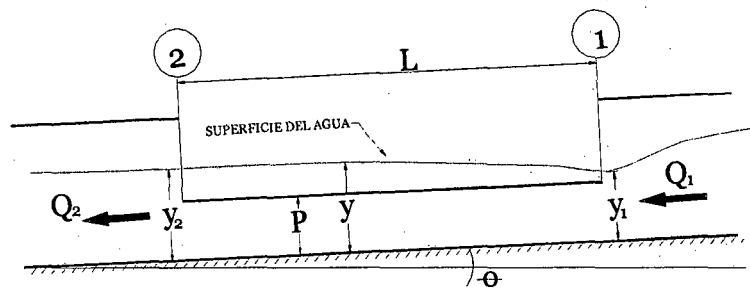


FIG. 4.2 Vista en perfil del esquema computacional

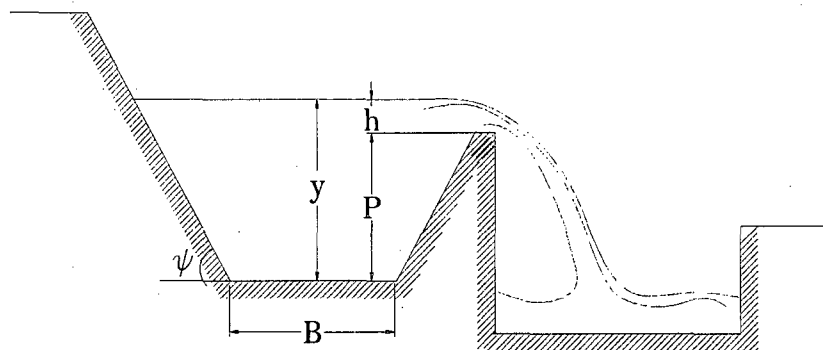


FIG. 4.3 Sección transversal del esquema computacional.

El eje longitudinal paralelo a la dirección del flujo es el eje x , es positivo en la dirección aguas abajo

V_w : Es la velocidad del flujo lateral.

θ : Es el ángulo de la pendiente del canal.

ψ : Es la talud de la sección trapezoidal,

ϕ : Es el ángulo entre el la pared que estrecha la sección del canal y el eje longitudinal,

Las magnitudes de los momentums en las secciones x y $x+\Delta x$ son $(\rho\beta AV^2)_x$ y $(\rho\beta AV^2)_{x+\Delta x}$ respectivamente, donde:

β : Es el factor de corrección de momentum.

El momentum añadido en el flujo lateral es:

$$M_l = - \int_x^{x+\Delta x} \rho V_w \cos \phi dQ \dots\dots\dots(4.2)$$

El signo negativo de la integral en la ecuación 4.2 cuantifica la pérdida de momentum de la masa de agua vertida lateralmente, hace M_l positivo para el flujo saliente, por lo tanto la suma de los incrementos de momentum en el eje x para la longitud incremental Δx es:

$$\sum M = (\rho\beta AV^2)_{x+\Delta x} - (\rho\beta AV^2)_x - \int_x^{x+\Delta x} \rho V_w \cos \phi dQ \dots\dots\dots(4.3)$$

$$\sum M = \frac{d(\rho\beta AV^2)}{dx} \Delta x - \int_x^{x+\Delta x} \rho V_w \cos \phi dQ \dots\dots\dots(4.4)$$

La componente del peso del fluido en la dirección del eje x es:

$$W_x = \int_x^{x+\Delta x} \rho g S_0 A dx \dots\dots\dots(4.5)$$

Las fuerzas de presión actuantes en las secciones ubicados a una distancia x y $x+\Delta x$ desde el inicio del vertedero son asumidas ser aproximadamente hidrostáticas siendo $(k\rho g A y \cos \theta)_x$ y $(k\rho g A y \cos \theta)_{x+\Delta x}$ respectivamente donde k es un coeficiente de presión de modo que ky es la distancia desde la superficie del agua al centroide del área transversal de flujo.

La suma de las fuerzas de presión es:

$$\sum F_p = -[(K\rho g A y \cos \theta)_{x+\Delta x} - (K\rho g A y \cos \theta)_x] = -\frac{d(K\rho g A y \cos \theta)}{dx} \Delta x \dots\dots\dots(4.6)$$

La fuerza friccional sobre la frontera es:

$$F_\tau = - \int_x^{x+\Delta x} \tau_{ox} P dx \dots\dots\dots(4.7)$$

Donde P es el perímetro mojado y τ_{ox} es la componente en el eje x del esfuerzo tangencial sobre las paredes el canal, el cual es asumido ser uniforme lateralmente a lo largo del perímetro mojado.

La componente de la fuerza de presión sobre la pared lateral del canal que se estrecha gradualmente opuesto al vertedero es:

$$F_{pared} = -\frac{\rho g \tan \phi \cos \theta}{2} \int_x^{x+\Delta x} y^2 dx \dots\dots\dots(4.8)$$

Igualando la suma de los incrementos de los momentums a la suma de las fuerzas actuantes, ambas en la dirección del eje x resulta:

$$\frac{d(\rho \beta A V^2)}{dx} \Delta x - \int_x^{x+\Delta x} \rho V_w \cos \phi dQ = \dots\dots\dots(4.9)$$

$$-\frac{d(K\rho \beta y \cos \theta)}{dx} \Delta x - \frac{\rho g \tan \phi \cos \theta}{2} \int_x^{x+\Delta x} y^2 dx - \int_x^{x+\Delta x} \tau_{ox} P dx + \int_x^{x+\Delta x} \rho g S_0 A dx$$

Dividiendo la ecuación (4.9) por Δx y tomando el límite cuando Δx tiende a cero.

$$\frac{d(\rho \beta A U^2)}{dx} - \rho \frac{dQ}{dx} V_w \cos \phi = -\frac{d(K\rho \beta y \cos \theta)}{dx} - \frac{\rho g y^2 \tan \phi \cos \theta}{2} - \tau_{ox} P + \rho g S_0 A \dots\dots\dots(4.10)$$

Donde $Q = AV$

$$\frac{dQ}{dx} = A \frac{dV}{dx} + V \frac{dA}{dx} \dots\dots\dots(4.11)$$

Para un canal trapezoidal

$$A = \left(B + \frac{y}{\tan \psi} \right) y \dots\dots\dots(4.12)$$

$$k = \frac{3B + 2 \frac{y}{\tan \psi}}{6 \left(B + \frac{y}{\tan \psi} \right)} \dots\dots\dots(4.13)$$

$$\frac{dA}{dx} = \frac{\partial A}{\partial y} \frac{dy}{dx} + \frac{\partial A}{\partial B} \frac{dB}{dx} \dots\dots\dots(4.14)$$

Lo cual equivale a:

$$\frac{dA}{dx} = T \frac{dy}{dx} - y \tan \phi \dots\dots\dots(4.15)$$

Puesto que $\frac{dB}{dx} = -\tan \phi$ y $T = \frac{\partial A}{\partial y}$, de (4.12) y (4.13) resulta:

$$kA = \frac{y}{6} \left(3B + 2 \frac{y}{\tan \psi} \right) \dots\dots\dots(4.16)$$

Usando ecuaciones (4.11), (4.15), (4.16), $\cos \theta \approx 1$ y $d(\cos \theta)/dx = 0$ la ecuación (4.10) puede ser escrita como:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f + \frac{1}{gA} \frac{dQ}{dx} (V_w \cos \phi - 2\beta V) - \frac{V^2}{g} \left(\frac{d\beta}{dx} + \frac{\beta y \tan \phi}{A} \right)}{1 - \frac{\beta T V^2}{gA}} \dots\dots\dots(4.17)$$

Donde S_f es la pérdida de energía por unidad de longitud y dQ/dx es negativo para un flujo saliente.

Esta es la ecuación diferencial para el cambio del tirante de agua en el canal en el tramo donde se ubica el vertedero lateral¹.

Para un canal prismático, $\phi=0$ así la ecuación (4.17) se convierte en

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f + \frac{1}{gA} \frac{dQ}{dx} (V_w \cos \phi - 2\beta V) - \frac{V^2}{g} \frac{d\beta}{dx}}{1 - \frac{\beta T V^2}{gA}} \dots\dots\dots(4.18)$$

Con el propósito de eliminar la zona de separación formada al inicio del vertedero e incrementar la eficiencia del vertedero se contrae una de las paredes

¹ Das, A. Spatially varied flow over an embankment side weir. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 123 (4):314-317. 1997

Observaciones realizadas por investigadores confirman que la zona de separación casi no existe cuando el canal es contraído, β es constante a lo largo del canal, entonces $d\beta/dx=0$ a lo largo del vertedero. Luego la Eq (4.17) para un canal con contracciones es de la forma¹.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f + \frac{1}{gA} \frac{dQ}{dx} (V_w \cos \phi - 2\beta V) - \frac{\beta y V^2 \tan \phi}{gA}}{1 - \frac{\beta T V^2}{gA}} \dots\dots\dots(4.19)$$

La solución del sistema de ecuaciones diferenciales (4.1) y (4.17) requiere el conocimiento de los termino $V_w \cos \phi$, algunos investigadores introducen la hipótesis $V_w \cos \phi = V$, Sin embargo, en la realidad, la distribución de la velocidad en el canal es altamente no uniforme en el tramo donde se ubica el vertedero lateral. El-Khashab y Smith (1976) para $Q_w/Q_1 < 0,5$. dan la siguiente aproximación².

$$V_w \cos \phi = 0,85 \left(\frac{y}{P} \right) V \dots\dots\dots(4.20)$$

La obtención de C_{de} implica el uso de métodos de Runge Kutta de cuarto orden para la solución de (4.1) y (4.17) tomando como condiciones de frontera las condiciones de flujo y geometría de pruebas de laboratorio, resultando complejo e impracticable sin embargo es justificable para algunas obras de gran magnitud y geometría compleja.

¹ Das, A. Spatially varied flow over an embankment side weir. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 123 (4):314-317. 1997

² El-Khashab, A. and Smith, K. V. H. "Experimental investigation of flow over side weirs," J. Hydraulics Div., Proc. ASCE, vol. 102, no. HY9, pp. 1255-1268. 1976.

4.2 FORMULACIÓN MATEMÁTICA POR EL PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA [1].

La descarga del vertedero lateral por unidad de longitud es asumido como

$$q_w = \frac{dQ_w}{dx} = -\frac{dQ}{dx} = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} (y - P)^{3/2} \dots\dots\dots(4.21)$$

Aplicando Bernoulli entre las secciones 1 y 2 de acuerdo con la figura 4.4 la energía en cualquier sección de canal asumiendo que $\alpha \approx 1$ esta dado por

$$E = y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \dots\dots\dots(4.22)$$

$$\frac{dE}{dx} = \frac{dy}{dx} + \frac{d\left(\frac{Q^2}{2gA^2}\right)}{dx} = 0 \dots\dots\dots(4.23)$$

$\frac{dE}{dx} \approx 0$, Cuando la pendiente del canal es pequeña y el canal prismático, flujos alejados del régimen crítico, resultando.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{Q}{gA^2}}{1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}} \cdot \left(-\frac{dQ}{dx}\right) \dots\dots\dots(4.24)$$

El caudal en una sección genérica del canal de la ecuación 4.22 resulta:

$$Q = A \sqrt{2g(E - y)} \dots\dots\dots(4.25)$$

Para canales trapezoidales

$$\frac{dA}{dx} = T \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots(4.26)$$

Reemplazando 4.21 y 4.26 en 4.24 obtenemos

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\sqrt{2g(E - y)}}{g(A - 2T(E - y))} \cdot \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot C_M (y - P)^{3/2} \dots\dots\dots(4.27)$$

Para un canal trapezoidal fig. 4.3 se tiene que:

$$Z = ctg \psi, \quad T = B + 2Zy, \quad A = (B + Zy)y$$

Integrando la ecuación 4.27 se tiene

$$L = \frac{3}{4C_M} (\Phi_{T_2} - \Phi_{T_1}) \dots\dots\dots(4.28)$$

Donde:

$$\Phi_T = [3Z(E-5P)-6B] \text{Sen}^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{E-P}} - \left[\frac{2P(3B-4ZE+5ZP)-4EB}{E-P} \right] \sqrt{\frac{E-P}{y-P}} - 5Z\sqrt{(E-y)(y-P)} \dots\dots\dots(4.29)$$

$$C_M = \frac{3}{4L} (\Phi_{T2} - \Phi_{T1}) \dots\dots\dots(4.30)$$

Para un canal rectangular con Z=0 resulta:

$$C_M = \frac{3B}{2L} (\Phi_2 - \Phi_1) \dots\dots\dots(4.31)$$

$$\Phi = \frac{2E-3P}{E-P} \sqrt{\frac{E-P}{y-P}} - 3 \text{Sin}^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{E-P}} \dots\dots\dots(4.32)$$

La cual fue deducida por De Marchi (1934).

Un problema de diseño consiste: dado Q₁, Q₂, y P determinar la longitud L del vertedero, el uso de la expresión la expresión 4.31 tiene el inconveniente de que el valor de C_M es desconocido, en pruebas de laboratorio se pueden obtener los valores de C_M reemplazando los valores en la expresión 4.31 para luego correlacionarlos con parámetros adimensionales conocidos.

4.3. APROXIMACIÓN TEÓRICA DEL COEFICIENTE DE DESCARGA LATERAL C_M.

Un análisis dimensional realizado (sec. 4.4) indica que:

$$C_M = f\left(F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}, \frac{P}{y_1}, \frac{L}{B}, \frac{y_1}{L}\right) \dots\dots\dots(4.33)$$

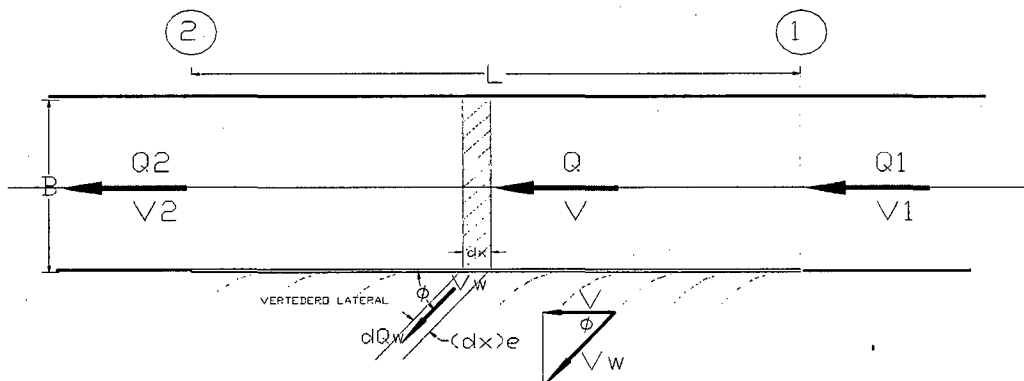


Fig. 4.4 Efecto de la velocidad del chorro saliente y su ángulo de deflexión.

Asumiendo que los parámetros y_1/L y L/B ¹, no afectan significativamente el valor de C_M como se pudo comprobar experimentalmente, tomando una barrera de altura cero $P=0$ de modo que se elimine las posibles influencias del parámetro y_1/L . Consideremos una longitud elemental dx de el vertedero lateral, (vea fig. 4.4) la descarga sobre el vertedero lateral, a través de la longitud elemental es:

$$dQ_w = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} (y)^{3/2} dx \dots\dots\dots(4.34)$$

el ancho efectivo del chorro cuya sección transversal es normal a la velocidad V_w de acuerdo a la fig. 4.4 es :

$$(dx)_e = dx * \text{sen}\phi \dots\dots\dots(4.35)$$

la ecuación 4.34 es rescrita como

$$dQ_w = \frac{2}{3} \bar{C}_d \sqrt{2g} (y)^{3/2} \text{sen}\phi dx \dots\dots\dots(4.36)$$

En el cual \bar{C}_d representa el coeficiente de contracción, ϕ es la inclinación del chorro deflectado sobre el vertedero como una aproximación se asume constante a lo largo del vertedero, asumiendo que $V_w \cos\phi = V$ resulta:

$$\text{sen}\phi = \sqrt{1 - \left[\frac{V_1}{V_w} \right]^2} \dots\dots\dots(4.37)$$

en el cual V_w velocidad del flujo dQ_w sobre la cresta.

Como la situación del flujo es similar al de un flujo en caída ($P=0$), asumimos que la velocidad de salida V_w es muy aproximada a la velocidad crítica correspondiente a la energía específica del canal principal del cual resulta:

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{1}{3} E = \frac{1}{3} \left(y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(4.38)$$

Substituyendo $V_c \approx V_w$ y $F_1^2 = \frac{V_1^2}{(gy_1)}$ de 4.37 resulta:

¹ Subramanya, K. and S. C. Awashthy. Spatially varied flow over side-weirs. J. Hyd. Eng., ASCE, 98(1):1-10, 1972.

$$\text{sen}\phi = \sqrt{1 - \left[\frac{3F_1^2}{F_1^2 + 2} \right]} \dots\dots\dots(4.39)$$

así de este modo de las ecuaciones 4.34 y 4.36

$$C_M = \overline{C_d} \sqrt{1 - \left[\frac{3F_1^2}{F_1^2 + 2} \right]} \dots\dots\dots(4.40)$$

El valor de $\overline{C_d}$ puede ser escogido como **0,611** este valor representa el coeficiente de contracción de un vertedero sin contracciones laterales Fig. 3.1 el cual fue derivado por Von Mises(1917)¹.

$$C_M = 0,611 \sqrt{1 - \left[\frac{3F_1^2}{F_1^2 + 2} \right]} \dots\dots\dots(4.41)$$

4.4 ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

Se considera que las variables determinantes en el mecanismo de un flujo espacialmente variado sobre un vertedero lateral con descarga libre son:

- Características geométricas del canal rectangular:
Ancho del canal principal (B).
- Características geométricas del vertedero lateral: Longitud del vertedero (L), altura de la cresta del vertedero (P).
- Características del agua y el flujo: Peso específico del agua (ρg); velocidad media del flujo de aproximación (V_1), tirante del flujo de aproximación (y_1), velocidad media del flujo aguas abajo (V_2), tirante del flujo aguas abajo (y_2).
- Características del canal: Pendiente de fondo (S_o), rugosidad (n_o).

Usando el teorema de π de Buckingham se relaciona las variables consideradas para establecer la dependencia del coeficiente de descarga en un flujo espacialmente variado sobre un vertedero lateral, en el sistema MLT.

¹ Bakhmeteff, B. "Hidraulica de los Canales", Editorial Aguilar, Madrid, España, 1956

Variables	C_d (1)	B (2)	L (3)	P (4)	V_1 (r1)	Y_1 (r3)	V_2 (5)	Y_2 (6)	n_0 (7)	S_0 (8)	ρ (r2)	g (9)
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
L	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	-3	1
T	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	-2

TABLA. 4.1 Variables consideradas en el análisis dimensional.

Considerando como variables repetitivas a V_1 , ρ y y_1 , los 9 parámetros π resultantes son

$$\pi_1 = V_1^{x1} \rho^{x2} y_1^{x3} C_{dg}$$

$$\pi_2 = V_1^{x1} \rho^{x2} y_1^{x3} B$$

$$\pi_3 = V_1^{x1} \rho^{x2} y_1^{x3} L$$

$$\pi_4 = V_1^{x1} \rho^{x2} y_1^{x3} P$$

$$\pi_5 = V_1^{x1} \rho^{x2} y_1^{x3} V_2$$

$$\pi_6 = V_1^{x1} \rho^{x2} y_1^{x3} y_2$$

$$\pi_7 = n_0$$

$$\pi_8 = S_0$$

$$\pi_9 = V_1^{x1} \rho^{x2} y_1^{x3} g$$

Que al resolverse resultan

$$\pi_1 = C_{dg}$$

$$\pi_2 = \frac{B}{y_1}$$

$$\pi_3 = \frac{L}{y_1}$$

$$\pi_4 = \frac{P}{y_1}$$

$$\pi_5 = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\pi_6 = \frac{y_2}{y_1}$$

$$\pi_7 = n_0$$

$$\pi_8 = S_0$$

$$\pi_9 = \frac{y_1 g}{V_1^2} \text{ Invertiendo y extrayendo la raíz cuadrada}$$

$$\pi_{9(1)} = \frac{1}{\sqrt{\frac{y_1 g}{V_1^2}}} = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}} = F_1$$

Los parámetros π quedan reagrupados como

$$f\left(C_d, \frac{B}{y_1}, \frac{L}{y_1}, \frac{P}{y_1}, \frac{F_2}{F_1}, n_0, S_0, F_1\right)$$

Suprimiendo los parámetros n_0, S_0

Finalmente la expresión resultante es

$$C_d = f\left(\frac{B}{y_1}, \frac{L}{y_1}, \frac{P}{y_1}, \frac{F_2}{F_1}, F_1\right)$$

CAPITULO V

PROGRAMA EXPERIMENTAL MATERIALES Y PROCEDIMIENTO.

5.1 ALCANCES

Los estudios experimentales se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima-Perú, durante los meses de febrero y mayo del 2004.

Para llevar a cabo la presente investigación se diseñó accesorios y amplió el canal de pendiente variable existente en el campo de modelos del Laboratorio Nacional de Hidráulica cuyos detalles se pueden observar en las figuras y fotografías de este capítulo.

Se realizaron ensayos experimentales, para diferentes configuraciones geométricas del vertedero lateral.

Los flujos ensayados estuvieron comprendidos dentro del régimen Subcrítico por tratarse de una condición que generalmente se encuentra en la práctica, en el diseño de obras hidráulicas.

La aplicabilidad de la presente investigación estará restringida a condiciones similares al de la investigación.

5.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL.

El estudio experimental fue diseñado y procesado con parámetros adimensionales resultantes de un análisis dimensional siendo el más influyente el número de Froude en la sección aguas arriba F_1 , en las 152 pruebas realizadas el régimen de flujo fue subcrítico.

Se dispuso de de 5 configuraciones geométricas del vertedero lateral variándose la longitud del vertedero lateral L y la altura de la cresta del vertedero respecto al fondo del canal P los cuales son detallados en la tabla 5.2, para cada configuración geométrica se vario el número de Froude del flujo F_1 y el espesor de la lámina de agua encima de la cresta del vertedero lateral h , mediante la combinación de caudales Q_1 y tirantes y_1 de este modo se obtiene diversas configuraciones de flujo¹.

La siguiente tabla resume las configuraciones ensayadas en laboratorio.

¹ Véase las tablas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 para mayor información.

V TIPO	L(m)	P(m)	F_1	$Q_1(L/s)$	$Q_w(L/s)$	$Y_1(m)$
I	0,50	0,1485	<0,27-0,56>	<22,72-72,45>	<1,83-16,37>	<0,1774-0,200>
II	0,50	0,097	<0,09-0,76>	<4,33-57,86>	<2,34-13,89>	<0,1157-0,1594>
III	0,50	0,043	<0,27-0,73>	<7,23-22,57>	<2,65-11,65>	<0,067-0,099>
IV	0,65	0,126	<0,16-0,77>	<11,28-60,4>	<2,56-15,56>	<0,146-0,18>
V	0,65	0,063	<0,11-0,48>	<8,62-30,63>	<2,51-14,39>	<0,079-0,117>

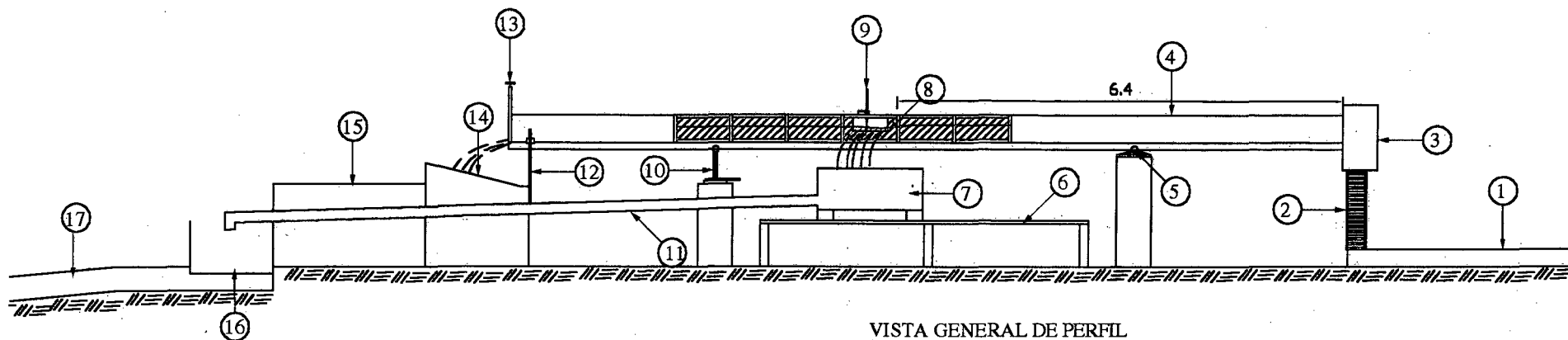
TABLA 5.1 Rango de parámetros geométricos y de flujo ensayados para cada vertedero lateral.

Con estas variables se obtienen los parámetros adimensionales resultantes del análisis dimensional realizado en la sección 4.4. con el objetivo de hacer un análisis de correlación con los coeficientes de descarga obtenidos experimentalmente, de manera que los resultados sean generales independientes de la geometría.

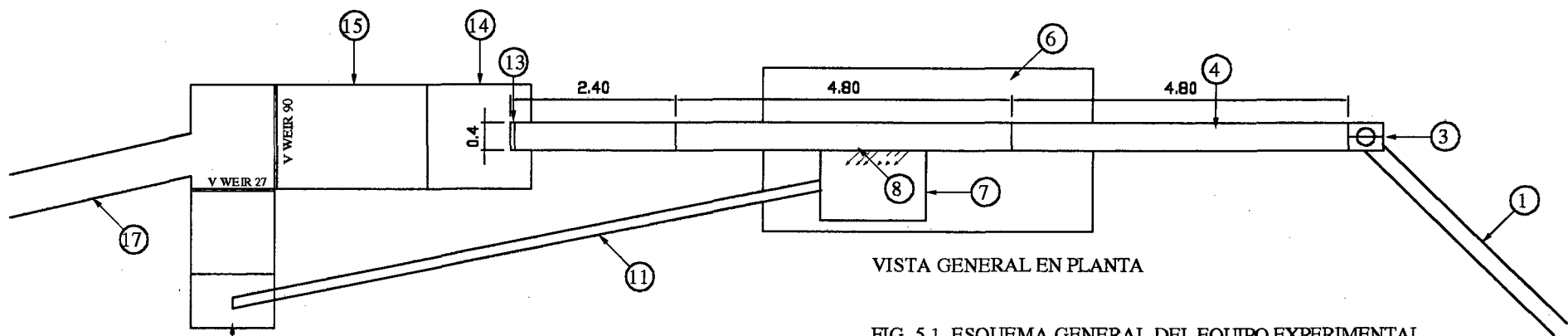
5.3 EQUIPAMIENTO EXPERIMENTAL

El equipo experimental fue proyectado de manera que se tenga el caudal suficiente y permanente, la sección del canal de pendiente variable utilizado en la investigación requiere caudales relativamente altos para modelar flujos con números de Froude F_1 cercanos al crítico más aún si la altura de la cresta del vertedero es alta, construyéndose un empalme del canal con la red de tuberías existente en el laboratorio, obteniéndose de este modo un flujo permanente y caudales que nos permitieron modelar una amplia gama de números de Froude. Los equipos de medición constan principalmente de vertederos triangulares para aforar los caudales y limnómetros medir los tirantes de agua a lo largo del vertedero lateral los cuales fueron proporcionados por el Laboratorio Nacional de Hidráulica, en la figura 5.1 podemos apreciar la disposición en planta y perfil del modelo hidráulico usado, previamente se determinó la ubicación del vertedero lateral de manera que el flujo sea aproximadamente uniforme².

² Véase las fotografías y esquemas del presente capítulo.



VISTA GENERAL DE PERFIL



VISTA GENERAL EN PLANTA

FIG. 5.1. ESQUEMA GENERAL DEL EQUIPO EXPERIMENTAL

- | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| ① TUBERIA DE ALIMENTACION | ⑦ CUBETA | ⑬ COMPUERTA DE CONTROL |
| ② TUBERIA FLEXIBLE DE JEBE | ⑧ VERTEDERO LATERAL | ⑭ POZA DISIPADORA |
| ③ DISIPADOR DE ENERGIA | ⑨ LIMNIMETRO DESPLAZABLE | ⑮ VERTEDERO TRIANGULAR DE 90 GRADOS |
| ④ CANAL DE PENDIENTE VARIABLE | ⑩ TORNILLO SIN FIN | ⑯ VERTEDERO TRIANGULAR DE 27 GRADOS |
| ⑤ CHUMACERA | ⑪ TUBO DE DRENAJE DE EXCEDENCIAS | ⑰ CANAL DE DRENAJE |
| ⑥ TABLERO PARA OBSERVACION | ⑫ MEDIDOR DE PENDIENTES | |

5.3.1. CANAL DE PENDIENTE VARIABLE.

El canal usado en la presente investigación es de 12m de longitud, 0,405m de ancho y 0.40m de alto. Esta construida a base de planchas de metal y vidrio, la base del canal es íntegramente de metal, al igual que sus paredes laterales en los 4.80 y 2.40 metros iniciales y finales respectivamente. Los 4,80 metros restantes de las paredes laterales son de vidrio teniendo por finalidad la observación del comportamiento hidráulico del vertedero lateral y sus fenómenos asociados.

La base del canal se encuentra reforzada, en toda su longitud por un tubo cuadrado hueco de 4", consta de 2 apoyos uno fijo y otro móvil, el apoyo fijo, esta ubicado a 3.00 m del inicio del canal y consta de una chumacera con un eje de 1" de diámetro el cual esta soldado al canal.

El apoyo móvil consta de un mecanismo que permite variar la pendiente.

El ingreso del agua al canal es a través de una manguera flexible de jebe de 10" de diámetro con la finalidad de absorber los desplazamientos que se producen al variar la pendiente del canal foto 5.2.

La manguera de jebe ingresa a una cámara de disipación de energía constituida esencialmente por capas paralelas de mallas metálicas que disipan la energía de flujo al ingreso.

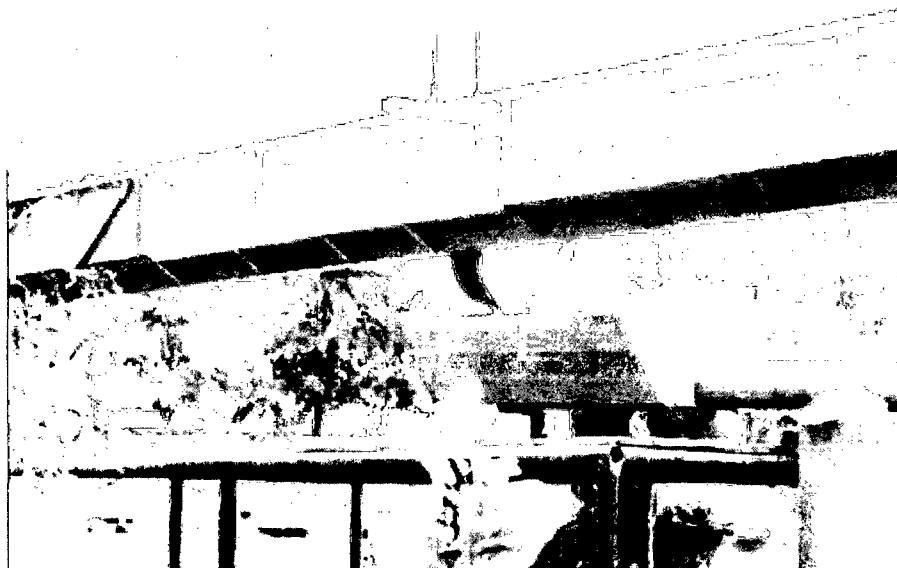


FOTO 5.1 Vista del canal de pendiente variable en funcionamiento.

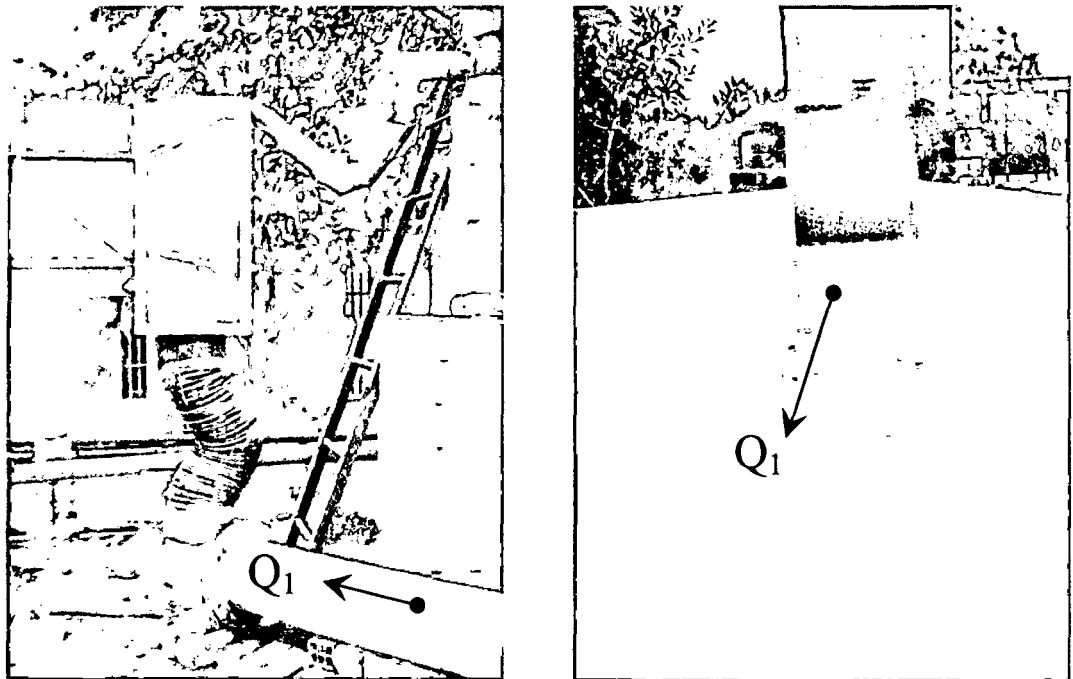


FOTO 5.2 Caja de disipación de energía al ingreso del canal, obsérvese en la segunda foto la salida tranquila del agua

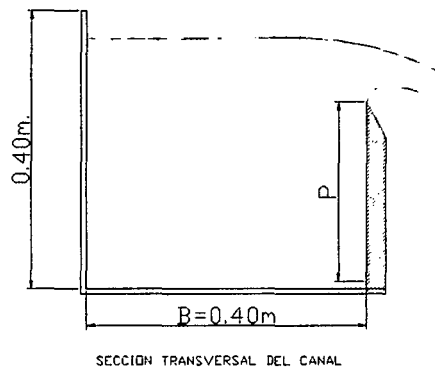


FIG. 5.2 Sección transversal del canal de pendiente variable en el tramo del vertedor.

5.3.1.1. COMPUERTA DE CONTROL

Con la finalidad de controlar el tirante y variar las condiciones de flujo para diversos caudales se colocó una compuerta al final del canal, consta de una plancha de metal contenida en un marco de metal, mediante un perno largo y una manija se gradúa la abertura de la compuerta permitiendo modificar el número de Froude en el canal principal y la carga encima de la cresta del vertedero para diversas alturas de vertedero lateral y caudal aliviado.

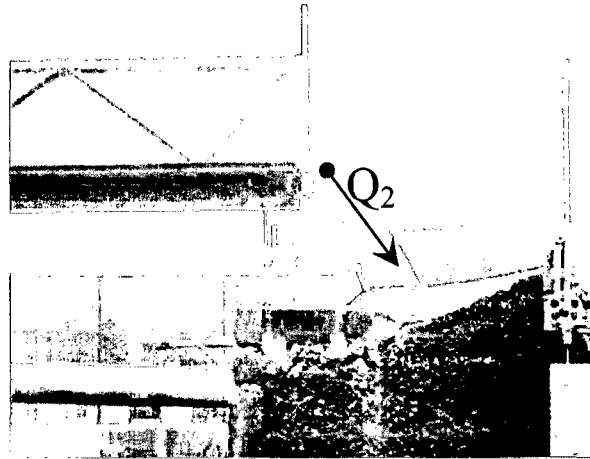


FOTO 5.3 compuerta de control.

5.3.1.2. EQUIPAMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE PENDIENTES EN EL CANAL

La pendiente del canal se controla a través del sistema de izaje unida a una regla graduada en la cual se verifican las pendientes como resultando de una calibración de pendientes, el rango de pendientes de la experimentación se encuentra entre -0.003 y 0.003

5.3.2 SISTEMA DE DRENAJE DEL CAUDAL ALIVIADO

El sistema de drenaje del caudal aliviado consta de una cubeta metálica y una tubería de 6" fue diseñado de modo que el caudal excedente aliviado Q_w , sea conducido a un vertedero triangular de 27° para ser aforado con precisión.

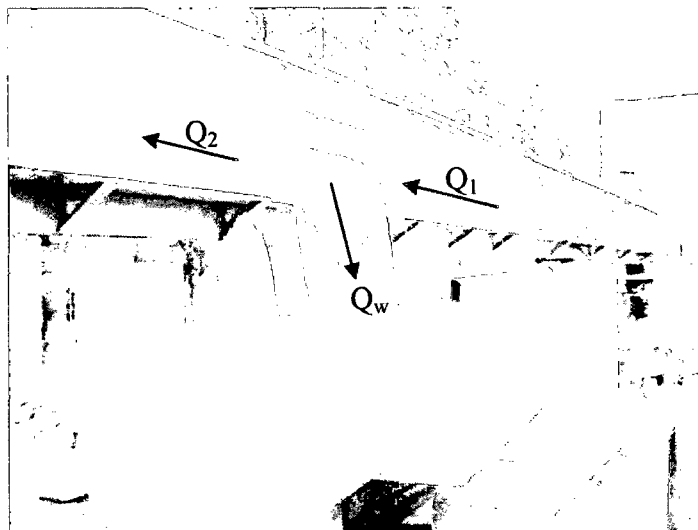


FOTO 5.4 Drenado del caudal aliviado.

5.3.3 VERTEDEROS LATERALES

Se usó una combinación de 5 geometrías de vertederos laterales, el material utilizado para su construcción fue plexiglás, la condición en todos los ensayos fue de vertederos de cresta delgada y completamente ventilados, en todos los casos la cresta del vertedero es paralela a la base del canal.

VERTEDERO	P	L
I	0,1485m.	0,50m.
II	0,097m.	0,50m.
III	0,043m.	0,50m.
IV	0,126m	0,65m
V	0,063m.	0,65m

TABLA 5.2 Dimensiones de los vertederos laterales ensayados



FOTO 5.5 Vertedero lateral ubicado en la pared del canal en marcha.

5.3.4 EQUIPO PARA LA MEDICIÓN DE TIRANTES

La medición de tirantes de flujo se realizó a través de 2 limnímetros Neyrpic, con aproximación de medida de 0.2mm.

Los cuales se empotraron en un viga de madera móvil, esta viga se apoya en las paredes laterales del canal desplazándose a lo largo del vertedero, un limnómetro coincide con el eje del canal mientras el otro coincide con la cresta del vertedero.

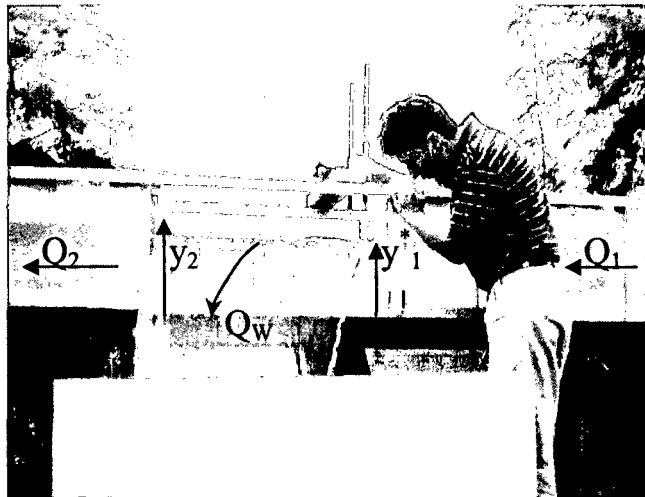


FIG. 5.6 Medición de tirantes utilizando limnímetros.

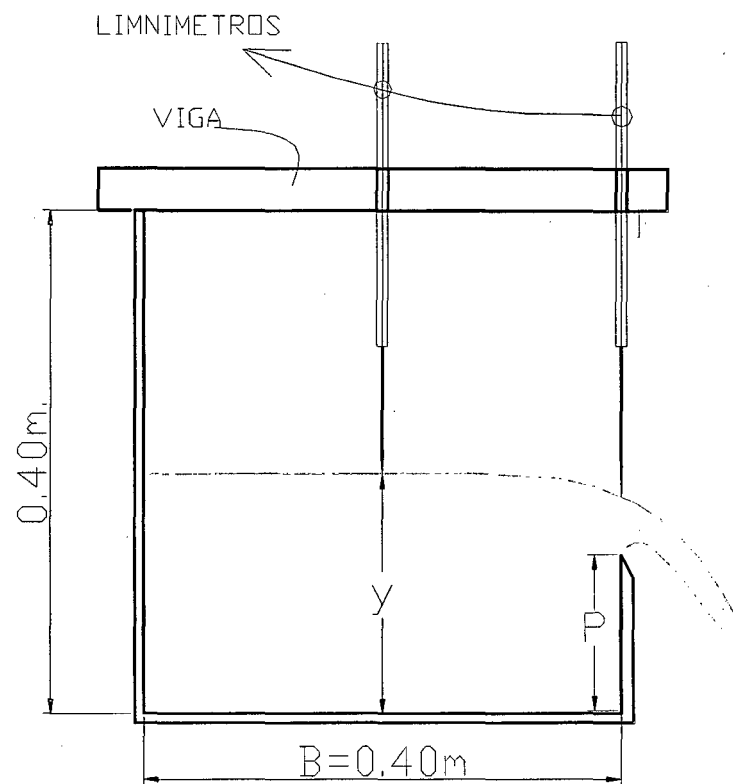


FIG. 5.3 Limnímetros de medición de tirantes de flujo.

5.3.5 VERTEDERO TRIANGULAR DE 90°

Ubicado inmediatamente después de la compuerta de regulación al final del canal se encarga de recibir el caudal restante Q_2 , luego se rompe la energía del flujo producto de la caída, tranquilizándose el flujo mediante una poza de disipación, para luego Pasar a la poza de aproximación de manera calmada, el vertedero esta equipado con un limnómetro.

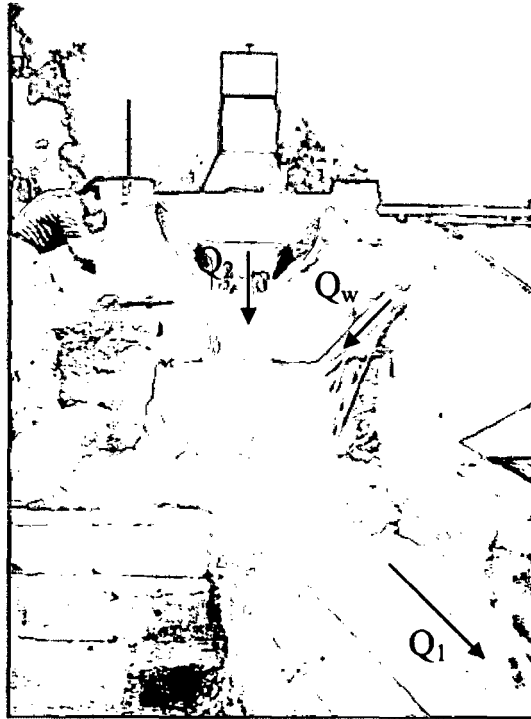


FOTO 5.7 Vertedero triangular de 90° en marcha para estimar Q_2 .

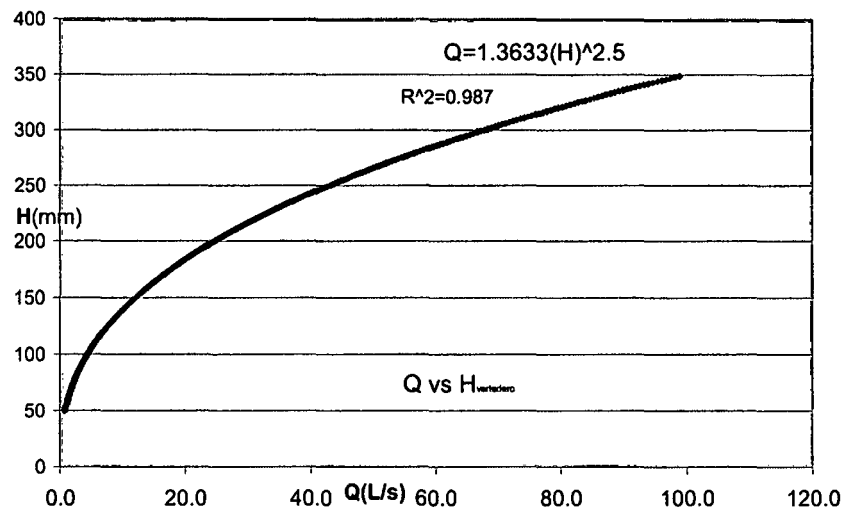


FIG. 5.4 Curva de descarga del Vertedero triangular de 90°.

H(mm)	Q(lt/s)	H(mm)	Q(lt/s)	H(mm)	Q(lt/s)	H(mm)	Q(lt/s)	H(mm)	Q(lt/s)	H(mm)	Q(lt/s)
50	0,797	100	4,413	150	12,073	200	24,693	250	43,042	300	67,796
51	0,837	101	4,524	151	12,274	201	25,001	251	43,472	301	68,361
52	0,878	102	4,635	152	12,477	202	25,312	252	43,905	302	68,928
53	0,920	103	4,749	153	12,682	203	25,625	253	44,340	303	69,499
54	0,963	104	4,864	154	12,889	204	25,941	254	44,778	304	70,072
55	1,008	105	4,981	155	13,098	205	26,258	255	45,218	305	70,648
56	1,054	106	5,099	156	13,309	206	26,578	256	45,661	306	71,227
57	1,101	107	5,219	157	13,522	207	26,901	257	46,107	307	71,808
58	1,149	108	5,341	158	13,738	208	27,225	258	46,555	308	72,393
59	1,198	109	5,464	159	13,955	209	27,552	259	47,006	309	72,980
60	1,249	110	5,590	160	14,174	210	27,882	260	47,460	310	73,570
61	1,301	111	5,717	161	14,395	211	28,213	261	47,916	311	74,163
62	1,354	112	5,845	162	14,619	212	28,547	262	48,375	312	74,759
63	1,408	113	5,975	163	14,844	213	28,884	263	48,836	313	75,358
64	1,464	114	6,107	164	15,071	214	29,223	264	49,300	314	75,960
65	1,521	115	6,241	165	15,301	215	29,564	265	49,767	315	76,564
66	1,580	116	6,377	166	15,533	216	29,907	266	50,236	316	77,172
67	1,639	117	6,514	167	15,766	217	30,253	267	50,708	317	77,782
68	1,700	118	6,653	168	16,002	218	30,602	268	51,182	318	78,395
69	1,763	119	6,794	169	16,240	219	30,952	269	51,660	319	79,011
70	1,826	120	6,936	170	16,480	220	31,305	270	52,139	320	79,630
71	1,891	121	7,081	171	16,722	221	31,661	271	52,622	321	80,252
72	1,958	122	7,227	172	16,967	222	32,019	272	53,107	322	80,877
73	2,026	123	7,375	173	17,213	223	32,379	273	53,595	323	81,504
74	2,095	124	7,524	174	17,462	224	32,742	274	54,086	324	82,135
75	2,166	125	7,676	175	17,712	225	33,107	275	54,579	325	82,768
76	2,238	126	7,829	176	17,965	226	33,475	276	55,075	326	83,405
77	2,311	127	7,985	177	18,220	227	33,845	277	55,573	327	84,044
78	2,386	128	8,142	178	18,477	228	34,217	278	56,075	328	84,686
79	2,462	129	8,300	179	18,737	229	34,592	279	56,579	329	85,332
80	2,540	130	8,461	180	18,998	230	34,970	280	57,085	330	85,980
81	2,619	131	8,624	181	19,262	231	35,350	281	57,595	331	86,631
82	2,700	132	8,788	182	19,528	232	35,732	282	58,107	332	87,285
83	2,782	133	8,954	183	19,796	233	36,117	283	58,622	333	87,942
84	2,866	134	9,122	184	20,066	234	36,504	284	59,139	334	88,602
85	2,951	135	9,292	185	20,338	235	36,894	285	59,660	335	89,265
86	3,038	136	9,464	186	20,613	236	37,286	286	60,183	336	89,931
87	3,126	137	9,638	187	20,890	237	37,681	287	60,709	337	90,600
88	3,216	138	9,814	188	21,169	238	38,078	288	61,237	338	91,271
89	3,307	139	9,991	189	21,450	239	38,478	289	61,769	339	91,946
90	3,400	140	10,171	190	21,734	240	38,880	290	62,303	340	92,624
91	3,494	141	10,352	191	22,019	241	39,285	291	62,840	341	93,305
92	3,590	142	10,536	192	22,307	242	39,692	292	63,379	342	93,989
93	3,687	143	10,721	193	22,598	243	40,102	293	63,922	343	94,675
94	3,786	144	10,908	194	22,890	244	40,514	294	64,467	344	95,365
95	3,887	145	11,098	195	23,185	245	40,929	295	65,015	345	96,058
96	3,989	146	11,289	196	23,482	246	41,347	296	65,565	346	96,754
97	4,093	147	11,482	197	23,781	247	41,767	297	66,119	347	97,452
98	4,198	148	11,677	198	24,083	248	42,189	298	66,675	348	98,154
99	4,305	149	11,874	199	24,387	249	42,614	299	67,234	349	98,859

TABLA 5.3 Calibración de caudales para el vertedero triangular de 90

5.3.6 VERTEDERO TRIANGULAR DE 27°

Para estimar con exactitud el caudal aliviado por el vertedero lateral se usó un vertedero triangular de 27°, sus dimensiones son las de un vertedero estándar del tipo Neypic

El vertedero es alimentado mediante una tubería de 6", posee un cámara de disipación de energía para el flujo que ingresa, el sistema de medición de niveles consta de un limnómetro empotrado en una de sus paredes.



FOTO 5.8 vertedero triangular de 27° en marcha para estimar Q_w .

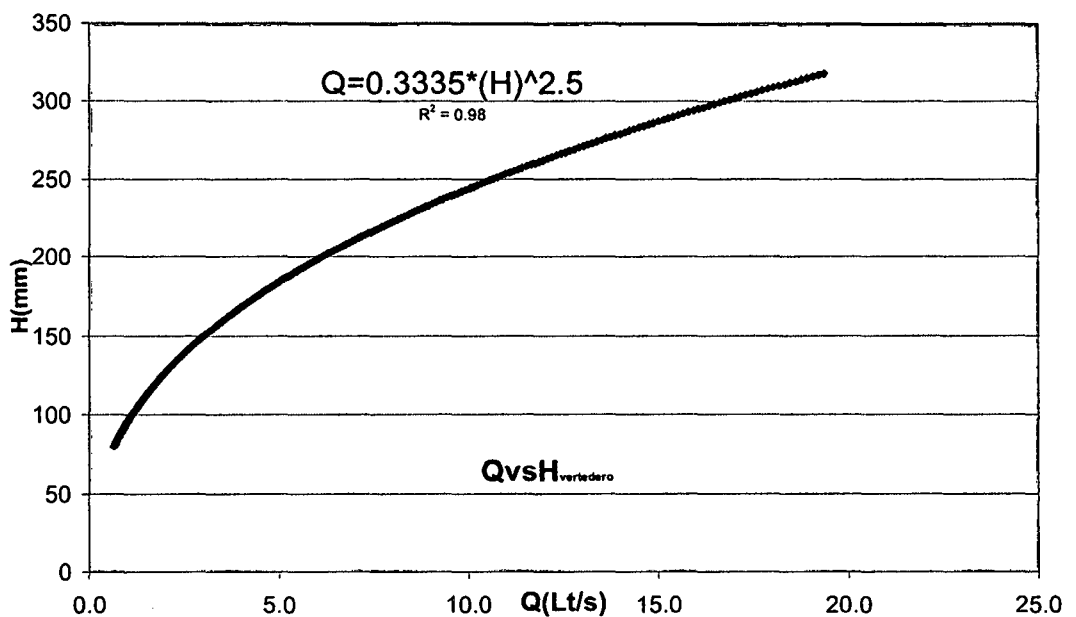


FIG. 5.5 Curva de descarga del Vertedero triangular de 27°.

H(mm)	Q(lt/s)	H(mm)	Q(lt/s)	H(mm)	Q(lt/s)	H(mm)	Q(lt/s)	H(mm)	Q(lt/s)
80	0,648	130	2,123	180	4,732	230	8,673	280	14,121
81	0,668	131	2,163	181	4,797	231	8,767	281	14,246
82	0,688	132	2,204	182	4,863	232	8,861	282	14,372
83	0,709	133	2,245	183	4,929	233	8,956	283	14,499
84	0,729	134	2,287	184	4,996	234	9,052	284	14,626
85	0,751	135	2,329	185	5,063	235	9,148	285	14,754
86	0,772	136	2,372	186	5,131	236	9,244	286	14,883
87	0,795	137	2,415	187	5,199	237	9,342	287	15,012
88	0,817	138	2,459	188	5,268	238	9,440	288	15,142
89	0,840	139	2,503	189	5,338	239	9,538	289	15,273
90	0,863	140	2,547	190	5,408	240	9,637	290	15,404
91	0,887	141	2,592	191	5,478	241	9,737	291	15,537
92	0,910	142	2,638	192	5,549	242	9,837	292	15,669
93	0,935	143	2,683	193	5,621	243	9,938	293	15,803
94	0,960	144	2,730	194	5,693	244	10,040	294	15,937
95	0,985	145	2,777	195	5,766	245	10,142	295	16,072
96	1,010	146	2,824	196	5,839	246	10,245	296	16,207
97	1,036	147	2,872	197	5,913	247	10,348	297	16,343
98	1,062	148	2,920	198	5,988	248	10,453	298	16,480
99	1,089	149	2,969	199	6,063	249	10,557	299	16,618
100	1,116	150	3,018	200	6,138	250	10,663	300	16,756
101	1,144	151	3,068	201	6,214	251	10,769	301	16,895
102	1,171	152	3,119	202	6,291	252	10,875	302	17,035
103	1,200	153	3,169	203	6,368	253	10,982	303	17,175
104	1,228	154	3,221	204	6,446	254	11,090	304	17,316
105	1,258	155	3,272	205	6,525	255	11,199	305	17,458
106	1,287	156	3,325	206	6,604	256	11,308	306	17,600
107	1,317	157	3,377	207	6,683	257	11,418	307	17,743
108	1,347	158	3,431	208	6,763	258	11,528	308	17,887
109	1,378	159	3,484	209	6,844	259	11,639	309	18,031
110	1,409	160	3,539	210	6,925	260	11,751	310	18,176
111	1,441	161	3,593	211	7,007	261	11,863	311	18,322
112	1,473	162	3,649	212	7,090	262	11,976	312	18,469
113	1,505	163	3,704	213	7,173	263	12,090	313	18,616
114	1,538	164	3,761	214	7,256	264	12,204	314	18,764
115	1,571	165	3,818	215	7,340	265	12,319	315	18,913
116	1,605	166	3,875	216	7,425	266	12,434	316	19,062
117	1,639	167	3,933	217	7,510	267	12,551	317	19,212
118	1,674	168	3,991	218	7,596	268	12,667	318	19,363
119	1,709	169	4,050	219	7,683	269	12,785	319	19,514
120	1,744	170	4,109	220	7,770	270	12,903	320	19,667
121	1,780	171	4,169	221	7,858	271	13,022	321	19,819
122	1,816	172	4,230	222	7,946	272	13,141	322	19,973
123	1,853	173	4,290	223	8,035	273	13,261	323	20,127
124	1,890	174	4,352	224	8,124	274	13,382	324	20,282
125	1,928	175	4,414	225	8,214	275	13,504	325	20,438
126	1,966	176	4,476	226	8,305	276	13,626	326	20,595
127	2,005	177	4,539	227	8,396	277	13,748	327	20,752
128	2,044	178	4,603	228	8,488	278	13,872	328	20,910
129	2,083	179	4,667	229	8,580	279	13,996	328	20,910

TABLA 5.4 calibración de caudales para el vertedero triangular de 27°.

5.3.7 CANAL DE RETORNO

El caudal vertido por los vertederos triangulares es colectado por un canal de mampostería construido para este fin, retornando las aguas hacia la cisterna principal.

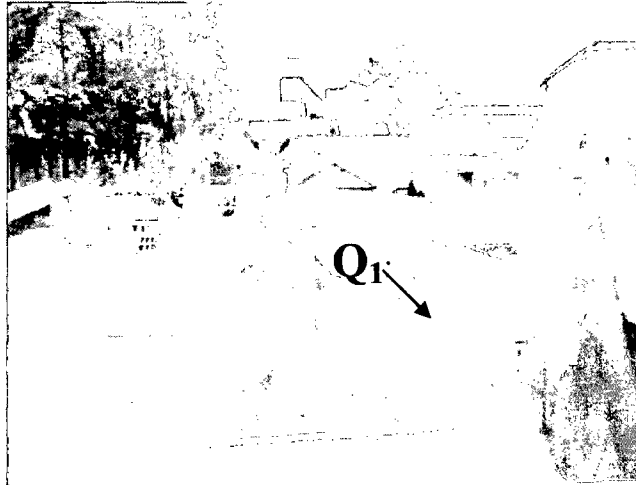


FOTO 5.9 Sección transversal del canal de pendiente variable.

5.3.8 BOMBA HIDRÁULICA

Se usó las bombas ubicadas en la unidad de didáctica del Laboratorio Nacional de Hidráulica, ensayándose caudales menores a 80 Lt/s

Estas impulsan el agua del reservorio a un tanque elevado que se encarga de alimentar el campo de modelos, cuenta con un sistema de rebose que permite mantener una cota fija para establecer flujos permanentes a través de tuberías de 14" de diámetro que alimentan una red para el campo de modelos.

5.3.9 OTROS

Adicionalmente se uso permanganato de potasio para investigar el comportamiento las líneas de flujo, jeringas hipodérmicas, y sedimentos para ver los efectos del vertedero lateral frente al transporte de sedimentos

5.4 PROCEDIMIENTOS

Los procedimientos son los que se detallan a continuación

1. Se ajusta la pendiente del canal a un valor aproximadamente a cero
2. Se abre la válvula de ingreso tanque elevado canal hasta que se establezca el flujo encima del vertedero lateral
3. Esperamos que el flujo se estabilice (régimen permanente)
4. Manipulamos la compuerta de control ubicada al final del canal (condición de frontera) para establecer un régimen aproximadamente uniforme aguas abajo vertedero, controlando los tirantes de flujo.
5. Una vez establecido el régimen uniforme se procede a la medición de los caudales (el caudal aliviado con un vertedero triangular de 27° y el caudal aguas abajo del vertedero lateral es medido con un vertedero triangular de 90° los cuales fueron previamente calibrados)
6. Se procede a la medición de los tirantes desde aguas arriba hacia aguas abajo en el eje del canal y en el plano del vertedero mediante limnómetros desplazables acoplados especialmente al canal encima del vertedero lateral para este propósito.
7. Calculamos el número de Froude al inicio y al final del vertedero, el espesor de agua al final del vertedero
8. Realizamos observaciones cualitativas del comportamiento hidráulico del vertedero lateral realizando inyecciones de permanganato de potasio para apreciar las líneas de corriente superficiales y de fondo, la aparición de vórtices, el comportamiento de los sedimentos, al geometría del perfil de flujo, el ángulo de deflexión del chorro, la deflexión transversal, etc.
9. Variamos el número de Froude para conseguir otras condiciones de flujo y nuevamente comenzamos con los procedimientos arriba mencionados

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS CUALITATIVO DE RESULTADOS

Para un buen entendimiento del comportamiento hidráulico de un flujo espacialmente variado sobre un vertedero lateral se hicieron pruebas con inyecciones de permanganato de potasio, observándose el comportamiento de las líneas de corriente, zonas de turbulencia, distribución de velocidades a nivel cualitativo.

Las pruebas con permanganato muestran cualitativamente el grado de dependencia del caudal aliviado con la naturaleza del flujo y la geometría del vertedero.

El punto 2 que se encuentra en la superficie del agua se ha verificado que limita aproximadamente el flujo que se deriva por el vertedero.

El punto 4 puede desplazarse pudiendo encontrarse en la base del canal o en el plano del vertedero lateral indica aproximadamente que todas las líneas de flujo de la profundidad que pasen por este entorno coinciden con la región donde aparece un vórtice.

El punto 5 que se encuentra en la cresta del vertedero indica aproximadamente el lugar donde aparece un vórtice de eje oblicuo y de sentido antihorario siendo este un fenómeno que se verifica con cierta periodicidad.

La línea de flujo que pasa por los puntos 2 y 3 representa aproximadamente la línea que coincide con el fin del vertedero y se encuentra en la superficie, también representa el límite de la región del flujo a ser vertido.

La línea de flujo que pasa por los puntos 4 y 5 representa aproximadamente la línea que coincide con la región de aparición del vórtice y se encuentra en la profundidad.

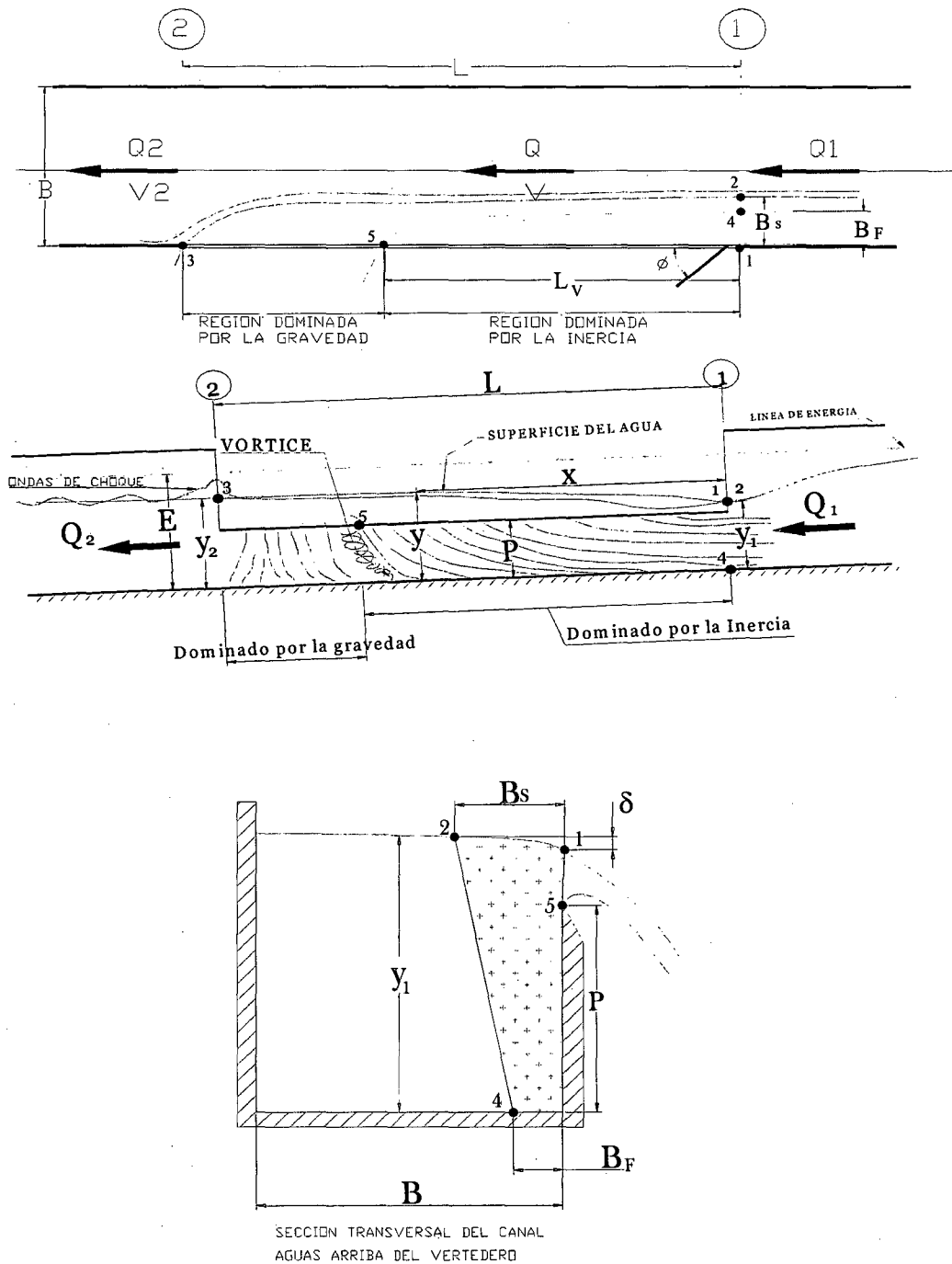


FIG. 6.1 comportamiento del flujo en un vertedero lateral nótese la ubicación del vortice a) vista en planta b) vista en perfil, c) vista de la sección transversal 1, la región achurada representa la sección por donde atraviesa el flujo aliviado.

Las observaciones realizadas evidencian la existencia de varios tipos de flujo caracterizados por las dimensiones que se muestran en el esquema FIG 6.1,

B_S :Es la distancia desde el punto 1 al punto 2

B_F :Es la distancia desde el punto 4 al plano del vertedero lateral.

L_V :Es la distancia donde aparece el vórtice

δ :Es la deflexión de la superficie de flujo existente entre el eje del canal principal y el plano del vertedero.

La variable B_S depende principalmente del número de Froude aguas arriba F_1 y en un menor grado de la lámina de agua encima del vertedero aguas abajo, cuando el número de Froude F_1 aumenta B_S disminuye.

La variable B_F depende principalmente de la relación $\frac{h_2}{P}$ y en un menor grado del número de Froude aguas arriba F_1 , cuando la lámina de agua encima del vertedero aguas abajo h_2 aumenta B_F crece siendo directamente proporcionales .

La zona achurada representa la porción de la sección del canal principal al inicio del vertedero lateral por el cual atraviesa el caudal vertido, es muy sensible al número de Froude principalmente y la relación $\frac{h_2}{P}$, cuando el F_1 aumenta la descarga del vertedero lateral disminuye, cuando $\frac{h_2}{P}$ aumenta la descarga del vertedero lateral aumenta, lo cual coincide con la conclusión obtenida mediante el análisis dimensional realizado.

$$F_1 \uparrow \Rightarrow Q_w \downarrow$$

$$\frac{h_2}{P} \uparrow \Rightarrow Q_w \uparrow$$

$$Q_w \propto f\left(F_1, \frac{h_2}{P}\right)$$

La variable L_V que representa la longitud a la cual se generan vórtices parece depender principalmente de 2 parámetros el número de Froude aguas arriba F_1

y de la relación $\frac{h_2}{P}$, La generación de vortices se produce en la parte de la sección transversal en la que el momentum de la masa que continua en el canal arrastra un a parte de la cual se esta vertiendo sobre el vertedero lateral.

La variable ϕ que representa el ángulo del chorro saliente con la cresta del vertedero depende principalmente del número de Froude aguas arriba F_1 y en un menor grado de la lámina de agua encima del vertedero aguas abajo, cuando el número de Froude F_1 aumenta ϕ disminuye, siendo directamente proporcionales, observando que la orientación de la napa vertiente va creciendo a lo largo del vertedero y en flujo lentos se aproxima a 90 grados muy similar a un vertedero frontal.

La variable δ depende principalmente del número de Froude aguas arriba F_1 y en un menor grado de la lámina de agua encima del vertedero aguas abajo, cuando el número de Froude F_1 aumenta δ crece siendo directamente proporcionales, este valor va disminuyendo a o largo del vertedero lateral.

Podemos clasificar el flujo espacialmente variado sobre un vertedero lateral en los siguientes tipos:

6.1.1. FLUJO TIPO A

Es característico de flujos rápidos y h_2 bajos

El flujo a lo largo del vertedero se limita cerca al vertedero de modo tal que el punto 4 se ubica en el plno del vertdero resultando $B_r = 0$, no se observa la generación de vortices.

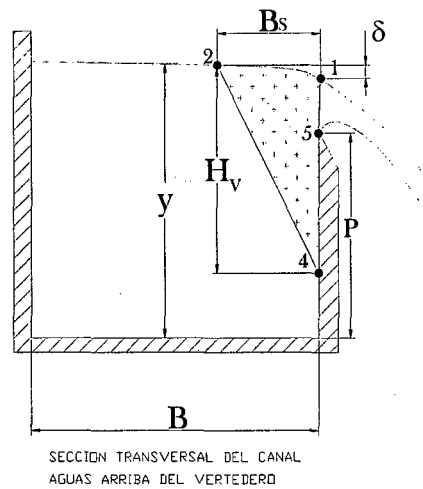


FIG. 6.2 configuración del flujo TIPO A, la región achurada indica la zona por la cual atraviesa el flujo que es vertido.

6.1.2. FLUJO TIPO B

Se produce cuando B_s es mayor que B_f , diferente de cero es característico de flujos lentos y h_2 pequeño, flujos medianamente rápidos y h_2 grandes. cuanto mas grande sea B_f el vórtice se aproxima al inicio del vertedero lateral,

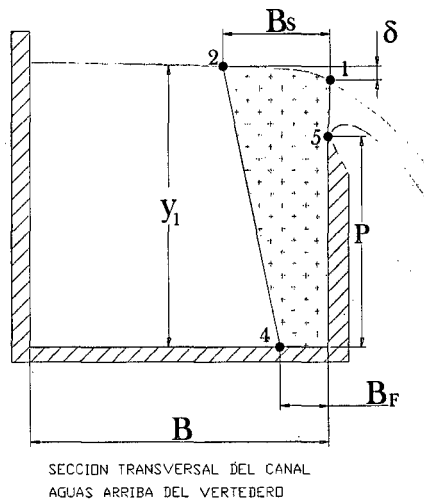
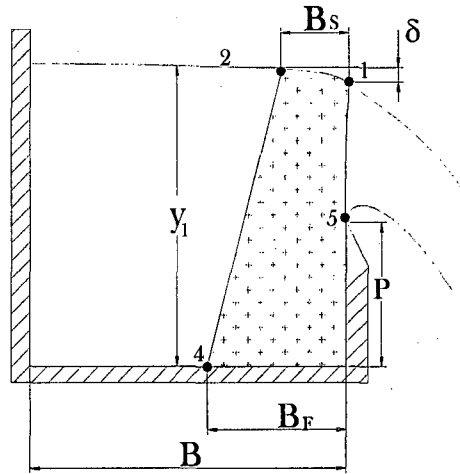


FIG. 6.3 configuración del flujo TIPO B, la región achurada indica los limites del flujo que es vertido.

6.1.3. FLUJO TIPO C

Se produce cuando B_s es menor que B_f lo que se produce en flujos lentos y con flujos medianamente rápidos h_2 grades o muy grandes.



SECCION TRANSVERSAL DEL CANAL
 AGUAS ARRIBA DEL VERTEDERO

FIG. 6.4 configuración del flujo TIPO C, la región achurada indica la zona por la cual atraviesa el flujo a ser vertido.

VERTEDERO	P(m)	L(m)	B(m)	F1
I	0,1485	0,50	0,40	0,31-0,71
II	0,0970	0,50	0,40	0,09-0,86
III	0,0430	0,50	0,40	0,28-0,95
IV	0,1260	0,65	0,40	0,16-0,87
V	0,0630	0,65	0,40	0,26-0,75

TABLA. 6.1 Características geométricas y de flujo de los vertederos laterales ensayados.

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L= 0.50m. P=0.1485m. B=0.405m.															
PRUEBA	FECHA	Q ₁ (l/s)	Q ₂ (l/s)	Q _w (l/s)	y ₁ * (m)	y ₂ (m)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	V ₂ (m/s)	F ₂	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE(%)
1	22/04/2004	41,77	28,38	13,39	0,2062	0,2154	0,0572	0,0664	0,50	0,35	0,33	0,22	0,2190	0,2208	0,83
2	22/04/2004	41,63	35,35	6,28	0,1834	0,1916	0,0344	0,0426	0,56	0,42	0,46	0,33	0,1994	0,2022	1,37
3	22/04/2004	42,14	34,59	7,54	0,1885	0,1960	0,0395	0,0470	0,55	0,41	0,44	0,31	0,2040	0,2057	0,80
4	22/04/2004	43,81	37,88	5,94	0,1805	0,1905	0,0315	0,0415	0,60	0,45	0,49	0,36	0,1988	0,2028	1,96
5	22/04/2004	41,93	38,08	3,85	0,1725	0,1810	0,0235	0,0320	0,60	0,46	0,52	0,39	0,1909	0,1948	2,00
6	22/04/2004	41,74	26,90	14,84	0,2105	0,2210	0,0615	0,0720	0,49	0,34	0,30	0,20	0,2227	0,2256	1,28
7	22/04/2004	45,08	35,54	9,54	0,1935	0,2050	0,0445	0,0560	0,58	0,42	0,43	0,30	0,2104	0,2143	1,85
8	22/04/2004	42,98	34,22	8,76	0,1915	0,2000	0,0425	0,0510	0,55	0,40	0,42	0,30	0,2072	0,2091	0,93
9	26/04/2004	39,90	33,66	6,24	0,1820	0,1890	0,0330	0,0400	0,54	0,41	0,44	0,32	0,1969	0,1989	0,97
10	26/04/2004	30,99	28,88	2,11	0,1650	0,1680	0,0160	0,0190	0,46	0,36	0,42	0,33	0,1760	0,1772	0,69
11	26/04/2004	41,15	30,43	10,72	0,1980	0,2070	0,0490	0,0580	0,51	0,37	0,36	0,25	0,2114	0,2137	1,07
12	26/04/2004	41,06	24,69	16,37	0,2158	0,2240	0,0668	0,0750	0,47	0,32	0,27	0,18	0,2270	0,2278	0,32
13	26/04/2004	30,33	22,66	7,67	0,1890	0,1950	0,0400	0,0460	0,40	0,29	0,29	0,21	0,1970	0,1992	1,10
14	26/04/2004	22,72	20,89	1,83	0,1635	0,1650	0,0145	0,0160	0,34	0,27	0,31	0,25	0,1695	0,1700	0,28
15	26/04/2004	31,17	21,73	9,44	0,1955	0,2020	0,0465	0,0530	0,39	0,28	0,27	0,19	0,2034	0,2056	1,07
16	28/04/2004	30,99	28,88	2,11	0,1650	0,1680	0,0160	0,0190	0,46	0,36	0,42	0,33	0,1760	0,1772	0,69
17	28/04/2004	41,15	30,43	10,72	0,1980	0,2070	0,0490	0,0580	0,51	0,37	0,36	0,25	0,2114	0,2137	1,07
18	28/04/2004	37,43	28,38	9,05	0,1925	0,1995	0,0435	0,0505	0,48	0,35	0,35	0,25	0,2042	0,2058	0,75
19	28/04/2004	38,04	31,84	6,20	0,1820	0,1890	0,0330	0,0400	0,52	0,39	0,42	0,31	0,1956	0,1978	1,13
20	28/04/2004	26,16	22,02	4,15	0,1750	0,1795	0,0260	0,0305	0,37	0,28	0,30	0,23	0,1819	0,1842	1,21
21	28/04/2004	32,19	24,69	7,50	0,1875	0,1935	0,0385	0,0445	0,42	0,31	0,32	0,23	0,1967	0,1986	0,96
22	28/04/2004	38,44	26,74	11,70	0,2015	0,2090	0,0525	0,0600	0,47	0,34	0,32	0,22	0,2128	0,2141	0,60
23	29/04/2004	40,17	36,12	4,06	0,1745	0,1810	0,0255	0,0320	0,57	0,43	0,49	0,37	0,1910	0,1934	1,24
24	29/04/2004	62,58	55,07	7,50	0,1875	0,2040	0,0385	0,0550	0,82	0,61	0,67	0,47	0,2221	0,2266	2,00
25	29/04/2004	55,20	45,66	9,54	0,1940	0,2060	0,0450	0,0570	0,70	0,51	0,55	0,38	0,2192	0,2213	0,95
26	29/04/2004	35,94	28,05	7,89	0,1885	0,1958	0,0395	0,0468	0,47	0,35	0,35	0,26	0,1998	0,2022	1,18
27	29/04/2004	49,25	34,22	15,03	0,2107	0,2220	0,0617	0,0730	0,58	0,40	0,38	0,26	0,2277	0,2294	0,74
28	29/04/2004	49,19	37,48	11,70	0,2005	0,2100	0,0515	0,0610	0,61	0,43	0,44	0,31	0,2192	0,2199	0,32
29	29/04/2004	49,23	34,97	14,26	0,2095	0,2200	0,0605	0,0710	0,58	0,40	0,39	0,27	0,2267	0,2279	0,52
30	29/04/2004	72,45	65,29	7,16	0,1855	0,2040	0,0365	0,0550	0,96	0,71	0,79	0,56	0,2329	0,2358	1,24

TABLA. 6.2. REGISTRO DE LABORATORIO VERTEDERO I

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.50m. P=0.097m. B=0.405m.															
PRUEBA	FECHA	Q₁ (l/s)	Q₂ (l/s)	Q_w (l/s)	y₁* (m)	y₂ (m)	h₁ (m)	h₂ (m)	V₁ (m/s)	F₁	V₂ (m/s)	F₂	E₁ (m)	E₂ (m)	ΔE (%)
1	04/05/2004	24,98	11,10	13,89	0,1555	0,1640	0,0585	0,0670	0,40	0,32	0,17	0,13	0,1635	0,1654	1,15
2	04/05/2004	24,84	17,34	7,50	0,1345	0,1435	0,0375	0,0465	0,46	0,40	0,30	0,25	0,1451	0,1480	1,98
3	04/05/2004	34,38	22,16	12,21	0,1505	0,1610	0,0535	0,0640	0,56	0,46	0,34	0,27	0,1667	0,1669	0,11
4	04/05/2004	20,05	11,97	8,07	0,1375	0,1444	0,0405	0,0474	0,36	0,31	0,20	0,17	0,1441	0,1465	1,66
5	04/05/2004	10,32	6,17	4,15	0,1220	0,1275	0,0250	0,0305	0,21	0,19	0,12	0,11	0,1242	0,1282	3,12
6	04/05/2004	7,64	5,10	2,54	0,1145	0,1180	0,0175	0,0210	0,16	0,16	0,11	0,10	0,1159	0,1186	2,28
7	05/05/2004	16,81	10,54	6,28	0,1305	0,1375	0,0335	0,0405	0,32	0,28	0,19	0,16	0,1357	0,1393	2,63
8	05/05/2004	23,84	19,00	4,84	0,1240	0,1320	0,0270	0,0350	0,47	0,43	0,36	0,31	0,1355	0,1384	2,13
9	05/05/2004	29,78	20,34	9,44	0,1410	0,1525	0,0440	0,0555	0,52	0,44	0,33	0,27	0,1549	0,1580	2,01
10	05/05/2004	34,34	21,31	13,03	0,1520	0,1654	0,0550	0,0684	0,56	0,46	0,32	0,25	0,1679	0,1706	1,58
11	05/05/2004	56,81	45,66	11,15	0,1435	0,1745	0,0465	0,0775	0,98	0,82	0,65	0,49	0,1922	0,1958	1,83
12	05/05/2004	44,09	33,84	10,25	0,1420	0,1620	0,0450	0,0650	0,77	0,65	0,52	0,41	0,1720	0,1756	2,05
13	06/05/2004	48,61	34,97	13,64	0,1515	0,1760	0,0545	0,0790	0,79	0,65	0,49	0,37	0,1835	0,1883	2,54
14	06/05/2004	48,68	41,77	6,91	0,1265	0,1530	0,0295	0,0560	0,95	0,85	0,67	0,55	0,1725	0,1762	2,07
15	06/05/2004	54,03	43,26	10,77	0,1410	0,1690	0,0440	0,0720	0,95	0,80	0,63	0,49	0,1866	0,1894	1,44
16	06/05/2004	57,54	46,56	10,99	0,1410	0,1730	0,0440	0,0760	1,01	0,86	0,66	0,51	0,1928	0,1955	1,41
17	06/05/2004	57,86	44,34	13,52	0,1495	0,1800	0,0525	0,0830	0,96	0,79	0,61	0,46	0,1960	0,1989	1,42
18	06/05/2004	56,13	43,69	12,44	0,1455	0,1750	0,0485	0,0780	0,95	0,80	0,62	0,47	0,1917	0,1944	1,35
19	06/05/2004	26,21	21,88	4,33	0,1225	0,1300	0,0255	0,0330	0,53	0,48	0,42	0,37	0,1367	0,1388	1,50
20	06/05/2004	35,33	21,88	13,46	0,1530	0,1670	0,0560	0,0700	0,57	0,47	0,32	0,25	0,1696	0,1723	1,60
21	10/05/2004	46,50	32,74	13,76	0,1510	0,1755	0,0540	0,0785	0,76	0,62	0,46	0,35	0,1805	0,1863	3,14
22	10/05/2004	50,87	41,14	9,74	0,1375	0,1665	0,0405	0,0695	0,91	0,79	0,61	0,48	0,1800	0,1855	2,93
23	10/05/2004	29,63	25,78	3,85	0,1185	0,1305	0,0215	0,0335	0,62	0,57	0,49	0,43	0,1379	0,1426	3,29
24	10/05/2004	29,09	22,89	6,20	0,1295	0,1393	0,0325	0,0423	0,55	0,49	0,41	0,35	0,1452	0,1477	1,70
25	10/05/2004	28,72	19,13	9,59	0,1415	0,1530	0,0445	0,0560	0,50	0,43	0,31	0,25	0,1543	0,1579	2,25
26	10/05/2004	29,16	17,46	11,70	0,1485	0,1600	0,0515	0,0630	0,48	0,40	0,27	0,22	0,1605	0,1637	1,96
27	10/05/2004	25,58	16,72	8,86	0,1395	0,1500	0,0425	0,0530	0,45	0,39	0,28	0,23	0,1499	0,1539	2,54
28	10/05/2004	16,91	13,82	3,09	0,1169	0,1230	0,0199	0,0260	0,36	0,33	0,28	0,25	0,1234	0,1269	2,77
29	10/05/2004	35,46	28,21	7,25	0,1325	0,1465	0,0355	0,0495	0,66	0,58	0,48	0,40	0,1548	0,1580	2,07
30	10/05/2004	38,03	28,88	9,15	0,1400	0,1555	0,0430	0,0585	0,67	0,57	0,46	0,37	0,1629	0,1662	1,98

TABLA. 6.3.a. REGISTRO DE LABORATORIO VERTEDERO II

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.50m. P=0.097m. B=0.405m.															
PRUEBA	FECHA	Q₁ (l/s)	Q₂ (l/s)	Q_v (l/s)	y₁* (m)	y₂ (m)	h₁ (m)	h₂ (m)	V₁ (m/s)	F₁	V₂ (m/s)	F₂	E₁ (m)	E₂ (m)	ΔE (%)
31	10/05/2004	46,22	33,66	12,56	0,1520	0,1720	0,0550	0,0750	0,75	0,61	0,48	0,37	0,1807	0,1839	1,72
32	10/05/2004	25,41	20,89	4,52	0,1230	0,1315	0,0260	0,0345	0,51	0,46	0,39	0,35	0,1363	0,1393	2,21
33	11/05/2004	31,80	22,31	9,49	0,1425	0,1535	0,0455	0,0565	0,55	0,47	0,36	0,29	0,1580	0,1601	1,31
34	11/05/2004	35,37	23,04	12,33	0,1493	0,1645	0,0523	0,0675	0,58	0,48	0,35	0,27	0,1667	0,1706	2,26
35	11/05/2004	40,92	29,22	11,70	0,1515	0,1668	0,0545	0,0698	0,67	0,55	0,43	0,34	0,1742	0,1763	1,23
36	11/05/2004	38,40	29,74	8,67	0,1375	0,1525	0,0405	0,0555	0,69	0,59	0,48	0,39	0,1617	0,1643	1,57
37	11/05/2004	42,48	30,78	11,70	0,1425	0,1670	0,0455	0,0700	0,74	0,62	0,46	0,36	0,1701	0,1776	4,19
38	11/05/2004	17,79	9,12	8,67	0,1395	0,1470	0,0425	0,0500	0,31	0,27	0,15	0,13	0,1446	0,1482	2,46
39	11/05/2004	10,98	8,14	2,84	0,1150	0,1200	0,0180	0,0230	0,24	0,22	0,17	0,15	0,1178	0,1214	2,96
40	11/05/2004	13,41	8,79	4,62	0,1235	0,1300	0,0265	0,0330	0,27	0,24	0,17	0,15	0,1272	0,1314	3,24
41	11/05/2004	19,92	9,46	10,46	0,1447	0,1515	0,0477	0,0545	0,34	0,29	0,15	0,13	0,1506	0,1527	1,39
42	11/05/2004	18,67	12,74	5,94	0,1290	0,1360	0,0320	0,0390	0,36	0,32	0,23	0,20	0,1355	0,1387	2,32
43	11/05/2004	24,91	18,48	6,43	0,1310	0,1400	0,0340	0,0430	0,47	0,41	0,33	0,28	0,1422	0,1454	2,18
44	12/05/2004	34,22	27,23	7,00	0,1335	0,1460	0,0365	0,0490	0,63	0,55	0,46	0,38	0,1539	0,1568	1,84
45	12/05/2004	44,23	32,92	11,30	0,1435	0,1680	0,0465	0,0710	0,76	0,64	0,48	0,38	0,1730	0,1799	3,84
46	12/05/2004	44,42	37,09	7,33	0,1315	0,1530	0,0345	0,0560	0,83	0,73	0,60	0,49	0,1670	0,1713	2,51
47	12/05/2004	44,34	38,88	5,46	0,1215	0,1440	0,0245	0,0470	0,90	0,83	0,67	0,56	0,1629	0,1667	2,26
48	12/05/2004	44,51	37,68	6,83	0,1295	0,1520	0,0325	0,0550	0,85	0,75	0,61	0,50	0,1662	0,1711	2,85
49	12/05/2004	29,81	26,10	3,71	0,1195	0,1300	0,0225	0,0330	0,62	0,57	0,50	0,44	0,1388	0,1425	2,59
50	12/05/2004	35,88	28,38	7,50	0,1335	0,1480	0,0365	0,0510	0,66	0,58	0,47	0,39	0,1559	0,1594	2,18
51	12/05/2004	35,82	30,78	5,04	0,1215	0,1385	0,0245	0,0415	0,73	0,67	0,55	0,47	0,1485	0,1538	3,47
52	12/05/2004	29,99	27,23	2,77	0,1142	0,1240	0,0172	0,0270	0,65	0,61	0,54	0,49	0,1356	0,1390	2,41
53	12/05/2004	30,12	25,31	4,81	0,1225	0,1353	0,0255	0,0383	0,61	0,55	0,46	0,40	0,1413	0,1462	3,34
54	12/05/2004	22,80	19,39	3,40	0,1175	0,1255	0,0205	0,0285	0,48	0,45	0,38	0,34	0,1292	0,1329	2,80
55	14/05/2004	18,22	15,88	2,34	0,1120	0,1188	0,0150	0,0218	0,40	0,38	0,33	0,31	0,1202	0,1244	3,32
56	14/05/2004	17,88	12,27	5,60	0,1275	0,1350	0,0305	0,0380	0,35	0,31	0,22	0,20	0,1336	0,1376	2,88
57	14/05/2004	12,96	10,17	2,79	0,1145	0,1205	0,0175	0,0235	0,28	0,26	0,21	0,19	0,1185	0,1227	3,45
58	14/05/2004	7,81	3,79	4,03	0,1205	0,1250	0,0235	0,0280	0,16	0,15	0,07	0,07	0,1218	0,1253	2,78
59	14/05/2004	4,33	1,99	2,34	0,1135	0,1160	0,0165	0,0190	0,09	0,09	0,04	0,04	0,1140	0,1161	1,84

TABLA. 6.3.b. REGISTRO DE LABORATORIO VERTEDERO II

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.50m. P=0.043m. B=0.405m.																
PRUEBA	FECHA	Q ₁ (l/s)	Q ₂ (l/s)	Q _w (l/s)	y ₁ * (m)	y ₂ (m)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	V ₂ (m/s)	F ₂	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)	
1	17/05/2004	22,57	12,48	10,09	0,0870	0,1045	0,0440	0,0615	0,64	0,69	0,29	0,29	0,1079	0,1089	0,93	
2	17/05/2004	7,27	1,67	5,60	0,0745	0,0795	0,0315	0,0365	0,24	0,28	0,05	0,06	0,0775	0,0796	2,73	
3	17/05/2004	7,23	4,58	2,65	0,0605	0,0670	0,0175	0,0240	0,30	0,38	0,17	0,21	0,0649	0,0685	5,13	
4	17/05/2004	14,56	5,22	9,34	0,0870	0,0960	0,0440	0,0530	0,41	0,45	0,13	0,14	0,0957	0,0969	1,25	
5	17/05/2004	16,09	10,26	5,82	0,0720	0,0870	0,0290	0,0440	0,55	0,66	0,29	0,32	0,0875	0,0913	4,18	
6	18/05/2004	14,44	9,46	4,98	0,0695	0,0810	0,0265	0,0380	0,51	0,62	0,29	0,32	0,0829	0,0852	2,73	
7	18/05/2004	10,47	7,23	3,24	0,0623	0,0720	0,0193	0,0290	0,41	0,53	0,25	0,29	0,0711	0,0751	5,40	
8	18/05/2004	10,61	4,41	6,20	0,0755	0,0830	0,0325	0,0400	0,35	0,40	0,13	0,15	0,0816	0,0839	2,67	
9	18/05/2004	15,62	11,10	4,52	0,0667	0,0820	0,0237	0,0390	0,58	0,71	0,33	0,37	0,0837	0,0877	4,52	
10	18/05/2004	21,42	12,17	9,24	0,0855	0,1045	0,0425	0,0615	0,62	0,68	0,29	0,28	0,1050	0,1087	3,42	
11	18/05/2004	21,49	14,62	6,87	0,0685	0,0960	0,0255	0,0530	0,77	0,95	0,38	0,39	0,0991	0,1032	3,99	
12	18/05/2004	17,59	13,20	4,39	0,0665	0,0825	0,0235	0,0395	0,65	0,81	0,40	0,44	0,0883	0,0905	2,44	
13	18/05/2004	10,72	4,64	6,09	0,0757	0,0830	0,0327	0,0400	0,35	0,41	0,14	0,15	0,0819	0,0840	2,43	
14	18/05/2004	17,70	10,91	6,79	0,0775	0,0925	0,0345	0,0495	0,56	0,65	0,29	0,31	0,0937	0,0968	3,21	
15	19/05/2004	10,59	6,11	4,49	0,0690	0,0765	0,0260	0,0335	0,38	0,46	0,20	0,23	0,0763	0,0785	2,75	
16	19/05/2004	7,49	4,20	3,29	0,0640	0,0695	0,0210	0,0265	0,29	0,36	0,15	0,18	0,0683	0,0706	3,37	
17	19/05/2004	15,34	10,54	4,81	0,0695	0,0835	0,0265	0,0405	0,55	0,66	0,31	0,34	0,0846	0,0884	4,30	
18	19/05/2004	22,55	10,91	11,65	0,0950	0,1125	0,0520	0,0695	0,59	0,61	0,24	0,23	0,1125	0,1154	2,52	

TABLA. 6.4. REGISTRO DE LABORATORIO VERTEDERO III.

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.650m. P=0.126m. B=0.405m.															
PRUEBA	FECHA	Q₁ (l/s)	Q₂ (l/s)	Q_w (l/s)	y₁* (m)	y₂ (m)	h₁ (m)	h₂ (m)	V₁ (m/s)	F₁	V₂ (m/s)	F₂	E₁ (m)	E₂ (m)	ΔE (%)
1	24/05/2004	25,86	16,12	9,74	0,1630	0,1710	0,0370	0,0450	0,39	0,31	0,23	0,1797	0,1708	0,1738	1,69
2	24/05/2004	25,43	19,53	5,90	0,1515	0,1590	0,0255	0,0330	0,41	0,34	0,30	0,2428	0,1603	0,1637	2,10
3	24/05/2004	34,55	21,03	13,52	0,1725	0,1840	0,0465	0,0580	0,49	0,38	0,28	0,2100	0,1850	0,1881	1,65
4	24/05/2004	34,55	27,55	7,00	0,1545	0,1648	0,0285	0,0388	0,55	0,45	0,41	0,3247	0,1700	0,1735	1,99
5	24/05/2004	34,56	28,05	6,51	0,1520	0,1635	0,0260	0,0375	0,56	0,46	0,42	0,3344	0,1681	0,1726	2,65
6	24/05/2004	43,22	30,95	12,27	0,1685	0,1835	0,0425	0,0575	0,63	0,49	0,42	0,3104	0,1889	0,1923	1,77
7	24/05/2004	42,91	34,97	7,94	0,1560	0,1718	0,0300	0,0458	0,68	0,55	0,50	0,3871	0,1795	0,1847	2,80
8	24/05/2004	52,62	43,90	8,72	0,1595	0,1785	0,0335	0,0525	0,81	0,65	0,61	0,4589	0,1933	0,1973	2,02
9	25/05/2004	45,98	38,48	7,50	0,1519	0,1715	0,0259	0,0455	0,75	0,61	0,55	0,4271	0,1804	0,1871	3,62
10	25/05/2004	46,26	33,11	13,15	0,1685	0,1870	0,0425	0,0610	0,68	0,53	0,44	0,3228	0,1919	0,1967	2,45
11	25/05/2004	46,02	41,35	4,68	0,1435	0,1605	0,0175	0,0345	0,79	0,67	0,64	0,5069	0,1755	0,1811	3,12
12	25/05/2004	35,52	29,22	6,30	0,1560	0,1635	0,0300	0,0375	0,56	0,45	0,44	0,3485	0,1721	0,1734	0,76
13	25/05/2004	35,41	24,69	10,71	0,1695	0,1765	0,0435	0,0505	0,52	0,40	0,35	0,2625	0,1831	0,1826	-0,26
14	25/05/2004	36,17	20,61	15,56	0,1785	0,1885	0,0525	0,0625	0,50	0,38	0,27	0,1986	0,1913	0,1922	0,50
15	25/05/2004	36,31	31,31	5,01	0,1480	0,1580	0,0220	0,0320	0,61	0,50	0,49	0,3930	0,1667	0,1702	2,05
16	25/05/2004	48,98	34,59	14,39	0,1735	0,1930	0,0475	0,0670	0,70	0,53	0,44	0,3216	0,1983	0,2030	2,32
17	25/05/2004	48,87	40,10	8,76	0,1615	0,1765	0,0355	0,0505	0,75	0,59	0,56	0,4263	0,1899	0,1925	1,35
18	25/05/2004	48,76	41,77	7,00	0,1565	0,1700	0,0305	0,0440	0,77	0,62	0,61	0,4697	0,1867	0,1888	1,11
19	26/05/2004	11,28	7,98	3,30	0,1445	0,1470	0,0185	0,0210	0,19	0,16	0,13	0,1117	0,1464	0,1479	1,03
20	26/05/2004	18,10	8,46	9,64	0,1645	0,1692	0,0385	0,0432	0,27	0,21	0,12	0,0958	0,1683	0,1700	1,01
21	26/05/2004	18,07	12,68	5,39	0,1515	0,1560	0,0255	0,0300	0,29	0,24	0,20	0,1623	0,1559	0,1581	1,35
22	26/05/2004	17,86	15,30	2,56	0,1400	0,1440	0,0140	0,0180	0,31	0,27	0,26	0,2207	0,1451	0,1475	1,66
23	26/05/2004	29,53	18,22	11,31	0,1690	0,1765	0,0430	0,0505	0,43	0,34	0,25	0,1937	0,1785	0,1798	0,73
24	26/05/2004	28,50	21,45	7,05	0,1565	0,1630	0,0305	0,0370	0,45	0,36	0,32	0,2570	0,1668	0,1684	0,94
25	27/05/2004	28,66	24,69	3,97	0,1455	0,1520	0,0195	0,0260	0,49	0,41	0,40	0,3285	0,1576	0,1602	1,65
26	27/05/2004	41,96	29,22	12,74	0,1715	0,1820	0,0455	0,0560	0,60	0,47	0,40	0,2967	0,1901	0,1900	-0,05
27	27/05/2004	60,14	47,46	12,68	0,1650	0,1920	0,0390	0,0660	0,90	0,71	0,61	0,4447	0,2063	0,2110	2,23
28	27/05/2004	59,92	45,66	14,26	0,1715	0,1970	0,0455	0,0710	0,86	0,67	0,57	0,4117	0,2094	0,2137	1,99
29	27/05/2004	59,57	51,18	8,39	0,1565	0,1800	0,0305	0,0540	0,94	0,76	0,70	0,5283	0,2015	0,2051	1,75
30	27/05/2004	59,76	54,09	5,68	0,1435	0,1700	0,0175	0,0440	1,03	0,87	0,79	0,6083	0,1974	0,2015	2,01

TABLA. 6.5. REGISTRO DE LABORATORIO VERTEDERO IV.

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.650m. P=0.063m. B=0.405m.															
PRUEBA	FECHA	Q₁ (l/s)	Q₂ (l/s)	Q_w (l/s)	y1* (m)	y₂ (m)	h₁ (m)	h₂ (m)	V₁ (m/s)	F₁	V₂ (m/s)	F₂	E₁ (m)	E₂ (m)	ΔE (%)
1	28/05/2004	21,02	15,77	5,25	0,0895	0,1000	0,0265	0,0370	0,58	0,62	0,39	0,39	0,1066	0,1077	1,01
2	28/05/2004	21,06	17,71	3,35	0,0835	0,0920	0,0205	0,0290	0,62	0,69	0,48	0,50	0,1033	0,1035	0,24
3	28/05/2004	19,59	11,87	7,72	0,0965	0,1080	0,0335	0,0450	0,50	0,52	0,27	0,26	0,1093	0,1118	2,19
4	28/05/2004	28,74	17,97	10,77	0,1045	0,1220	0,0415	0,0590	0,68	0,67	0,36	0,33	0,1280	0,1287	0,57
5	28/05/2004	28,68	15,77	12,91	0,111	0,1260	0,0480	0,0630	0,64	0,61	0,31	0,28	0,1317	0,1309	-0,67
6	29/05/2004	21,32	12,27	9,05	0,102	0,1120	0,0390	0,0490	0,52	0,52	0,27	0,26	0,1156	0,1157	0,13
7	29/05/2004	30,63	16,24	14,39	0,1145	0,1340	0,0515	0,0710	0,66	0,62	0,30	0,26	0,1367	0,1386	1,32
8	29/05/2004	30,63	20,07	10,56	0,1045	0,1230	0,0415	0,0600	0,72	0,71	0,40	0,37	0,1312	0,1313	0,06
9	29/05/2004	23,65	19,26	4,39	0,0855	0,1000	0,0225	0,0370	0,68	0,75	0,48	0,48	0,1093	0,1115	2,02
10	29/05/2004	23,65	17,21	6,43	0,0905	0,1070	0,0275	0,0440	0,65	0,68	0,40	0,39	0,1117	0,1150	2,89
11	31/05/2004	23,87	13,20	10,67	0,1055	0,1170	0,0425	0,0540	0,56	0,55	0,28	0,26	0,1214	0,1210	-0,37
12	31/05/2004	23,69	10,17	13,52	0,1135	0,1240	0,0505	0,0610	0,52	0,49	0,20	0,18	0,1270	0,1261	-0,75
13	31/05/2004	13,10	10,54	2,56	0,0795	0,0830	0,0165	0,0200	0,41	0,46	0,31	0,35	0,0879	0,0880	0,09
14	31/05/2004	8,80	4,09	4,71	0,0893	0,0905	0,0263	0,0275	0,24	0,26	0,11	0,12	0,0923	0,0911	-1,30
15	31/05/2004	8,62	6,11	2,51	0,0811	0,0810	0,0181	0,0180	0,26	0,29	0,19	0,21	0,0846	0,0828	-2,23

TABLA. 6.6. REGISTRO DE LABORATORIO VERTEDERO V.

6.2. CALCULO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA

El coeficiente de descarga experimental de De Marchi C_M se calculó a través de la siguiente expresión

$$\Phi_{(y,E,P)} = \frac{2E-3P}{E-P} \sqrt{\frac{E-P}{y-P}} - 3\text{Sin}^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{E-P}}$$

$$C_M = \frac{3B}{2L} (\Phi_2 - \Phi_1)$$

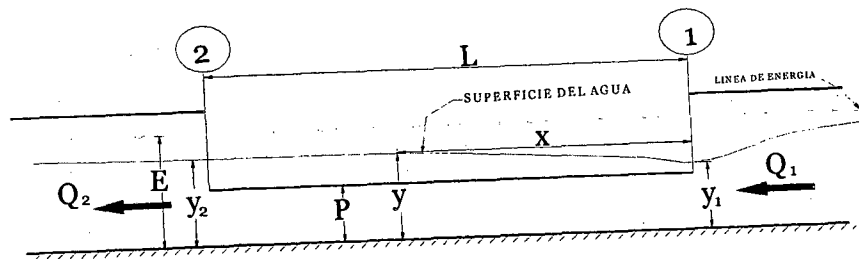


FIG. 6.5 Esquema de cálculo del coeficiente de descarga.

La energía específica esta referida a la sección 2

$$E = y_2 + \frac{Q_2^2}{B^2 y_2^2 2g}$$

El tirante y_2 es medido directamente con un limnómetro con una aproximación de 0.5mm.

El tirante aguas arriba debe ser calculado bajo la condición que la energía específica es constante a lo largo del vertedero según lo cual.

$$E = y_1 + \frac{Q_1^2}{B^2 y_1^2 2g}$$

Se debe notar que el valor de y_1 es calculado, se comparo con y_1^* (Tirante en la sección aguas arriba medido en los ensayos).

La descarga Q_2 , Q_w se midió con los vertederos triangulares instalados

Obteniendo el coeficiente de descarga lateral con la hipótesis de De Marchi.

El coeficiente de descarga global C_{dlg} se calculó de manera más sencilla y directa con la expresión.

$$Q_w = C_{d1g} \frac{2}{3} \sqrt{2g} (y_2 - P)^{3/2} L$$

$$C_{d1g} = \frac{Q_w}{\frac{2}{3} \sqrt{2g} (y_2 - P)^{3/2} L}$$

Donde Q_w es el caudal que descarga por el aliviadero medido con un vertedero de triangular de 27° .

y_2 es medido directamente con un limnómetro, como podemos observar C_{d1g} resulta como se menciona anteriormente un valor mucho más práctico y de aplicación más sencilla que el coeficiente C_M derivado por de Marchi.

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.50m. P=0.1485m. B=0.405m.															
PRUEBA	FECHA	Q ₁ (l/s)	Q ₂ (l/s)	Q _w (l/s)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	V ₂ (m/s)	F ₂	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
1	22/04/2004	41,77	28,38	13,39	0,2083	0,2154	0,0593	0,0664	0,50	0,35	0,33	0,22	0,2208	0,2208	0,00
2	22/04/2004	41,63	35,35	6,28	0,1867	0,1916	0,0377	0,0426	0,55	0,41	0,46	0,33	0,2022	0,2022	0,00
3	22/04/2004	42,14	34,59	7,54	0,1905	0,1960	0,0415	0,0470	0,55	0,40	0,44	0,31	0,2057	0,2057	0,00
4	22/04/2004	43,81	37,88	5,94	0,1854	0,1905	0,0364	0,0415	0,58	0,43	0,49	0,36	0,2028	0,2028	0,00
5	22/04/2004	41,93	38,08	3,85	0,1774	0,1810	0,0284	0,0320	0,58	0,44	0,52	0,39	0,1948	0,1948	0,00
6	22/04/2004	41,74	26,90	14,84	0,2138	0,2210	0,0648	0,0720	0,48	0,33	0,30	0,20	0,2256	0,2256	0,00
7	22/04/2004	45,08	35,54	9,54	0,1983	0,2050	0,0493	0,0560	0,56	0,40	0,43	0,30	0,2143	0,2143	0,00
8	22/04/2004	42,98	34,22	8,76	0,1938	0,2000	0,0448	0,0510	0,55	0,40	0,42	0,30	0,2091	0,2091	0,00
9	26/04/2004	39,90	33,66	6,24	0,1843	0,1890	0,0353	0,0400	0,53	0,40	0,44	0,32	0,1989	0,1989	0,00
10	26/04/2004	30,99	28,88	2,11	0,1664	0,1680	0,0174	0,0190	0,46	0,36	0,42	0,33	0,1772	0,1772	0,00
11	26/04/2004	41,15	30,43	10,72	0,2006	0,2070	0,0516	0,0580	0,51	0,36	0,36	0,25	0,2137	0,2137	0,00
12	26/04/2004	41,06	24,69	16,37	0,2166	0,2240	0,0676	0,0750	0,47	0,32	0,27	0,18	0,2278	0,2278	0,00
13	26/04/2004	30,33	22,66	7,67	0,1914	0,1950	0,0424	0,0460	0,39	0,29	0,29	0,21	0,1992	0,1992	0,00
14	26/04/2004	22,72	20,89	1,83	0,1640	0,1650	0,0150	0,0160	0,34	0,27	0,31	0,25	0,1700	0,1700	0,00
15	26/04/2004	31,17	21,73	9,44	0,1979	0,2020	0,0489	0,0530	0,39	0,28	0,27	0,19	0,2056	0,2056	0,00
16	28/04/2004	30,99	28,88	2,11	0,1664	0,1680	0,0174	0,0190	0,46	0,36	0,42	0,33	0,1772	0,1772	0,00
17	28/04/2004	41,15	30,43	10,72	0,2006	0,2070	0,0516	0,0580	0,51	0,36	0,36	0,25	0,2137	0,2137	0,00
18	28/04/2004	37,43	28,38	9,05	0,1943	0,1995	0,0453	0,0505	0,48	0,34	0,35	0,25	0,2058	0,2058	0,00
19	28/04/2004	38,04	31,84	6,20	0,1846	0,1890	0,0356	0,0400	0,51	0,38	0,42	0,31	0,1978	0,1978	0,00
20	28/04/2004	26,16	22,02	4,15	0,1774	0,1795	0,0284	0,0305	0,36	0,28	0,30	0,23	0,1842	0,1842	0,00
21	28/04/2004	32,19	24,69	7,50	0,1896	0,1935	0,0406	0,0445	0,42	0,31	0,32	0,23	0,1986	0,1986	0,00
22	28/04/2004	38,44	26,74	11,70	0,2029	0,2090	0,0539	0,0600	0,47	0,33	0,32	0,22	0,2141	0,2141	0,00
23	29/04/2004	40,17	36,12	4,06	0,1774	0,1810	0,0284	0,0320	0,56	0,42	0,49	0,37	0,1934	0,1934	0,00
24	29/04/2004	62,58	55,07	7,50	0,1945	0,2040	0,0455	0,0550	0,79	0,58	0,67	0,47	0,2266	0,2266	0,00
25	29/04/2004	55,20	45,66	9,54	0,1968	0,2060	0,0478	0,0570	0,69	0,50	0,55	0,38	0,2213	0,2213	0,00
26	29/04/2004	35,94	28,05	7,89	0,1912	0,1958	0,0422	0,0468	0,46	0,34	0,35	0,26	0,2022	0,2022	0,00
27	29/04/2004	49,25	34,22	15,03	0,2127	0,2220	0,0637	0,0730	0,57	0,40	0,38	0,26	0,2294	0,2294	0,00
28	29/04/2004	49,19	37,48	11,70	0,2014	0,2100	0,0524	0,0610	0,60	0,43	0,44	0,31	0,2199	0,2199	0,00
29	29/04/2004	49,23	34,97	14,26	0,2109	0,2200	0,0619	0,0710	0,58	0,40	0,39	0,27	0,2279	0,2279	0,00
30	29/04/2004	72,45	65,29	7,16	0,1912	0,2040	0,0422	0,0550	0,94	0,68	0,79	0,56	0,2358	0,2358	0,00

TABLA. 6.7. CALCULO DEL TIRANTE y₁ POR CONSERVACION DE LA ENERGIA VERTEDERO I.

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.50m. P=0.097m. B=0.405m.															
PRUEBA	FECHA	Q₁ (l/s)	Q₂ (l/s)	Q_w (l/s)	y₁ (m)	y₂ (m)	h₁ (m)	h₂ (m)	V₁ (m/s)	F₁	V₂ (m/s)	F₂	E₁ (m)	E₂ (m)	ΔE (%)
1	04/05/2004	24,98	11,10	13,89	0,1576	0,1640	0,0606	0,0670	0,39	0,31	0,17	0,13	0,1654	0,1654	0,00
2	04/05/2004	24,84	17,34	7,50	0,1380	0,1435	0,0410	0,0465	0,44	0,38	0,30	0,25	0,1480	0,1480	0,00
3	04/05/2004	34,38	22,16	12,21	0,1507	0,1610	0,0537	0,0640	0,56	0,46	0,34	0,27	0,1669	0,1669	0,00
4	04/05/2004	20,05	11,97	8,07	0,1402	0,1444	0,0432	0,0474	0,35	0,30	0,20	0,17	0,1465	0,1465	0,00
5	04/05/2004	10,32	6,17	4,15	0,1261	0,1275	0,0291	0,0305	0,20	0,18	0,12	0,11	0,1282	0,1282	0,00
6	04/05/2004	7,64	5,10	2,54	0,1173	0,1180	0,0203	0,0210	0,16	0,15	0,11	0,10	0,1186	0,1186	0,00
7	05/05/2004	16,81	10,54	6,28	0,1345	0,1375	0,0375	0,0405	0,31	0,27	0,19	0,16	0,1393	0,1393	0,00
8	05/05/2004	23,84	19,00	4,84	0,1276	0,1320	0,0306	0,0350	0,46	0,41	0,36	0,31	0,1384	0,1384	0,00
9	05/05/2004	29,78	20,34	9,44	0,1449	0,1525	0,0479	0,0555	0,51	0,43	0,33	0,27	0,1580	0,1580	0,00
10	05/05/2004	34,34	21,31	13,03	0,1554	0,1654	0,0584	0,0684	0,55	0,44	0,32	0,25	0,1706	0,1706	0,00
11	05/05/2004	56,81	45,66	11,15	0,1528	0,1745	0,0558	0,0775	0,92	0,75	0,65	0,49	0,1958	0,1958	0,00
12	05/05/2004	44,09	33,84	10,25	0,1480	0,1620	0,0510	0,0650	0,74	0,61	0,52	0,41	0,1756	0,1756	0,00
13	06/05/2004	48,61	34,97	13,64	0,1594	0,1760	0,0624	0,0790	0,75	0,60	0,49	0,37	0,1883	0,1883	0,00
14	06/05/2004	48,68	41,77	6,91	0,1368	0,1530	0,0398	0,0560	0,88	0,76	0,67	0,55	0,1762	0,1762	0,00
15	06/05/2004	54,03	43,26	10,77	0,1479	0,1690	0,0509	0,0720	0,90	0,75	0,63	0,49	0,1894	0,1894	0,00
16	06/05/2004	57,54	46,56	10,99	0,1494	0,1730	0,0524	0,0760	0,95	0,79	0,66	0,51	0,1955	0,1955	0,00
17	06/05/2004	57,86	44,34	13,52	0,1563	0,1800	0,0593	0,0830	0,91	0,74	0,61	0,46	0,1989	0,1989	0,00
18	06/05/2004	56,13	43,69	12,44	0,1520	0,1750	0,0550	0,0780	0,91	0,75	0,62	0,47	0,1944	0,1944	0,00
19	06/05/2004	26,21	21,88	4,33	0,1252	0,1300	0,0282	0,0330	0,52	0,47	0,42	0,37	0,1388	0,1388	0,00
20	06/05/2004	35,33	21,88	13,46	0,1565	0,1670	0,0595	0,0700	0,56	0,45	0,32	0,25	0,1723	0,1723	0,00
21	10/05/2004	46,50	32,74	13,76	0,1601	0,1755	0,0631	0,0785	0,72	0,57	0,46	0,35	0,1863	0,1863	0,00
22	10/05/2004	50,87	41,14	9,74	0,1495	0,1665	0,0525	0,0695	0,84	0,69	0,61	0,48	0,1855	0,1855	0,00
23	10/05/2004	29,63	25,78	3,85	0,1252	0,1305	0,0282	0,0335	0,58	0,53	0,49	0,43	0,1426	0,1426	0,00
24	10/05/2004	29,09	22,89	6,20	0,1328	0,1393	0,0358	0,0423	0,54	0,47	0,41	0,35	0,1477	0,1477	0,00
25	10/05/2004	28,72	19,13	9,59	0,1458	0,1530	0,0488	0,0560	0,49	0,41	0,31	0,25	0,1579	0,1579	0,00
26	10/05/2004	29,16	17,46	11,70	0,1523	0,1600	0,0553	0,0630	0,47	0,39	0,27	0,22	0,1637	0,1637	0,00
27	10/05/2004	25,58	16,72	8,86	0,1441	0,1500	0,0471	0,0530	0,44	0,37	0,28	0,23	0,1539	0,1539	0,00
28	10/05/2004	16,91	13,82	3,09	0,1208	0,1230	0,0238	0,0260	0,35	0,32	0,28	0,25	0,1269	0,1269	0,00
29	10/05/2004	35,46	28,21	7,25	0,1373	0,1465	0,0403	0,0495	0,64	0,55	0,48	0,40	0,1580	0,1580	0,00
30	10/05/2004	38,03	28,88	9,15	0,1448	0,1555	0,0478	0,0585	0,65	0,54	0,46	0,37	0,1662	0,1662	0,00

TABLA. 6.8.a. CALCULO DEL TIRANTE y_1 POR CONSERVACION DE LA ENERGIA VERTEDERO II.

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.50m. P=0.097m. B=0.405m.															
PRUEBA	FECHA	Q₁ (l/s)	Q₂ (l/s)	Q_w (l/s)	y₁ (m)	y₂ (m)	H₁ (m)	h₂ (m)	V₁ (m/s)	F₁	V₂ (m/s)	F₂	E₁ (m)	E₂ (m)	ΔE (%)
31	10/05/2004	46,22	33,66	12,56	0,1570	0,1720	0,0600	0,0750	0,73	0,59	0,48	0,37	0,1839	0,1839	0,00
32	10/05/2004	25,41	20,89	4,52	0,1269	0,1315	0,0299	0,0345	0,49	0,44	0,39	0,35	0,1393	0,1393	0,00
33	11/05/2004	31,80	22,31	9,49	0,1452	0,1535	0,0482	0,0565	0,54	0,45	0,36	0,29	0,1601	0,1601	0,00
34	11/05/2004	35,37	23,04	12,33	0,1543	0,1645	0,0573	0,0675	0,57	0,46	0,35	0,27	0,1706	0,1706	0,00
35	11/05/2004	40,92	29,22	11,70	0,1545	0,1668	0,0575	0,0698	0,65	0,53	0,43	0,34	0,1763	0,1763	0,00
36	11/05/2004	38,40	29,74	8,67	0,1414	0,1525	0,0444	0,0555	0,67	0,57	0,48	0,39	0,1643	0,1643	0,00
37	11/05/2004	42,48	30,78	11,70	0,1539	0,1670	0,0569	0,0700	0,68	0,55	0,46	0,36	0,1776	0,1776	0,00
38	11/05/2004	17,79	9,12	8,67	0,1434	0,1470	0,0464	0,0500	0,31	0,26	0,15	0,13	0,1482	0,1482	0,00
39	11/05/2004	10,98	8,14	2,84	0,1188	0,1200	0,0218	0,0230	0,23	0,21	0,17	0,15	0,1214	0,1214	0,00
40	11/05/2004	13,41	8,79	4,62	0,1280	0,1300	0,0310	0,0330	0,26	0,23	0,17	0,15	0,1314	0,1314	0,00
41	11/05/2004	19,92	9,46	10,46	0,1470	0,1515	0,0500	0,0545	0,33	0,28	0,15	0,13	0,1527	0,1527	0,00
42	11/05/2004	18,67	12,74	5,94	0,1326	0,1360	0,0356	0,0390	0,35	0,30	0,23	0,20	0,1387	0,1387	0,00
43	11/05/2004	24,91	18,48	6,43	0,1348	0,1400	0,0378	0,0430	0,46	0,40	0,33	0,28	0,1454	0,1454	0,00
44	12/05/2004	34,22	27,23	7,00	0,1376	0,1460	0,0406	0,0490	0,61	0,53	0,46	0,38	0,1568	0,1568	0,00
45	12/05/2004	44,23	32,92	11,30	0,1545	0,1680	0,0575	0,0710	0,71	0,57	0,48	0,38	0,1799	0,1799	0,00
46	12/05/2004	44,42	37,09	7,33	0,1400	0,1530	0,0430	0,0560	0,78	0,67	0,60	0,49	0,1713	0,1713	0,00
47	12/05/2004	44,34	38,88	5,46	0,1311	0,1440	0,0341	0,0470	0,84	0,74	0,67	0,56	0,1667	0,1667	0,00
48	12/05/2004	44,51	37,68	6,83	0,1394	0,1520	0,0424	0,0550	0,79	0,67	0,61	0,50	0,1711	0,1711	0,00
49	12/05/2004	29,81	26,10	3,71	0,1248	0,1300	0,0278	0,0330	0,59	0,53	0,50	0,44	0,1425	0,1425	0,00
50	12/05/2004	35,88	28,38	7,50	0,1386	0,1480	0,0416	0,0510	0,64	0,55	0,47	0,39	0,1594	0,1594	0,00
51	12/05/2004	35,82	30,78	5,04	0,1304	0,1385	0,0334	0,0415	0,68	0,60	0,55	0,47	0,1538	0,1538	0,00
52	12/05/2004	29,99	27,23	2,77	0,1194	0,1240	0,0224	0,0270	0,62	0,57	0,54	0,49	0,1390	0,1390	0,00
53	12/05/2004	30,12	25,31	4,81	0,1293	0,1353	0,0323	0,0383	0,58	0,51	0,46	0,40	0,1462	0,1462	0,00
54	12/05/2004	22,80	19,39	3,40	0,1221	0,1255	0,0251	0,0285	0,46	0,42	0,38	0,34	0,1329	0,1329	0,00
55	14/05/2004	18,22	15,88	2,34	0,1168	0,1188	0,0198	0,0218	0,39	0,36	0,33	0,31	0,1244	0,1244	0,00
56	14/05/2004	17,88	12,27	5,60	0,1319	0,1350	0,0349	0,0380	0,33	0,29	0,22	0,20	0,1376	0,1376	0,00
57	14/05/2004	12,96	10,17	2,79	0,1190	0,1205	0,0220	0,0235	0,27	0,25	0,21	0,19	0,1227	0,1227	0,00
58	14/05/2004	7,81	3,79	4,03	0,1241	0,1250	0,0271	0,0280	0,16	0,14	0,07	0,07	0,1253	0,1253	0,00
59	14/05/2004	4,33	1,99	2,34	0,1157	0,1160	0,0187	0,0190	0,09	0,09	0,04	0,04	0,1161	0,1161	0,00

TABLA. 6.8.b. CALCULO DEL TIRANTE y₁ POR CONSERVACION DE LA ENERGIA VERTEDERO II.

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.50m. P=0.043m. B=0.405m.

PRUEBA	FECHA	Q ₁ (l/s)	Q ₂ (l/s)	Q _w (l/s)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	V ₂ (m/s)	F ₂	E ₁ (m)	E ₂ (m)	DE (%)
1	17/05/2004	22,57	12,48	10,09	0,0889	0,1045	0,0459	0,0615	0,63	0,67	0,29	0,29	0,1089	0,1089	0,00
2	17/05/2004	7,27	1,67	5,60	0,0769	0,0795	0,0339	0,0365	0,23	0,27	0,05	0,06	0,0796	0,0796	0,00
3	17/05/2004	7,23	4,58	2,65	0,0646	0,0670	0,0216	0,0240	0,28	0,35	0,17	0,21	0,0685	0,0685	0,00
4	17/05/2004	14,56	5,22	9,34	0,0885	0,0960	0,0455	0,0530	0,41	0,44	0,13	0,14	0,0969	0,0969	0,00
5	17/05/2004	16,09	10,26	5,82	0,0782	0,0870	0,0352	0,0440	0,51	0,58	0,29	0,32	0,0913	0,0913	0,00
6	18/05/2004	14,44	9,46	4,98	0,0731	0,0810	0,0301	0,0380	0,49	0,58	0,29	0,32	0,0852	0,0852	0,00
7	18/05/2004	10,47	7,23	3,24	0,0677	0,0720	0,0247	0,0290	0,38	0,47	0,25	0,29	0,0751	0,0751	0,00
8	18/05/2004	10,61	4,41	6,20	0,0781	0,0830	0,0351	0,0400	0,34	0,38	0,13	0,15	0,0839	0,0839	0,00
9	18/05/2004	15,62	11,10	4,52	0,0738	0,0820	0,0308	0,0390	0,52	0,61	0,33	0,37	0,0877	0,0877	0,00
10	18/05/2004	21,42	12,17	9,24	0,0918	0,1045	0,0488	0,0615	0,58	0,61	0,29	0,28	0,1087	0,1087	0,00
11	18/05/2004	21,49	14,62	6,87	0,0817	0,0960	0,0387	0,0530	0,65	0,73	0,38	0,39	0,1032	0,1032	0,00
12	18/05/2004	17,59	13,20	4,39	0,0718	0,0825	0,0288	0,0395	0,61	0,72	0,40	0,44	0,0905	0,0905	0,00
13	18/05/2004	10,72	4,64	6,09	0,0781	0,0830	0,0351	0,0400	0,34	0,39	0,14	0,15	0,0840	0,0840	0,00
14	18/05/2004	17,70	10,91	6,79	0,0825	0,0925	0,0395	0,0495	0,53	0,59	0,29	0,31	0,0968	0,0968	0,00
15	19/05/2004	10,59	6,11	4,49	0,0717	0,0765	0,0287	0,0335	0,36	0,43	0,20	0,23	0,0785	0,0785	0,00
16	19/05/2004	7,49	4,20	3,29	0,0667	0,0695	0,0237	0,0265	0,28	0,34	0,15	0,18	0,0706	0,0706	0,00
17	19/05/2004	15,34	10,54	4,81	0,0757	0,0835	0,0327	0,0405	0,50	0,58	0,31	0,34	0,0884	0,0884	0,00
18	19/05/2004	22,55	10,91	11,65	0,0994	0,1125	0,0564	0,0695	0,56	0,57	0,24	0,23	0,1154	0,1154	0,00

TABLA. 6.9. CALCULO DEL TIRANTE y₁ POR CONSERVACION DE LA ENERGIA VERTEDERO III.

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.650m. P=0.126m. B=0.405m.															
PRUEBA	FECHA	Q₁ (l/s)	Q₂ (l/s)	Q_w (l/s)	y₁ (m)	y₂ (m)	h₁ (m)	h₂ (m)	V₁ (m/s)	F₁	V₂ (m/s)	F₂	E₁ (m)	E₂ (m)	ΔE (%)
1	24/05/2004	25,86	16,12	9,74	0,1662	0,1710	0,0406	0,0454	0,38	0,30	0,23	0,1797	0,1738	0,1738	0,00
2	24/05/2004	25,43	19,53	5,90	0,1554	0,1590	0,0298	0,0334	0,40	0,33	0,30	0,2428	0,1637	0,1637	0,00
3	24/05/2004	34,55	21,03	13,52	0,1761	0,1840	0,0505	0,0584	0,48	0,37	0,28	0,2100	0,1881	0,1881	0,00
4	24/05/2004	34,55	27,55	7,00	0,1588	0,1648	0,0332	0,0392	0,54	0,43	0,41	0,3247	0,1735	0,1735	0,00
5	24/05/2004	34,56	28,05	6,51	0,1577	0,1635	0,0321	0,0379	0,54	0,43	0,42	0,3344	0,1726	0,1726	0,00
6	24/05/2004	43,22	30,95	12,27	0,1729	0,1835	0,0473	0,0579	0,62	0,47	0,42	0,3104	0,1923	0,1923	0,00
7	24/05/2004	42,91	34,97	7,94	0,1632	0,1718	0,0376	0,0462	0,65	0,51	0,50	0,3871	0,1847	0,1847	0,00
8	24/05/2004	52,62	43,90	8,72	0,1661	0,1785	0,0405	0,0529	0,78	0,61	0,61	0,4589	0,1973	0,1973	0,00
9	25/05/2004	45,98	38,48	7,50	0,1622	0,1715	0,0366	0,0459	0,70	0,56	0,55	0,4271	0,1871	0,1871	0,00
10	25/05/2004	46,26	33,11	13,15	0,1750	0,1870	0,0494	0,0614	0,65	0,50	0,44	0,3228	0,1967	0,1967	0,00
11	25/05/2004	46,02	41,35	4,68	0,1530	0,1605	0,0274	0,0349	0,74	0,61	0,64	0,5069	0,1811	0,1811	0,00
12	25/05/2004	35,52	29,22	6,30	0,1577	0,1635	0,0321	0,0379	0,56	0,45	0,44	0,3485	0,1734	0,1734	0,00
13	25/05/2004	35,41	24,69	10,71	0,1689	0,1765	0,0433	0,0509	0,52	0,40	0,35	0,2625	0,1826	0,1826	0,00
14	25/05/2004	36,17	20,61	15,56	0,1796	0,1885	0,0540	0,0629	0,50	0,37	0,27	0,1986	0,1922	0,1922	0,00
15	25/05/2004	36,31	31,31	5,01	0,1526	0,1580	0,0270	0,0324	0,59	0,48	0,49	0,3930	0,1702	0,1702	0,00
16	25/05/2004	48,98	34,59	14,39	0,1800	0,1930	0,0544	0,0674	0,67	0,51	0,44	0,3216	0,2030	0,2030	0,00
17	25/05/2004	48,87	40,10	8,76	0,1654	0,1765	0,0398	0,0509	0,73	0,57	0,56	0,4263	0,1925	0,1925	0,00
18	25/05/2004	48,76	41,77	7,00	0,1598	0,1700	0,0342	0,0444	0,75	0,60	0,61	0,4697	0,1888	0,1888	0,00
19	26/05/2004	11,28	7,98	3,30	0,1461	0,1470	0,0205	0,0214	0,19	0,16	0,13	0,1117	0,1479	0,1479	0,00
20	26/05/2004	18,10	8,46	9,64	0,1663	0,1692	0,0407	0,0436	0,27	0,21	0,12	0,0958	0,1700	0,1700	0,00
21	26/05/2004	18,07	12,68	5,39	0,1538	0,1560	0,0282	0,0304	0,29	0,24	0,20	0,1623	0,1581	0,1581	0,00
22	26/05/2004	17,86	15,30	2,56	0,1426	0,1440	0,0170	0,0184	0,31	0,26	0,26	0,2207	0,1475	0,1475	0,00
23	26/05/2004	29,53	18,22	11,31	0,1705	0,1765	0,0449	0,0509	0,43	0,33	0,25	0,1937	0,1798	0,1798	0,00
24	26/05/2004	28,50	21,45	7,05	0,1583	0,1630	0,0327	0,0374	0,44	0,36	0,32	0,2570	0,1684	0,1684	0,00
25	27/05/2004	28,66	24,69	3,97	0,1487	0,1520	0,0231	0,0264	0,48	0,39	0,40	0,3285	0,1602	0,1602	0,00
26	27/05/2004	41,96	29,22	12,74	0,1714	0,1820	0,0458	0,0564	0,60	0,47	0,40	0,2967	0,1900	0,1900	0,00
27	27/05/2004	60,14	47,46	12,68	0,1738	0,1920	0,0482	0,0664	0,85	0,65	0,61	0,4447	0,2110	0,2110	0,00
28	27/05/2004	59,92	45,66	14,26	0,1788	0,1970	0,0532	0,0714	0,83	0,62	0,57	0,4117	0,2137	0,2137	0,00
29	27/05/2004	59,57	51,18	8,39	0,1642	0,1800	0,0386	0,0544	0,90	0,71	0,70	0,5283	0,2051	0,2051	0,00
30	27/05/2004	59,76	54,09	5,68	0,1556	0,1700	0,0300	0,0444	0,95	0,77	0,79	0,6083	0,2014	0,2015	0,00

TABLA. 6.10. CALCULO DEL TIRANTE y₁ POR CONSERVACION DE LA ENERGIA VERTEDERO IV.

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO SOBRE UN VERTEDERO LATERAL

L=0.650m. P=0.063m. B=0.405m.

PRUEBA	FECHA	Q ₁ (l/s)	Q ₂ (l/s)	Q _w (l/s)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	V ₂ (m/s)	F ₂	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
1	28/05/2004	21,02	15,77	5,25	0,09124	0,1000	0,0282	0,0370	0,57	0,60	0,39	0,39	0,1077	0,1077	0,00
2	28/05/2004	21,06	17,71	3,35	0,08397	0,0920	0,0210	0,0290	0,62	0,68	0,48	0,50	0,1035	0,1035	0,00
3	28/05/2004	19,59	11,87	7,72	0,09977	0,1080	0,0368	0,0450	0,48	0,49	0,27	0,26	0,1118	0,1118	0,00
4	28/05/2004	28,74	17,97	10,77	0,10582	0,1220	0,0428	0,0590	0,67	0,66	0,36	0,33	0,1287	0,1287	0,00
5	28/05/2004	28,68	15,77	12,91	0,10958	0,1260	0,0466	0,0630	0,65	0,62	0,31	0,28	0,1309	0,1309	0,00
6	29/05/2004	21,32	12,27	9,05	0,10221	0,1120	0,0392	0,0490	0,52	0,51	0,27	0,26	0,1157	0,1157	0,00
7	29/05/2004	30,63	16,24	14,39	0,11742	0,1340	0,0544	0,0710	0,64	0,60	0,30	0,26	0,1386	0,1386	0,00
8	29/05/2004	30,63	20,07	10,56	0,10466	0,1230	0,0417	0,0600	0,72	0,71	0,40	0,37	0,1313	0,1313	0,00
9	29/05/2004	23,65	19,26	4,39	0,09013	0,1000	0,0271	0,0370	0,65	0,69	0,48	0,48	0,1115	0,1115	0,00
10	29/05/2004	23,65	17,21	6,43	0,09631	0,1070	0,0333	0,0440	0,61	0,62	0,40	0,39	0,1150	0,1150	0,00
11	31/05/2004	23,87	13,20	10,67	0,10485	0,1170	0,0419	0,0540	0,56	0,55	0,28	0,26	0,1210	0,1210	0,00
12	31/05/2004	23,69	10,17	13,52	0,11225	0,1240	0,0493	0,0610	0,52	0,50	0,20	0,18	0,1261	0,1261	0,00
13	31/05/2004	13,10	10,54	2,56	0,0796	0,0830	0,0166	0,0200	0,41	0,46	0,31	0,35	0,0880	0,0880	0,00
14	31/05/2004	8,80	4,09	4,71	0,08803	0,0905	0,0250	0,0275	0,25	0,27	0,11	0,12	0,0911	0,0911	0,00
15	31/05/2004	8,62	6,11	2,51	0,07907	0,0810	0,0161	0,0180	0,27	0,31	0,19	0,21	0,0828	0,0828	0,00

TABLA. 6.11. CALCULO DEL TIRANTE y_1 POR CONSERVACION DE LA ENERGIA VERTEDERO V.

INVESTIGACION DEL COEFICIENTE DE DESCARGA EN VERTEDEROS LATERALES																	
L=0.50m. P=0.1485m. B=0.405m.																	
PRUEBA	y ₁ (m)	y ₂ (m)	E(m)	F ₁	P/y ₁	Φ ₁	Φ ₂	C _M (exper.)	C _{dlg} (exper.)	C _M							
										SUBRAM. (1972)	NADESAM. (1972)	YU TECH (1972)	RANGA (1979)	CHEONG (1991)	SINGH (1994)	SILVA (1997)	BORGHEI (1999)
1	0,2083	0,2154	0,2208	0,35	0,71	-1,311	-0,845	0,566	0,524	0,557	0,565	0,546	0,602	0,635	0,617	0,524	0,394
2	0,1867	0,1916	0,2022	0,41	0,80	-2,185	-1,760	0,517	0,475	0,536	0,551	0,532	0,566	0,620	0,646	0,541	0,340
3	0,1905	0,1960	0,2057	0,40	0,78	-1,985	-1,542	0,539	0,494	0,539	0,553	0,534	0,570	0,622	0,640	0,537	0,348
4	0,1854	0,1905	0,2028	0,43	0,80	-2,306	-1,885	0,512	0,467	0,527	0,545	0,526	0,550	0,613	0,645	0,540	0,326
5	0,1774	0,1810	0,1948	0,44	0,84	-2,916	-2,518	0,484	0,445	0,523	0,543	0,524	0,545	0,610	0,661	0,547	0,311
6	0,2138	0,2210	0,2256	0,33	0,69	-1,177	-0,722	0,553	0,515	0,561	0,568	0,549	0,610	0,638	0,610	0,519	0,406
7	0,1983	0,2050	0,2143	0,40	0,75	-1,695	-1,262	0,525	0,481	0,538	0,552	0,533	0,569	0,622	0,625	0,530	0,356
8	0,1938	0,2000	0,2091	0,40	0,77	-1,840	-1,383	0,555	0,508	0,540	0,553	0,534	0,572	0,623	0,634	0,534	0,354
9	0,1843	0,1890	0,1989	0,40	0,81	-2,309	-1,843	0,566	0,518	0,540	0,553	0,534	0,571	0,623	0,653	0,543	0,342
10	0,1664	0,1680	0,1772	0,36	0,89	-4,444	-3,985	0,558	0,524	0,552	0,562	0,543	0,594	0,632	0,702	0,562	0,334
11	0,2006	0,2070	0,2137	0,36	0,74	-1,531	-1,074	0,556	0,513	0,552	0,562	0,542	0,593	0,632	0,628	0,530	0,379
12	0,2166	0,2240	0,2278	0,32	0,69	-1,103	-0,632	0,572	0,534	0,564	0,570	0,551	0,617	0,641	0,608	0,517	0,414
13	0,1914	0,1950	0,1992	0,29	0,78	-1,606	-1,154	0,549	0,518	0,574	0,578	0,559	0,639	0,648	0,659	0,534	0,404
14	0,1640	0,1650	0,1700	0,27	0,91	-4,711	-4,207	0,613	0,586	0,578	0,581	0,563	0,648	0,651	0,725	0,554	0,373
15	0,1979	0,2020	0,2056	0,28	0,75	-1,366	-0,917	0,546	0,517	0,576	0,579	0,561	0,643	0,649	0,647	0,528	0,415
16	0,1664	0,1680	0,1772	0,36	0,89	-4,444	-3,985	0,558	0,524	0,552	0,562	0,543	0,594	0,632	0,702	0,562	0,334
17	0,2006	0,2070	0,2137	0,36	0,74	-1,531	-1,074	0,556	0,513	0,552	0,562	0,542	0,593	0,632	0,628	0,530	0,379
18	0,1943	0,1995	0,2058	0,34	0,76	-1,693	-1,221	0,574	0,532	0,557	0,565	0,546	0,603	0,636	0,643	0,536	0,379
19	0,1846	0,1890	0,1978	0,38	0,80	-2,242	-1,782	0,559	0,515	0,546	0,558	0,539	0,583	0,628	0,656	0,544	0,351
20	0,1774	0,1795	0,1842	0,28	0,84	-2,396	-1,951	0,541	0,514	0,576	0,580	0,561	0,644	0,650	0,690	0,544	0,390
21	0,1896	0,1935	0,1986	0,31	0,78	-1,762	-1,295	0,567	0,532	0,568	0,573	0,554	0,626	0,644	0,658	0,538	0,392
22	0,2029	0,2090	0,2141	0,33	0,73	-1,395	-0,923	0,573	0,533	0,561	0,568	0,549	0,611	0,639	0,629	0,528	0,395
23	0,1774	0,1810	0,1934	0,42	0,84	-2,886	-2,466	0,510	0,469	0,530	0,547	0,528	0,556	0,616	0,664	0,549	0,320
24	0,1945	0,2040	0,2266	0,58	0,76	-2,006	-1,642	0,443	0,389	0,463	0,512	0,495	0,465	0,566	0,601	0,505	0,269
25	0,1968	0,2060	0,2213	0,50	0,75	-1,883	-1,448	0,529	0,468	0,500	0,529	0,512	0,511	0,593	0,610	0,518	0,309
26	0,1912	0,1958	0,2022	0,34	0,78	-1,797	-1,337	0,559	0,520	0,559	0,567	0,547	0,607	0,637	0,650	0,538	0,378
27	0,2127	0,2220	0,2294	0,40	0,70	-1,329	-0,869	0,560	0,511	0,540	0,554	0,535	0,573	0,623	0,601	0,517	0,375
28	0,2014	0,2100	0,2199	0,43	0,74	-1,651	-1,177	0,577	0,520	0,528	0,546	0,527	0,553	0,614	0,614	0,524	0,347
29	0,2109	0,2200	0,2279	0,40	0,70	-1,373	-0,917	0,554	0,505	0,539	0,552	0,534	0,570	0,622	0,603	0,518	0,371
30	0,1912	0,2040	0,2358	0,68	0,78	-2,083	-1,718	0,443	0,371	0,402	0,488	0,471	0,400	0,521	0,588	0,482	0,213

TABLA 6.12. CALCULO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA MEDIDOS Y CALCULADOS MEDIANTE EXPRESIONES ANTERIORES VERTEDERO I.

INVESTIGACION DEL COEFICIENTE DE DESCARGA EN VERTEDEROS LATERALES																	
L=0.50m. P=0.097m. B=0.405m.																	
PRUEBA	y ₁ (m)	y ₂ (m)	E(m)	F ₁	P/y ₁	Φ ₁	Φ ₂	C _M (exper.)	C _{dtg} (exper.)	C _M							
										SUBRAM. (1972)	NADESAM. (1972)	YU TECH (1972)	RANGA (1979)	CHEONG (1991)	SINGH (1994)	SILVA (1997)	BORGHEI (1999)
1	0,1576	0,1640	0,1654	0,31	0,62	-0,825	-0,349	0,578	0,542	0,566	0,572	0,553	0,621	0,642	0,575	0,508	0,438
2	0,1380	0,1435	0,1480	0,38	0,70	-1,332	-0,877	0,552	0,507	0,545	0,557	0,538	0,581	0,627	0,606	0,534	0,380
3	0,1507	0,1610	0,1669	0,46	0,64	-1,169	-0,698	0,573	0,511	0,515	0,538	0,520	0,532	0,604	0,562	0,514	0,359
4	0,1402	0,1444	0,1465	0,30	0,69	-1,083	-0,619	0,564	0,530	0,570	0,575	0,556	0,629	0,645	0,615	0,526	0,422
5	0,1261	0,1275	0,1282	0,18	0,77	-1,078	-0,631	0,544	0,527	0,596	0,597	0,582	0,701	0,664	0,674	0,503	0,456
6	0,1173	0,1180	0,1186	0,15	0,83	-1,385	-0,909	0,579	0,565	0,601	0,601	0,589	0,720	0,668	0,708	0,489	0,454
7	0,1345	0,1375	0,1393	0,27	0,72	-1,142	-0,689	0,550	0,522	0,578	0,581	0,563	0,649	0,651	0,635	0,527	0,429
8	0,1276	0,1320	0,1384	0,41	0,76	-1,814	-1,362	0,550	0,501	0,534	0,550	0,531	0,563	0,619	0,628	0,548	0,348
9	0,1449	0,1525	0,1580	0,43	0,67	-1,232	-0,787	0,540	0,489	0,529	0,547	0,528	0,555	0,615	0,581	0,524	0,369
10	0,1554	0,1654	0,1706	0,44	0,62	-1,067	-0,617	0,547	0,493	0,523	0,543	0,524	0,545	0,611	0,556	0,510	0,375
11	0,1528	0,1745	0,1958	0,75	0,63	-1,267	-0,914	0,428	0,350	0,357	0,474	0,456	0,360	0,490	0,506	0,461	0,224
12	0,1480	0,1620	0,1756	0,61	0,66	-1,340	-0,936	0,491	0,419	0,444	0,504	0,487	0,444	0,552	0,541	0,497	0,284
13	0,1594	0,1760	0,1883	0,60	0,61	-1,155	-0,757	0,484	0,416	0,449	0,505	0,489	0,449	0,555	0,520	0,482	0,302
14	0,1368	0,1530	0,1762	0,76	0,71	-1,577	-1,216	0,439	0,353	0,351	0,473	0,454	0,355	0,485	0,541	0,484	0,197
15	0,1479	0,1690	0,1894	0,75	0,66	-1,346	-0,961	0,467	0,378	0,358	0,475	0,456	0,361	0,490	0,517	0,468	0,218
16	0,1494	0,1730	0,1955	0,79	0,65	-1,308	-0,942	0,444	0,355	0,331	0,468	0,448	0,339	0,471	0,507	0,457	0,202
17	0,1563	0,1800	0,1989	0,74	0,62	-1,222	-0,835	0,470	0,383	0,365	0,477	0,459	0,367	0,495	0,501	0,458	0,233
18	0,1520	0,1750	0,1944	0,75	0,64	-1,280	-0,887	0,478	0,387	0,359	0,475	0,457	0,362	0,491	0,508	0,462	0,224
19	0,1252	0,1300	0,1388	0,47	0,77	-2,045	-1,596	0,546	0,489	0,513	0,537	0,519	0,530	0,603	0,626	0,550	0,318
20	0,1565	0,1670	0,1723	0,45	0,62	-1,061	-0,611	0,547	0,492	0,520	0,541	0,523	0,540	0,608	0,553	0,508	0,372
21	0,1601	0,1755	0,1863	0,57	0,61	-1,129	-0,727	0,488	0,424	0,464	0,512	0,495	0,467	0,567	0,524	0,487	0,318
22	0,1495	0,1665	0,1855	0,69	0,65	-1,327	-0,972	0,431	0,360	0,395	0,486	0,468	0,394	0,516	0,523	0,478	0,246
23	0,1252	0,1305	0,1426	0,53	0,77	-2,095	-1,701	0,479	0,425	0,487	0,523	0,505	0,494	0,583	0,615	0,544	0,289
24	0,1328	0,1393	0,1477	0,47	0,73	-1,664	-1,219	0,542	0,483	0,510	0,535	0,517	0,526	0,601	0,603	0,538	0,327
25	0,1458	0,1530	0,1579	0,41	0,67	-1,182	-0,740	0,537	0,490	0,536	0,551	0,532	0,566	0,620	0,583	0,524	0,379
26	0,1523	0,1600	0,1637	0,39	0,64	-1,030	-0,581	0,546	0,501	0,543	0,556	0,537	0,578	0,626	0,572	0,516	0,397
27	0,1441	0,1500	0,1539	0,37	0,67	-1,150	-0,712	0,533	0,492	0,550	0,560	0,541	0,589	0,630	0,594	0,527	0,395
28	0,1208	0,1230	0,1269	0,32	0,80	-2,031	-1,594	0,531	0,499	0,565	0,571	0,552	0,620	0,642	0,666	0,553	0,381
29	0,1373	0,1465	0,1580	0,55	0,71	-1,572	-1,151	0,512	0,446	0,476	0,518	0,501	0,480	0,575	0,577	0,523	0,298
30	0,1448	0,1555	0,1662	0,54	0,67	-1,370	-0,957	0,501	0,438	0,478	0,519	0,502	0,483	0,577	0,560	0,512	0,312

TABLA. 6.13.a CALCULO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA MEDIDO Y MEDIANTE EXPRESIONES ANTERIORES VERTEDERO II.

INVESTIGACION DEL COEFICIENTE DE DESCARGA EN VERTEDEROS LATERALES																	
L=0.50m. P=0.097m. B=0.405m.																	
PRUEBA	y ₁ (m)	y ₂ (m)	E(m)	F ₁	P/y ₁	Φ ₁	Φ ₂	C _M (exper.)	C _{dig} (exper.)	C _M							
										SUBRAM.	NADESAM.	YU TECH	RANGA	CHEONG	SINGH	SILVA	BORGHEI
										(1972)	(1972)	(1972)	(1979)	(1991)	(1994)	(1997)	(1999)
31	0,1570	0,1720	0,1839	0,59	0,62	-1,179	-0,785	0,479	0,414	0,457	0,509	0,492	0,458	0,562	0,527	0,489	0,307
32	0,1269	0,1315	0,1393	0,44	0,76	-1,908	-1,473	0,528	0,477	0,523	0,542	0,524	0,544	0,610	0,625	0,548	0,332
33	0,1452	0,1535	0,1601	0,45	0,67	-1,266	-0,828	0,533	0,478	0,519	0,540	0,522	0,538	0,607	0,576	0,522	0,356
34	0,1543	0,1645	0,1706	0,46	0,63	-1,107	-0,671	0,530	0,476	0,516	0,538	0,520	0,534	0,605	0,555	0,510	0,365
35	0,1545	0,1668	0,1763	0,53	0,63	-1,176	-0,775	0,488	0,430	0,485	0,522	0,505	0,491	0,582	0,542	0,501	0,331
36	0,1414	0,1525	0,1643	0,57	0,69	-1,468	-1,039	0,521	0,449	0,466	0,513	0,496	0,468	0,568	0,564	0,513	0,295
37	0,1539	0,1670	0,1776	0,55	0,63	-1,206	-0,802	0,490	0,428	0,473	0,516	0,499	0,477	0,573	0,539	0,498	0,319
38	0,1434	0,1470	0,1482	0,26	0,68	-0,898	-0,444	0,551	0,525	0,581	0,583	0,565	0,655	0,653	0,615	0,515	0,447
39	0,1188	0,1200	0,1214	0,21	0,82	-1,696	-1,225	0,572	0,551	0,591	0,592	0,576	0,683	0,660	0,692	0,526	0,428
40	0,1280	0,1300	0,1314	0,23	0,76	-1,232	-0,783	0,545	0,522	0,587	0,588	0,571	0,672	0,657	0,660	0,524	0,436
41	0,1470	0,1515	0,1527	0,28	0,66	-0,890	-0,406	0,588	0,557	0,576	0,579	0,561	0,643	0,649	0,603	0,515	0,442
42	0,1326	0,1360	0,1387	0,30	0,73	-1,319	-0,861	0,556	0,522	0,569	0,574	0,555	0,627	0,644	0,634	0,536	0,408
43	0,1348	0,1400	0,1454	0,40	0,72	-1,464	-1,024	0,534	0,489	0,540	0,553	0,534	0,572	0,623	0,611	0,539	0,368
44	0,1376	0,1460	0,1568	0,53	0,71	-1,548	-1,140	0,497	0,437	0,486	0,522	0,505	0,493	0,583	0,580	0,525	0,309
45	0,1545	0,1680	0,1799	0,57	0,63	-1,209	-0,827	0,465	0,405	0,463	0,512	0,495	0,465	0,566	0,534	0,494	0,310
46	0,1400	0,1530	0,1713	0,67	0,69	-1,528	-1,160	0,446	0,375	0,411	0,491	0,474	0,409	0,527	0,549	0,498	0,245
47	0,1311	0,1440	0,1667	0,74	0,74	-1,767	-1,399	0,447	0,363	0,367	0,477	0,459	0,368	0,496	0,560	0,498	0,199
48	0,1394	0,1520	0,1711	0,67	0,70	-1,541	-1,190	0,426	0,359	0,407	0,490	0,473	0,406	0,525	0,550	0,498	0,242
49	0,1248	0,1300	0,1425	0,53	0,78	-2,126	-1,737	0,472	0,419	0,484	0,521	0,504	0,490	0,581	0,615	0,544	0,285
50	0,1386	0,1480	0,1594	0,55	0,70	-1,532	-1,115	0,506	0,441	0,476	0,518	0,501	0,481	0,576	0,574	0,521	0,301
51	0,1304	0,1385	0,1538	0,60	0,74	-1,846	-1,460	0,469	0,404	0,450	0,506	0,489	0,450	0,556	0,587	0,526	0,263
52	0,1194	0,1240	0,1390	0,57	0,81	-2,550	-2,152	0,483	0,423	0,464	0,512	0,495	0,466	0,566	0,625	0,548	0,255
53	0,1293	0,1353	0,1462	0,51	0,75	-1,857	-1,454	0,489	0,435	0,494	0,527	0,509	0,504	0,589	0,606	0,540	0,304
54	0,1221	0,1255	0,1329	0,42	0,79	-2,205	-1,773	0,524	0,479	0,531	0,548	0,529	0,557	0,616	0,643	0,556	0,333
55	0,1168	0,1188	0,1244	0,36	0,83	-2,617	-2,183	0,527	0,492	0,552	0,562	0,543	0,594	0,632	0,672	0,562	0,352
56	0,1319	0,1350	0,1376	0,29	0,74	-1,312	-0,865	0,544	0,512	0,572	0,576	0,557	0,633	0,646	0,637	0,535	0,412
57	0,1190	0,1205	0,1227	0,25	0,81	-1,890	-1,437	0,550	0,525	0,583	0,585	0,567	0,661	0,655	0,685	0,540	0,410
58	0,1241	0,1250	0,1253	0,14	0,78	-0,936	-0,446	0,595	0,582	0,602	0,602	0,591	0,725	0,668	0,688	0,475	0,472
59	0,1157	0,1160	0,1161	0,09	0,84	-0,925	-0,422	0,612	0,605	0,608	0,608	0,603	0,758	0,673	0,725	0,410	0,481

TABLA. 6.13.b CALCULO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA MEDIDOS Y MEDIANTE EXPRESIONES ANTERIORES VERTEDERO II.

INVESTIGACION DEL COEFICIENTE DE DESCARGA EN VERTEDEROS LATERALES																	
L=0.50m. P=0.043m. B=0.405m.																	
PRUEBA	y ₁ (m)	y ₂ (m)	E(m)	F ₁	P/y ₁	Φ ₁	Φ ₂	C _M (exper.)	C _{dlg} (exper.)	C _M							
										SUBRAM. (1972)	NADESAM. (1972)	YU TECH (1972)	RANGA (1979)	CHEONG (1991)	SINGH (1994)	SILVA (1997)	BORGHEI (1999)
1	0,0889	0,1045	0,1089	0,67	0,48	-0,863	-0,426	0,531	0,449	0,409	0,490	0,473	0,407	0,526	0,447	0,465	0,306
2	0,0769	0,0795	0,0796	0,27	0,56	-0,603	-0,134	0,571	0,547	0,578	0,581	0,563	0,649	0,651	0,556	0,496	0,477
3	0,0646	0,0670	0,0685	0,35	0,67	-1,081	-0,651	0,523	0,486	0,556	0,565	0,545	0,601	0,635	0,595	0,538	0,407
4	0,0885	0,0960	0,0969	0,44	0,49	-0,703	-0,235	0,569	0,520	0,526	0,544	0,526	0,548	0,612	0,490	0,484	0,419
5	0,0782	0,0870	0,0913	0,58	0,55	-0,971	-0,565	0,493	0,429	0,460	0,510	0,494	0,462	0,564	0,496	0,503	0,330
6	0,0731	0,0810	0,0852	0,58	0,59	-1,077	-0,642	0,529	0,457	0,463	0,512	0,495	0,465	0,566	0,515	0,517	0,321
7	0,0677	0,0720	0,0751	0,47	0,64	-1,148	-0,738	0,498	0,447	0,512	0,536	0,518	0,529	0,603	0,558	0,537	0,358
8	0,0781	0,0830	0,0839	0,38	0,55	-0,772	-0,302	0,570	0,527	0,545	0,557	0,537	0,580	0,627	0,531	0,507	0,425
9	0,0738	0,0820	0,0877	0,61	0,58	-1,082	-0,701	0,464	0,399	0,442	0,503	0,486	0,441	0,550	0,506	0,513	0,304
10	0,0918	0,1045	0,1087	0,61	0,47	-0,806	-0,417	0,473	0,411	0,446	0,504	0,488	0,446	0,553	0,451	0,467	0,342
11	0,0817	0,0960	0,1032	0,73	0,53	-0,966	-0,587	0,460	0,383	0,374	0,479	0,461	0,375	0,501	0,458	0,478	0,268
12	0,0718	0,0825	0,0905	0,72	0,60	-1,157	-0,777	0,461	0,380	0,377	0,480	0,462	0,377	0,503	0,494	0,508	0,248
13	0,0781	0,0830	0,0840	0,39	0,55	-0,778	-0,316	0,561	0,517	0,543	0,556	0,537	0,578	0,626	0,531	0,507	0,423
14	0,0825	0,0925	0,0968	0,59	0,52	-0,905	-0,508	0,482	0,419	0,456	0,509	0,492	0,457	0,561	0,480	0,491	0,335
15	0,0717	0,0765	0,0785	0,43	0,60	-0,979	-0,526	0,550	0,498	0,526	0,544	0,526	0,549	0,613	0,546	0,525	0,385
16	0,0667	0,0695	0,0706	0,34	0,65	-0,983	-0,523	0,559	0,520	0,558	0,566	0,546	0,604	0,636	0,585	0,532	0,416
17	0,0757	0,0835	0,0884	0,58	0,57	-1,021	-0,643	0,460	0,401	0,460	0,510	0,493	0,461	0,564	0,504	0,510	0,324
18	0,0994	0,1125	0,1154	0,57	0,43	-0,720	-0,319	0,488	0,431	0,467	0,513	0,497	0,470	0,569	0,440	0,453	0,372

TABLA. 6.14. CALCULO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA MEDIDO Y MEDIANTE EXPRESIONES ANTERIORES VERTEDERO III.

INVESTIGACION DEL COEFICIENTE DE DESCARGA EN VERTEDEROS LATERALES																	
L=0.650m. P=0.126m. B=0.405m.																	
PRUEBA	y ₁ (m)	y ₂ (m)	E(m)	F ₁	P/y ₁	Φ ₁	Φ ₂	C _M (exper.)	C _{dlg} (exper.)	C _M							
										SUBRAM. (1972)	NADESAM. (1972)	YU TECH (1972)	RANGA (1979)	CHEONG (1991)	SINGH (1994)	SILVA (1997)	BORGHEI (1999)
1	0,1662	0,1710	0,1738	0,30	0,76	-1,500	-0,887	0,573	0,531	0,570	0,575	0,556	0,630	0,645	0,647	0,541	0,425
2	0,1554	0,1590	0,1637	0,33	0,81	-2,183	-1,587	0,556	0,513	0,562	0,569	0,550	0,614	0,640	0,668	0,549	0,396
3	0,1761	0,1840	0,1881	0,37	0,72	-1,378	-0,784	0,555	0,504	0,550	0,560	0,541	0,589	0,630	0,614	0,530	0,405
4	0,1588	0,1648	0,1735	0,43	0,79	-2,209	-1,635	0,536	0,477	0,528	0,545	0,527	0,552	0,614	0,641	0,549	0,352
5	0,1577	0,1635	0,1726	0,43	0,80	-2,284	-1,722	0,525	0,467	0,526	0,544	0,526	0,549	0,613	0,643	0,550	0,348
6	0,1729	0,1835	0,1923	0,47	0,73	-1,650	-1,082	0,531	0,464	0,510	0,535	0,517	0,526	0,601	0,602	0,530	0,350
7	0,1632	0,1718	0,1847	0,51	0,77	-2,062	-1,541	0,487	0,422	0,493	0,526	0,509	0,502	0,588	0,616	0,538	0,318
8	0,1661	0,1785	0,1973	0,61	0,76	-1,962	-1,478	0,452	0,378	0,443	0,503	0,486	0,442	0,551	0,591	0,521	0,275
9	0,1622	0,1715	0,1871	0,56	0,78	-2,131	-1,627	0,471	0,403	0,473	0,516	0,499	0,477	0,573	0,611	0,534	0,297
10	0,1750	0,1870	0,1967	0,50	0,72	-1,616	-1,053	0,526	0,455	0,500	0,530	0,512	0,511	0,593	0,593	0,525	0,341
11	0,1530	0,1605	0,1811	0,61	0,82	-2,678	-2,195	0,451	0,380	0,447	0,505	0,488	0,446	0,554	0,624	0,539	0,258
12	0,1577	0,1635	0,1734	0,45	0,80	-2,308	-1,763	0,509	0,452	0,521	0,542	0,523	0,542	0,609	0,641	0,549	0,342
13	0,1689	0,1765	0,1826	0,40	0,75	-1,668	-1,081	0,549	0,492	0,538	0,552	0,533	0,569	0,622	0,623	0,537	0,380
14	0,1796	0,1885	0,1922	0,37	0,70	-1,307	-0,694	0,573	0,519	0,548	0,558	0,539	0,585	0,629	0,606	0,526	0,406
15	0,1526	0,1580	0,1702	0,48	0,83	-2,740	-2,185	0,519	0,456	0,507	0,534	0,516	0,522	0,599	0,648	0,554	0,318
16	0,1800	0,1930	0,2030	0,51	0,70	-1,498	-0,965	0,499	0,432	0,496	0,528	0,510	0,507	0,591	0,582	0,518	0,343
17	0,1654	0,1765	0,1925	0,57	0,76	-1,989	-1,480	0,476	0,402	0,464	0,512	0,495	0,466	0,567	0,600	0,528	0,293
18	0,1598	0,1700	0,1888	0,60	0,79	-2,246	-1,740	0,472	0,395	0,449	0,506	0,489	0,449	0,556	0,608	0,531	0,271
19	0,1461	0,1470	0,1479	0,16	0,86	-2,025	-1,401	0,583	0,564	0,599	0,600	0,587	0,714	0,667	0,724	0,496	0,461
20	0,1663	0,1692	0,1700	0,21	0,76	-1,142	-0,516	0,585	0,559	0,591	0,592	0,576	0,684	0,660	0,663	0,510	0,468
21	0,1538	0,1560	0,1581	0,24	0,82	-1,883	-1,273	0,570	0,540	0,586	0,587	0,570	0,668	0,657	0,689	0,530	0,437
22	0,1426	0,1440	0,1475	0,26	0,88	-3,576	-2,951	0,585	0,552	0,580	0,583	0,564	0,653	0,652	0,716	0,549	0,406
23	0,1705	0,1765	0,1798	0,33	0,74	-1,444	-0,839	0,565	0,519	0,561	0,568	0,549	0,612	0,639	0,633	0,533	0,416
24	0,1583	0,1630	0,1684	0,36	0,80	-2,070	-1,464	0,567	0,516	0,553	0,563	0,543	0,596	0,633	0,656	0,548	0,386
25	0,1487	0,1520	0,1602	0,39	0,85	-3,063	-2,481	0,544	0,493	0,541	0,554	0,535	0,573	0,624	0,674	0,561	0,353
26	0,1714	0,1820	0,1900	0,47	0,74	-1,689	-1,073	0,576	0,501	0,513	0,537	0,519	0,530	0,603	0,606	0,532	0,352
27	0,1738	0,1920	0,2110	0,65	0,73	-1,713	-1,199	0,480	0,390	0,419	0,494	0,477	0,417	0,534	0,567	0,503	0,265
28	0,1788	0,1970	0,2137	0,62	0,70	-1,590	-1,081	0,476	0,393	0,436	0,500	0,484	0,435	0,546	0,563	0,502	0,285
29	0,1642	0,1800	0,2051	0,71	0,77	-1,985	-1,518	0,436	0,348	0,387	0,483	0,466	0,387	0,511	0,579	0,506	0,227
30	0,1556	0,1700	0,2015	0,77	0,81	-2,270	-1,826	0,415	0,320	0,344	0,471	0,452	0,350	0,481	0,589	0,506	0,185

TABLA. 6.15. CALCULO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA MEDIDO Y MEDIANTE EXPRESIONES ANTERIORES VERTEDERO IV.

INVESTIGACION DEL COEFICIENTE DE DESCARGA EN VERTEDEROS LATERALES																	
L=0.650m. P=0.063m. B=0.405m.																	
PRUEBA	y ₁ (m)	y ₂ (m)	E(m)	F ₁	P/y ₁	Φ ₁	Φ ₂	C _M (exper.)	C _{dlg} (exper.)	C _M							
										SUBRAM. (1972)	NADESAM. (1972)	YU TECH (1972)	RANGA (1979)	CHEONG (1991)	SINGH (1994)	SILVA (1997)	BORGHEI (1999)
1	0,0912	0,1000	0,1077	0,60	0,69	-1,506	-1,016	0,458	0,384	0,449	0,506	0,489	0,449	0,556	0,560	0,544	0,301
2	0,0840	0,0920	0,1035	0,68	0,75	-1,874	-1,406	0,437	0,353	0,402	0,488	0,471	0,401	0,521	0,575	0,554	0,244
3	0,0998	0,1080	0,1118	0,49	0,63	-1,152	-0,639	0,479	0,421	0,503	0,531	0,514	0,516	0,596	0,551	0,531	0,372
4	0,1058	0,1220	0,1287	0,66	0,60	-1,133	-0,626	0,474	0,392	0,417	0,493	0,476	0,415	0,532	0,503	0,506	0,302
5	0,1096	0,1260	0,1309	0,62	0,57	-1,059	-0,515	0,508	0,425	0,437	0,501	0,484	0,436	0,547	0,500	0,502	0,325
6	0,1022	0,1120	0,1157	0,51	0,62	-1,120	-0,586	0,500	0,435	0,492	0,526	0,508	0,501	0,588	0,539	0,525	0,364
7	0,1174	0,1340	0,1386	0,60	0,54	-0,945	-0,449	0,463	0,396	0,450	0,506	0,489	0,450	0,556	0,485	0,490	0,347
8	0,1047	0,1230	0,1313	0,71	0,60	-1,162	-0,667	0,463	0,374	0,383	0,482	0,464	0,382	0,507	0,497	0,501	0,273
9	0,0901	0,1000	0,1115	0,69	0,70	-1,555	-1,136	0,392	0,321	0,398	0,487	0,470	0,397	0,518	0,548	0,539	0,256
10	0,0963	0,1070	0,1150	0,62	0,65	-1,338	-0,874	0,433	0,363	0,437	0,501	0,484	0,436	0,547	0,538	0,531	0,301
11	0,1049	0,1170	0,1210	0,55	0,60	-1,099	-0,546	0,517	0,443	0,474	0,516	0,499	0,477	0,574	0,525	0,517	0,350
12	0,1123	0,1240	0,1261	0,50	0,56	-0,931	-0,364	0,530	0,467	0,500	0,530	0,512	0,512	0,594	0,516	0,507	0,390
13	0,0796	0,0830	0,0880	0,46	0,79	-2,226	-1,652	0,537	0,471	0,516	0,539	0,520	0,534	0,605	0,635	0,574	0,338
14	0,0880	0,0905	0,0911	0,27	0,72	-1,101	-0,489	0,572	0,538	0,579	0,582	0,564	0,651	0,652	0,633	0,532	0,454
15	0,0791	0,0810	0,0828	0,31	0,80	-1,910	-1,283	0,587	0,542	0,569	0,574	0,555	0,627	0,644	0,665	0,558	0,411

TABLA. 6.16. CALCULO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA MEDIDO Y MEDIANTE EXPRESIONES ANTERIORES VERTEDERO V.

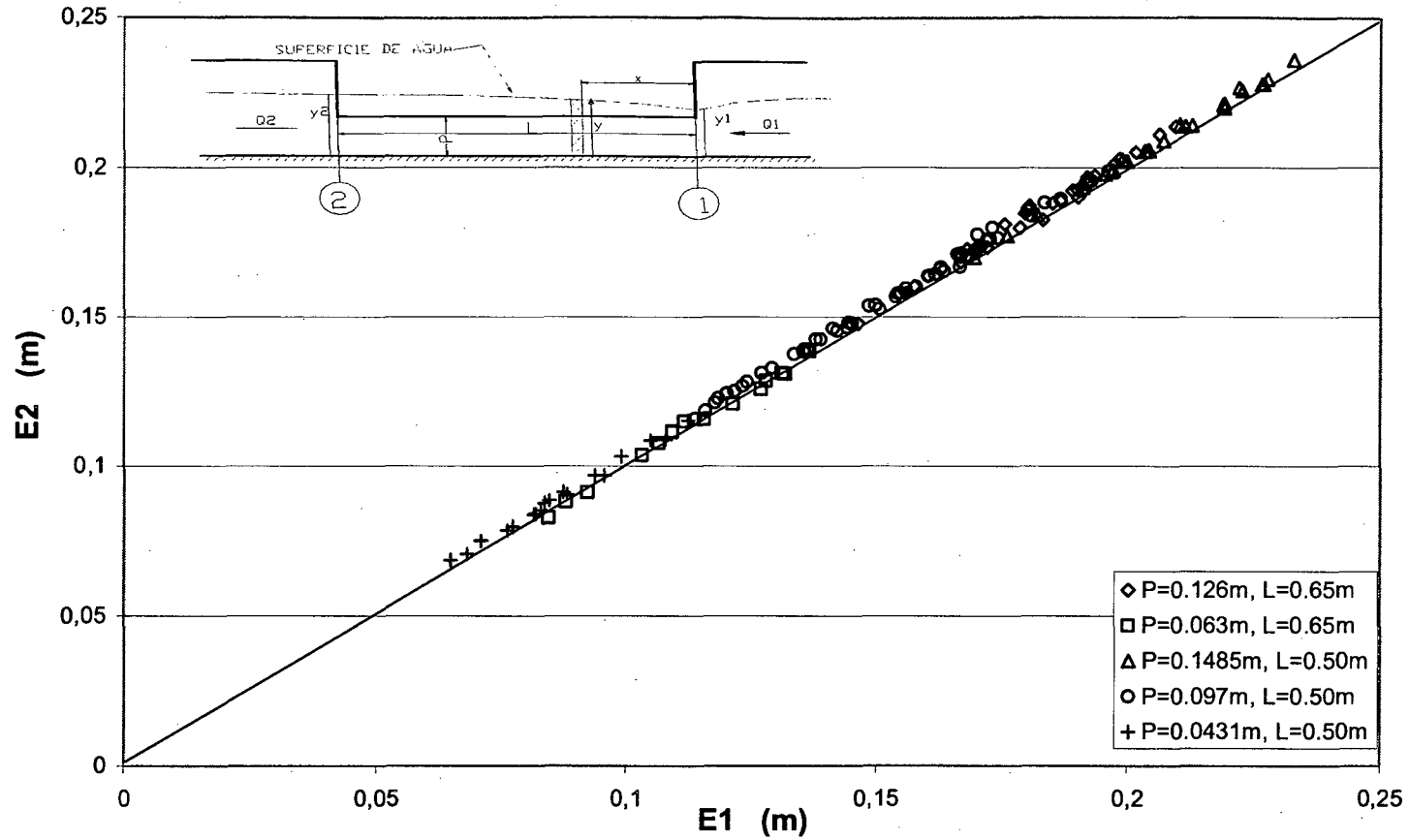


FIG. 6.6. COMPARACION ENTRE LA ENREGIA ESPECIFICA INICIAL Y FINAL

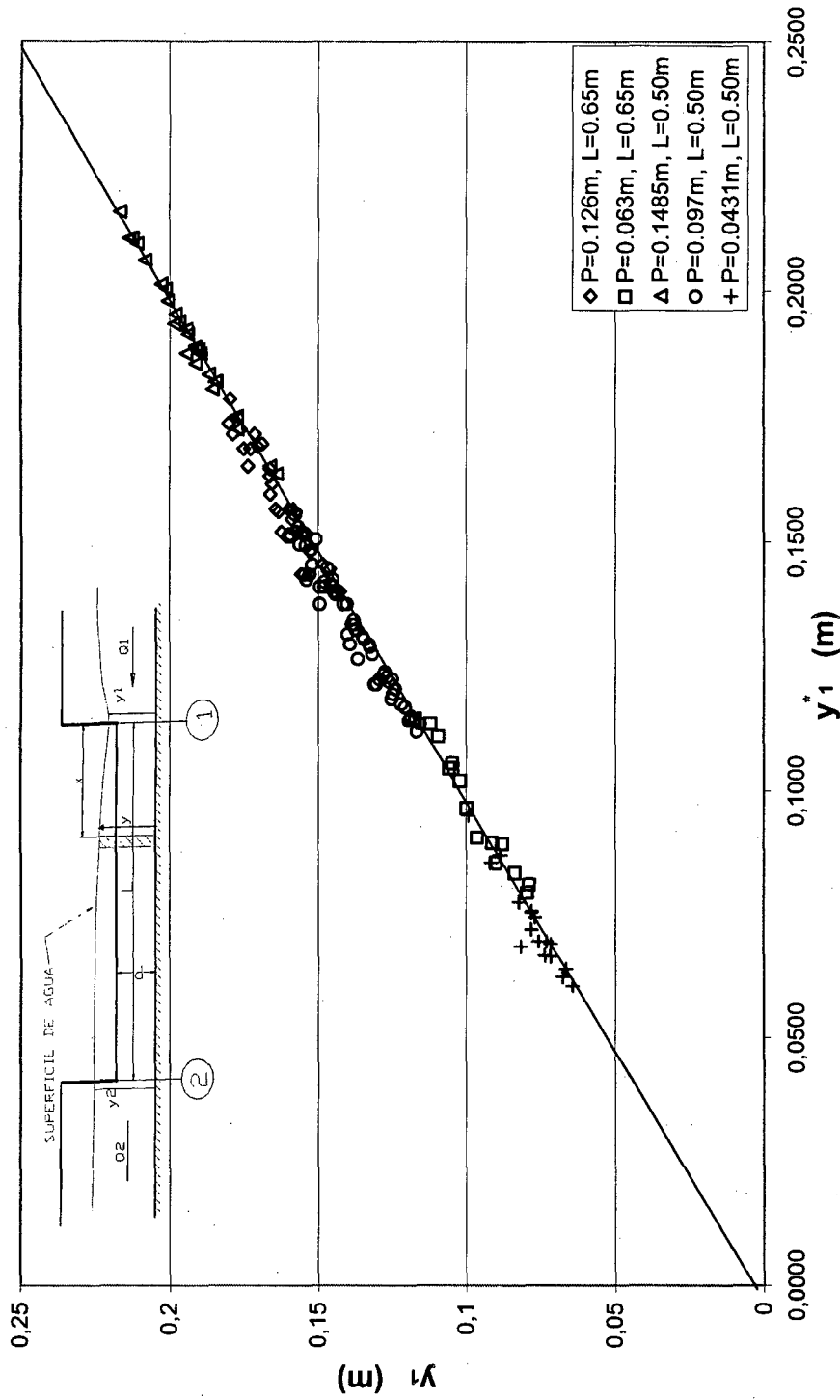


FIG. 6.7. COMPARACION ENTRE EL TIRANTE INICIAL MEDIDO y_1 , Y TEORICO y_1^*

6.3. DEPENDENCIA DEL COEFICIENTE DE DESCARGA CON LOS PARÁMETROS π HALLADOS.

Mediante el análisis dimensional realizado en el capítulo IV llegamos a la conclusión que el coeficiente de descarga es de la forma:

$$C = f\left(\frac{B}{y_1}, \frac{L}{y_1}, \frac{P}{y_1}, \frac{F_2}{F_1}, F_1\right)$$

Mediante las observaciones cualitativas realizadas muestran que el parámetro de mayor influencia es el número de Froude aguas arriba en la sección del inicio del vertedero y en menor proporción el parámetro P/y_2 como se explica en el acápite 6.1.

6.3.1 EFECTO DEL NUMERO DE FROUDE AGUAS ARRIBA DEL VERTEDERO LATERAL (F_1).

Las observaciones cualitativas y cuantitativas muestran que el número de Froude F_1 es el parámetro que ejerce mayor influencia, al plotearse el coeficiente de descarga C_M vs F_1 y C_{dlg} vs F_1 , muestra una marcada tendencia (C_M , C_{dlg} disminuyen al aumentar el número de Froude F_1), es muy interesante notar que los puntos obtenidos de C_M se encuentran cerca de la curva deducida teóricamente bajo la suposición de que la velocidad del chorro saliente es crítica encima de la cresta del vertedero, véase 4.3.

Físicamente F_1 representa la relación de las fuerzas de inercia con las fuerzas de gravedad, la inercia del flujo ejerce gran influencia a lo largo del vertedero lateral acentuándose principalmente al inicio con la separación del chorro.

Las figuras 6.11 y 6.12 obtenidos al plotearse F_1 vs C_M , F_1 vs C_{dlg} respectivamente muestran que C_{dlg} presenta una tendencia más marcada que C_M relacionado con F_1 .

6.3.2 EFECTO DEL NUMERO DE FROUDE AGUAS ABAJO DEL VERTEDERO LATERAL (F_2).

Al plotearse el coeficiente de descarga con el número de Froude aguas abajo se observa una tendencia no definida en comparación con F_1 , al ser menor el número de Froude aguas abajo representa una pérdida de inercia del flujo aumentando las fuerzas de gravedad siendo mayor la descarga al final del vertedero.

6.3.3 EFECTO DEL PARÁMETRO (P/y_1).

Al plotearse C_M vs P/y_1 fig. 6.15 no se observa ninguna tendencia definida más aún los puntos están muy dispersos, este parámetro es considerado de importancia después de F_1 por investigaciones recientes, sin embargo al compararse estas expresiones con los resultados experimentales están muy lejos de aproximarse a la realidad, Silva, Borghei, Shing

6.3.4 EFECTO DEL PARÁMETRO (P/y_2).

A pesar que ejerce influencia en el final del vertedero, aumentando el predominio de las fuerzas de gravedad y en la formación un vortice antihorario en el vertedero lateral, al plotearse C_M vs P/y_2 fig. 6.18 no se observa ninguna tendencia definida, al parecer esta variable no ejerce influencia significativa sobre el coeficiente de descarga dentro del rango que abarco la investigación.

6.3.5 EFECTO DEL PARÁMETRO (F_2/ F_1).

Expresa la pérdida de inercia del flujo a lo largo del vertedero lateral, esta relacionado con la atenuación del ángulo del chorro saliente con la cresta del vertedero, al ser plotado contra C_M se obtiene un comportamiento errático.

6.3.6 EFECTO DEL PARÁMETRO (B/y_1), (L/y_1).

Se descarta la influencia de estas variables, sobre el coeficiente de descarga, por las observaciones cualitativas y después de plotearse las variables.

6.4 EXPRESIÓN DESARROLLADA EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN.

La mejor aproximación del coeficiente de descarga para un vertedero lateral a la que se arribo en el presente estudio Para $F_1 < 0,8$ es:

$$C_{d1g} = -0.2325F_1^2 - 0.218F_1 + 0.6138 \quad R^2 = 0,968$$

$$Q_w = C_{d1g} \frac{2}{3} \sqrt{2g} (y_2 - P)^{3/2} L$$

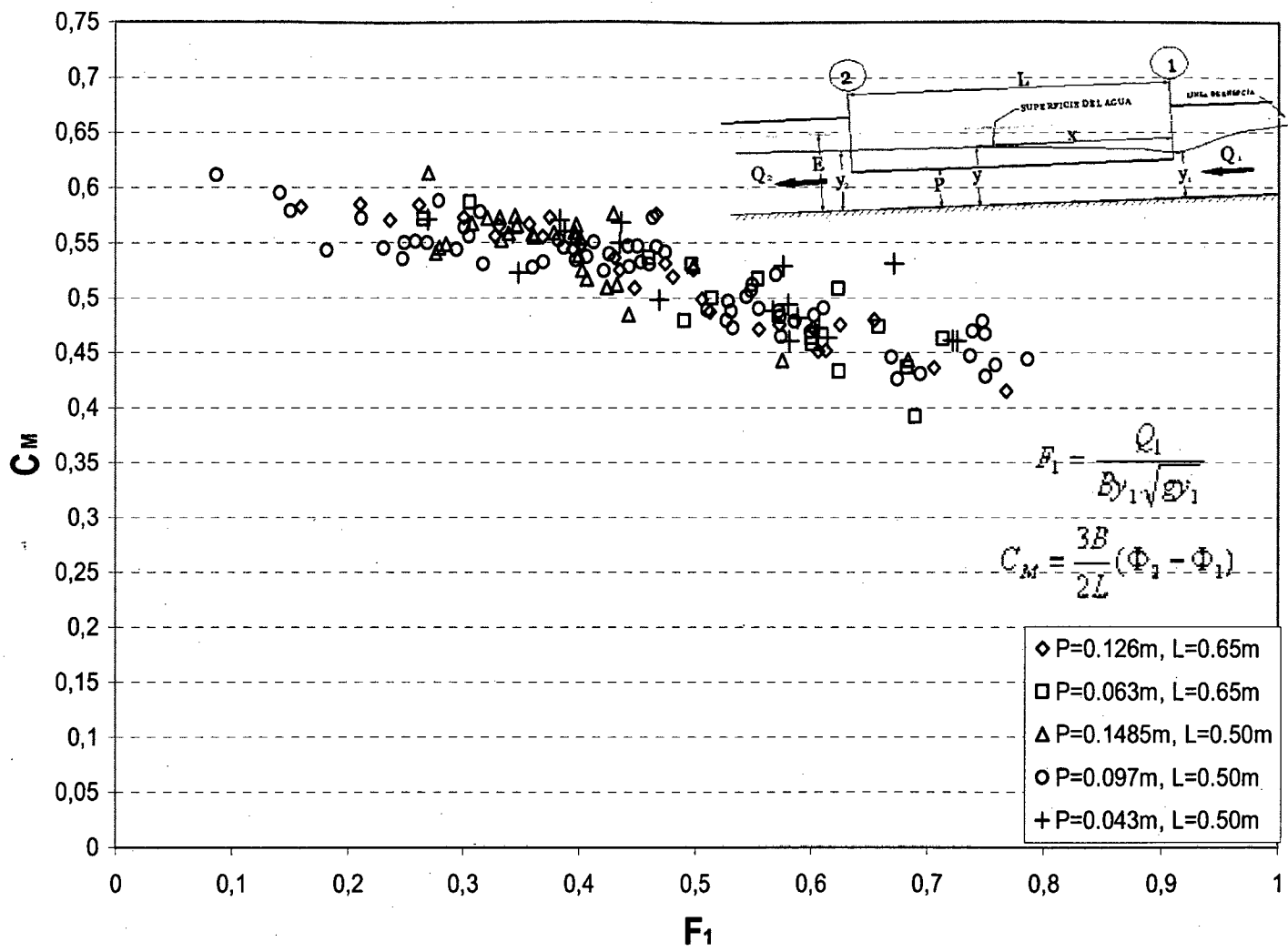


FIG. 6.8. COEFICIENTE DE DESCARGA EXPERIMENTAL CM vs F1

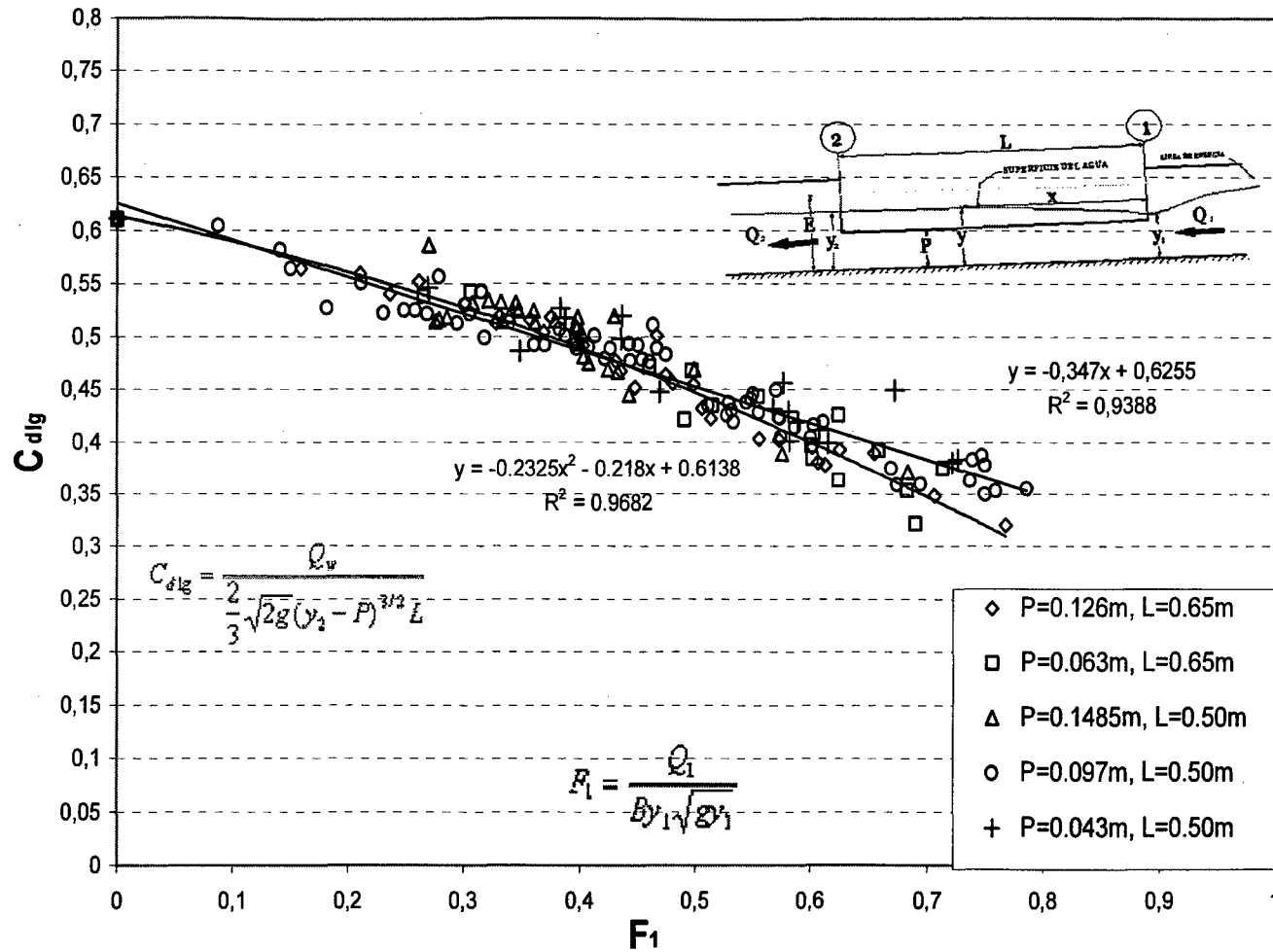


FIG. 6.9. COEFICIENTE DE DESCARGA EXPERIMENTAL C_{d1g} Vs. F_1

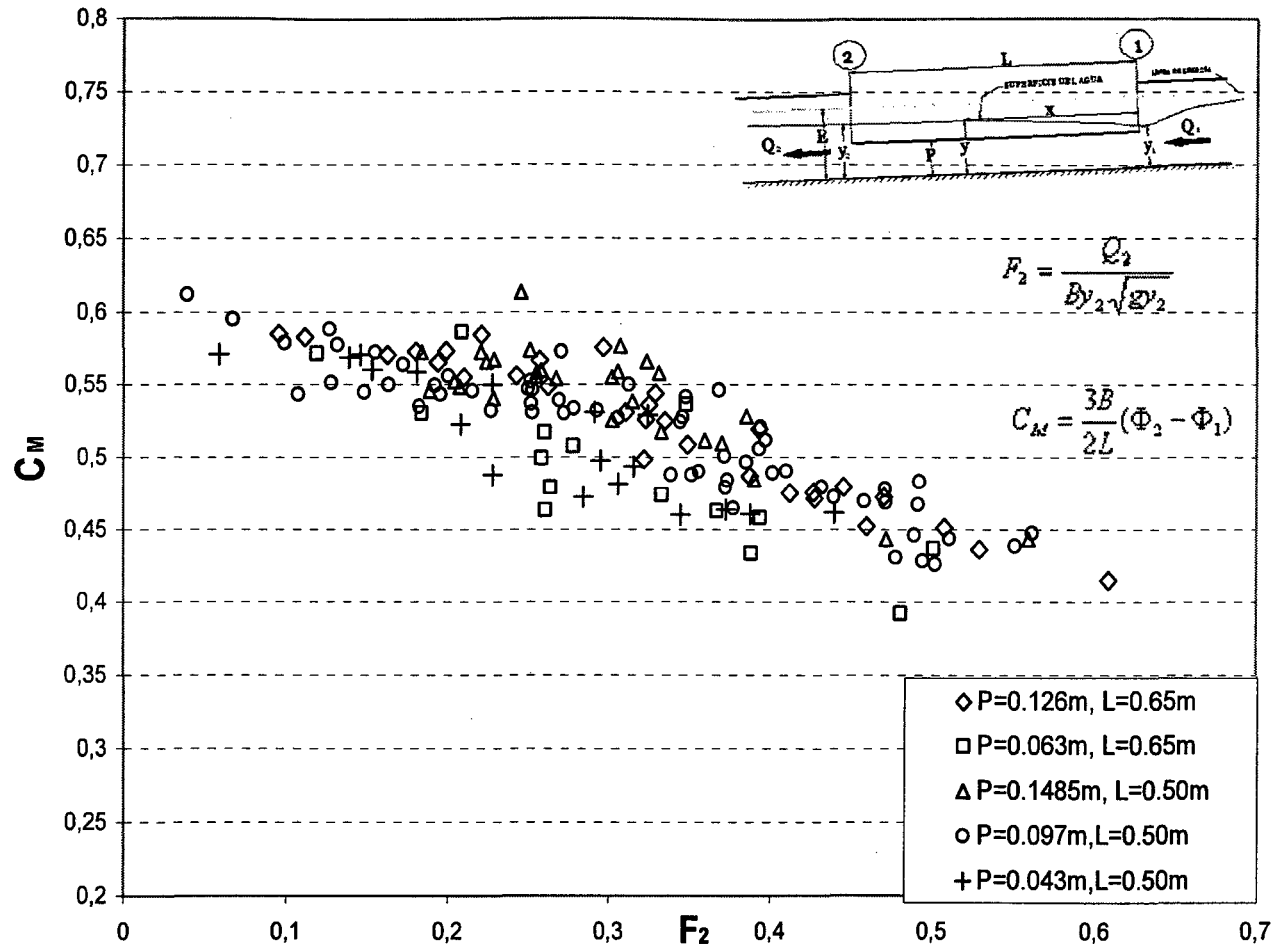


FIG. 6.10. COMPARACION DEL COEFICIENTE EXPERIMENTAL C_M vs F_2

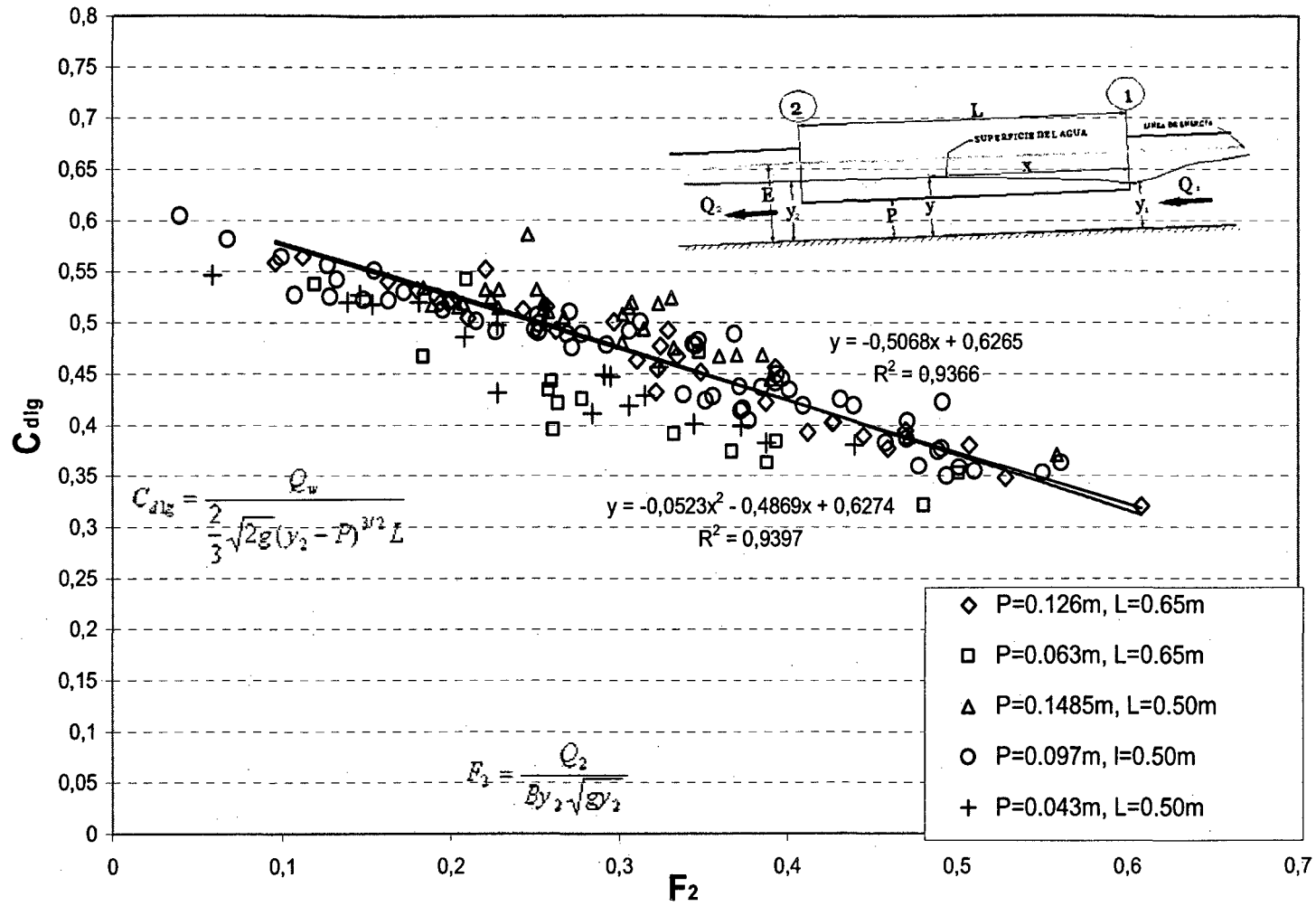


FIG. 6.11. COEFICIENTE DE DESCARGA EXPERIMENTAL C_{dlg} vs F_2

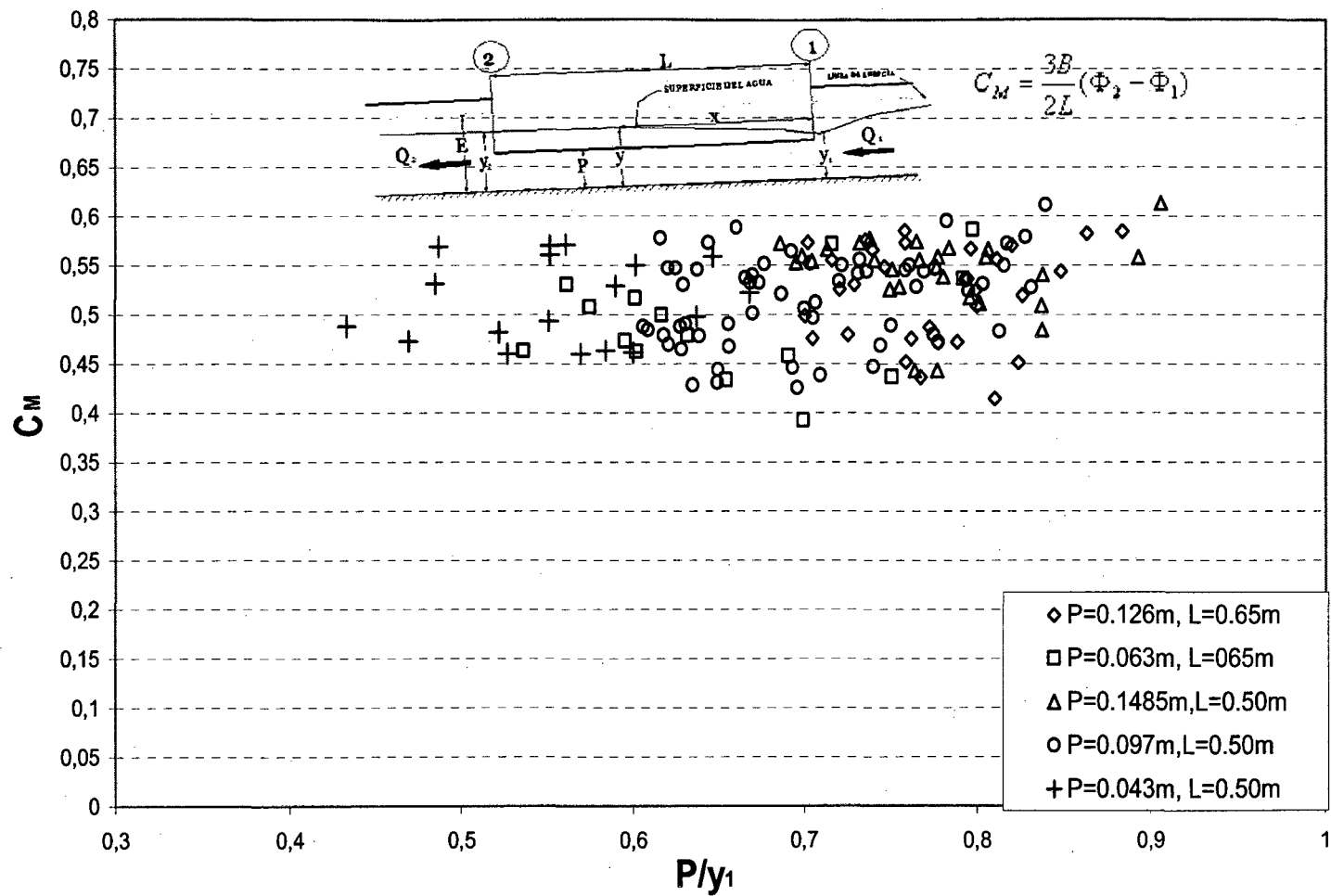


FIG 6.12. COMPARACION DEL COEFICIENTE EXPERIMENTAL C_M vs P/y_1

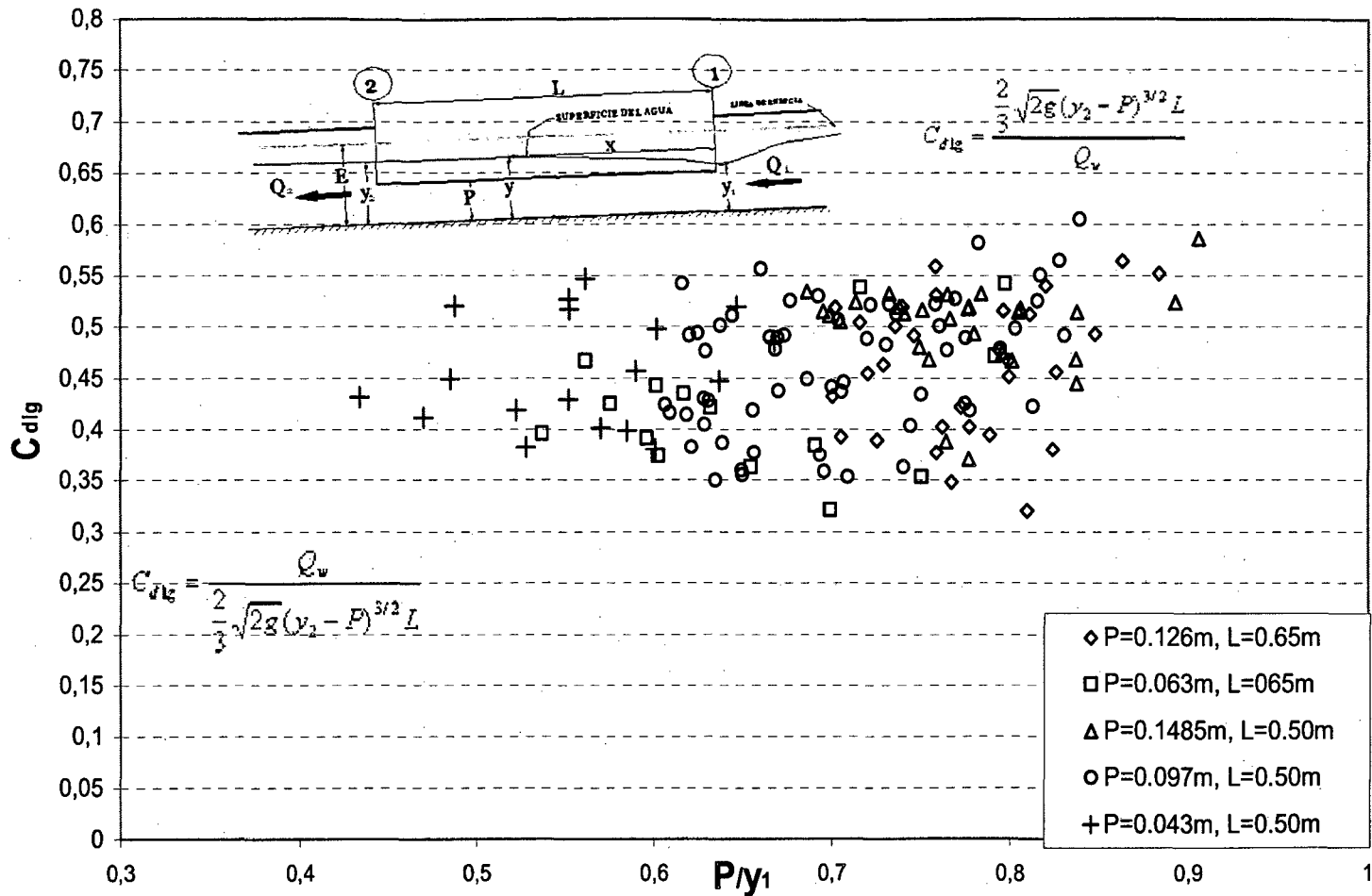


FIG. 6.13. COEFICIENTE EXPERIMENTAL C_{d1g} vs P/Y_1

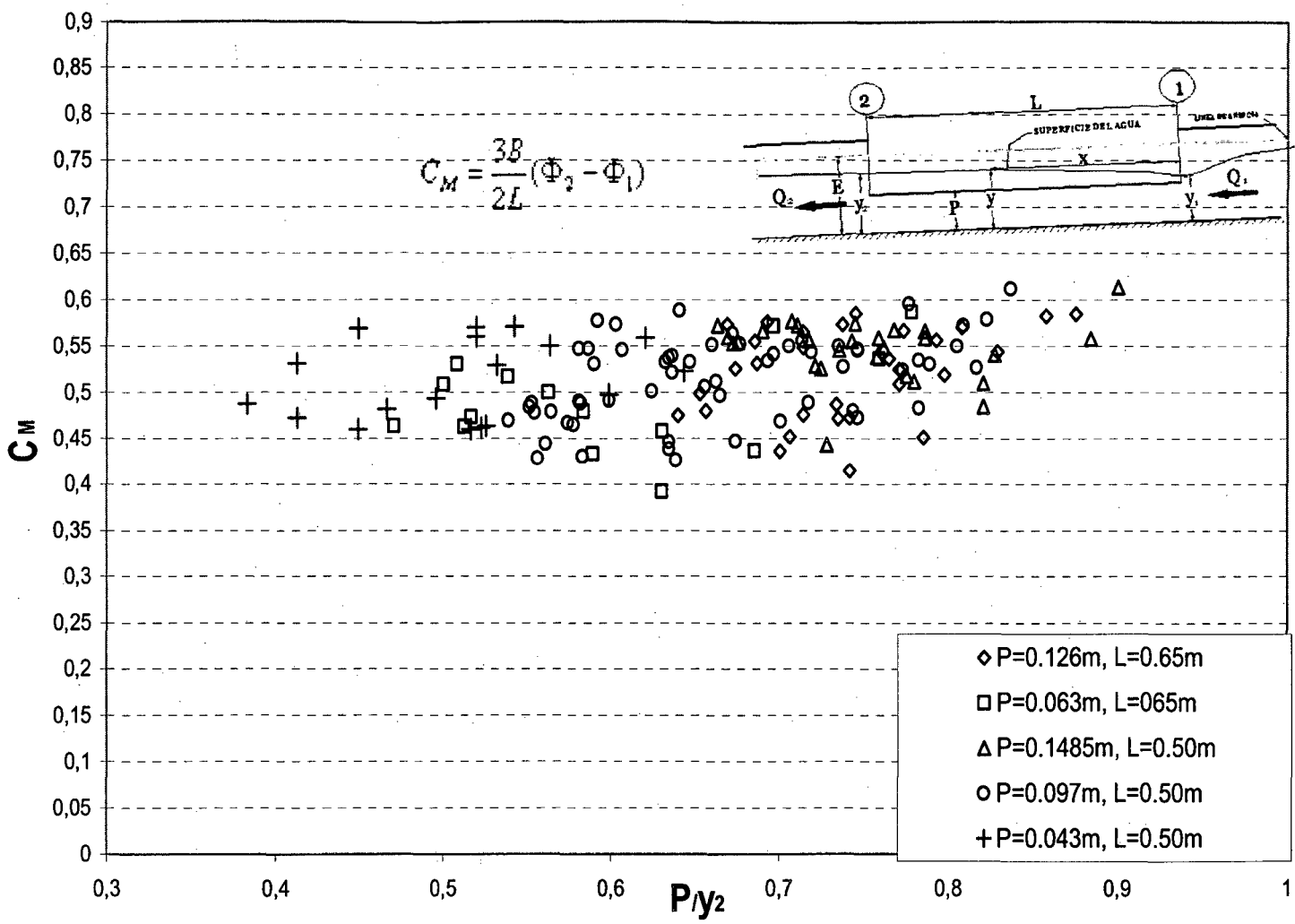


FIG. 6.14. COEFICIENTE DE EXPERIMENTAL C_M vs P/y_2

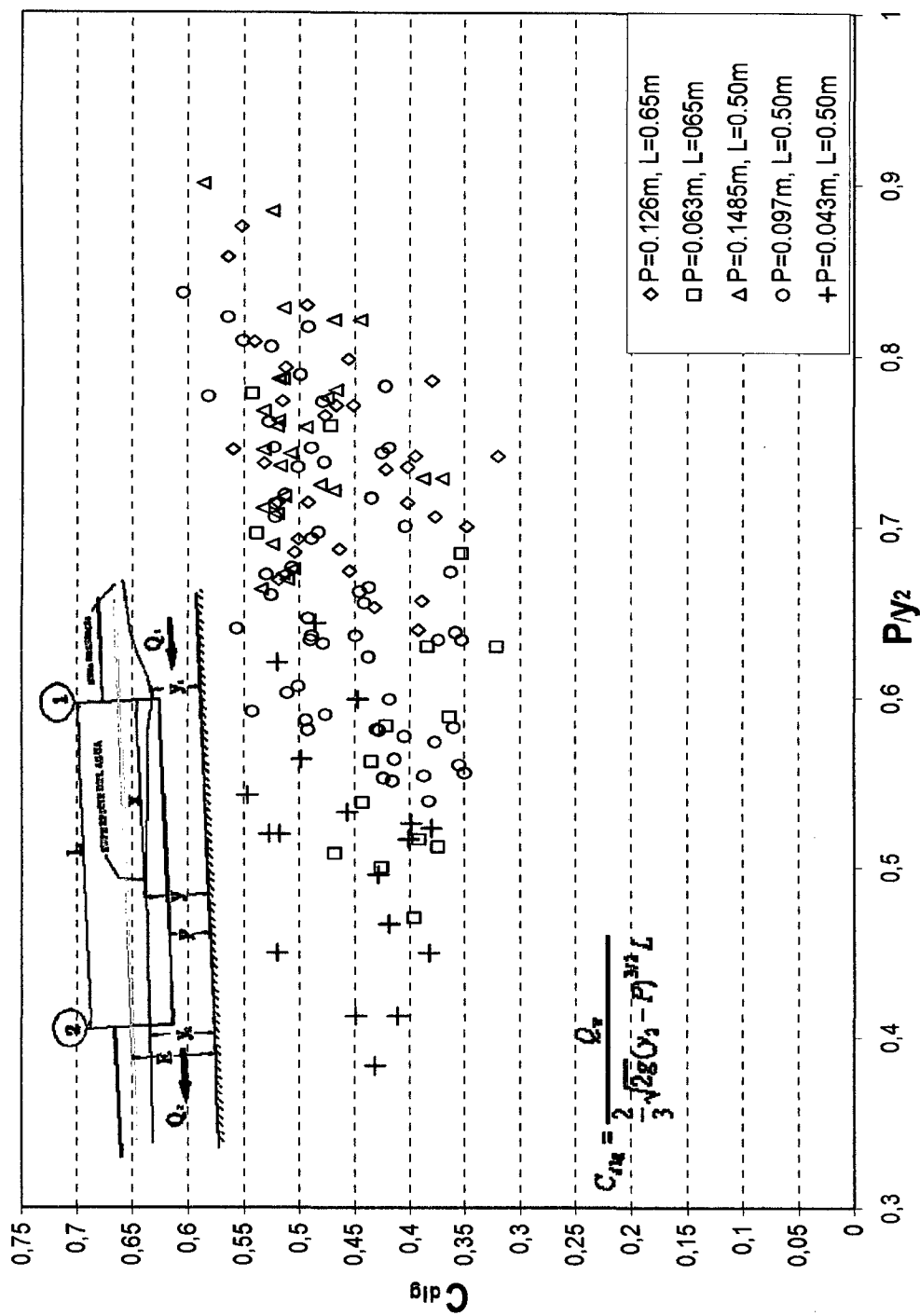


FIG. 6.15. COEFICIENTE EXPERIMENTAL C_{dig} vs P/Y^2

6.5 COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE DESCARGA EXPERIMENTAL CON INVESTIGACIONES ANTERIORES.

La mayoría de las investigaciones existentes se sostienen en la deducción de De Marchi (1934), estimando el coeficiente de descarga C_M .

Con la finalidad de comprobar sus aproximaciones y rangos de aplicación se plotearon los resultados experimentales frente a los expresiones obtenidas por diversos investigadores como se muestran en las figuras 6.19 al 6.26.

Antes de iniciarse la comparación de las expresiones con los datos experimentales, se debe tener en cuenta que todas ellas estiman el coeficiente de de Marqui C_M la cual es ligeramente superior al coeficiente de descarga lateral global C_{dlg} .

La siguiente Tabla nos recuerda las expresiones encontradas en la literatura.

AUTOR	FECHA	EXPRESIÓN	Tipo de Coeficiente estudiado	RANGO
Subramanya	1972	$C_M = 0.864 \sqrt{\frac{1 - F_1^2}{F_1^2 + 2}}$	De Marchi	$F_1 \in < 0 - 0.8 >$
Nadesamoorthy	1972	$C_M = 0.432 \sqrt{\frac{2 + F_1^2}{2F_1^2 + 1}}$	De Marchi	$F_1 \in < 0 - 0.8 >$
Yu tech	1972	$C_M = 0.6225 - 0.222F_1$	De Marchi	$F_1 \in < 0 - 0.8 >$
Ranga Raju	1979	$C_M = 0.81 - 0.60F_1$	De Marchi	$F_1 \in < 0.1 - 0.5 >$
Cheong	1991	$C_M = 0.675 - 0.33F_1^2$	De Marchi	$F_1 \in < 0.2 - 0.9 >$
Singh	1994	$C_M = 0.33 - 0.18F_1 + 0.49 \frac{P}{y_1}$	De Marchi	$F_1 \in < 0.2 - 0.4 >$
Silva	1996	$\frac{2}{3C_M} = 1.57 + 0.127 \frac{1}{F_1} + 7.45 \frac{1}{L_{ndim}} + 0.52 \frac{\bar{y}}{P}$	De Marchi	$F_1 < 1$
Borghei, Jailili and Godshian	1999	$C_M = 0.7 - 0.48F_1 - 0.3 \frac{P}{y_1} + 0.06 \frac{L}{B}$	De Marchi	$F_1 \in < 0.1 - 0.9 >$

TABLA. 6.17. Resumen de las expresiones del coeficiente de descarga C_M .

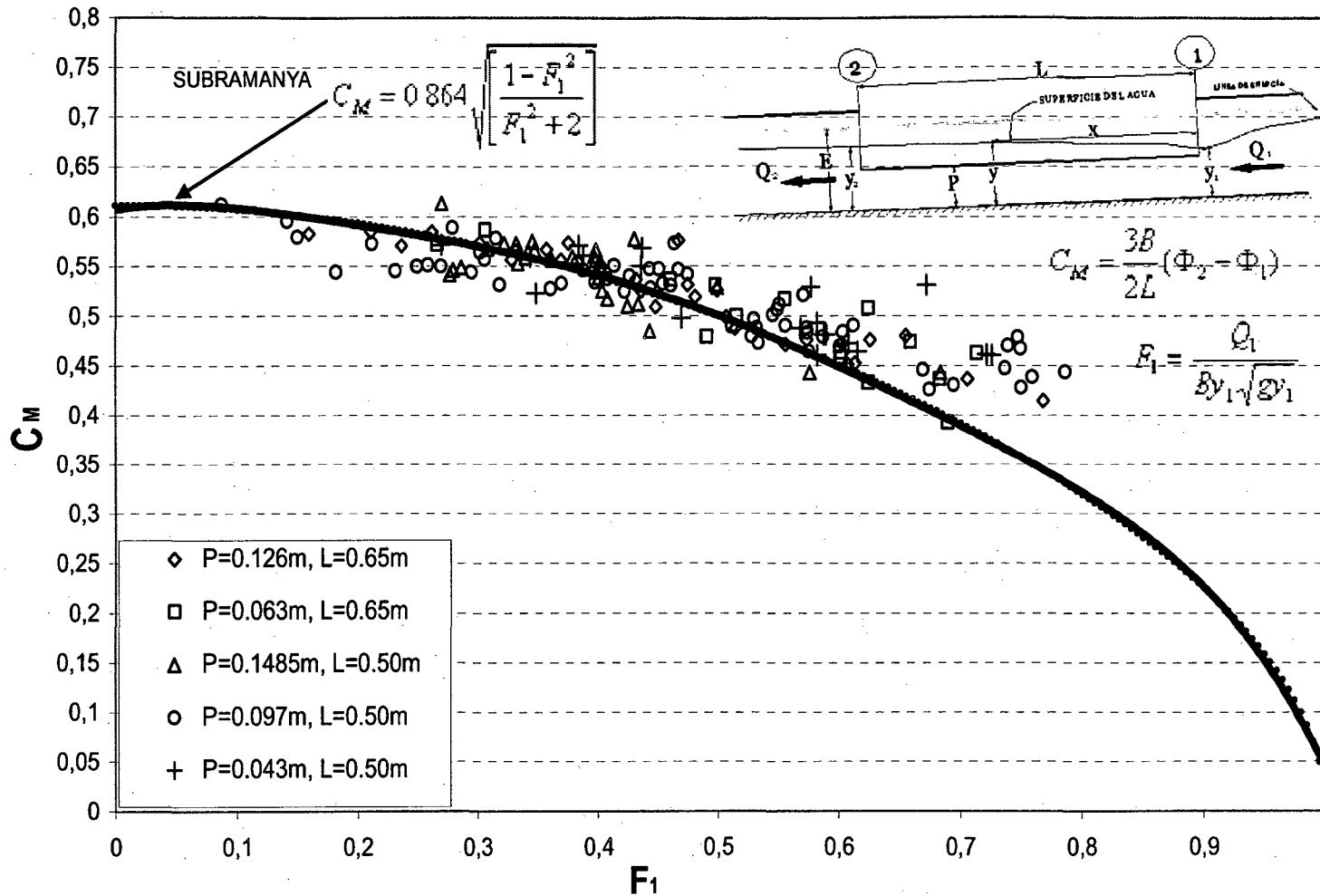


FIG. 6.16. COEFICIENTE EXPERIMENTAL C_M VS LA EXPRESION OBTENIDA POR SUBRAMANYA Y AWASTHY (1972)

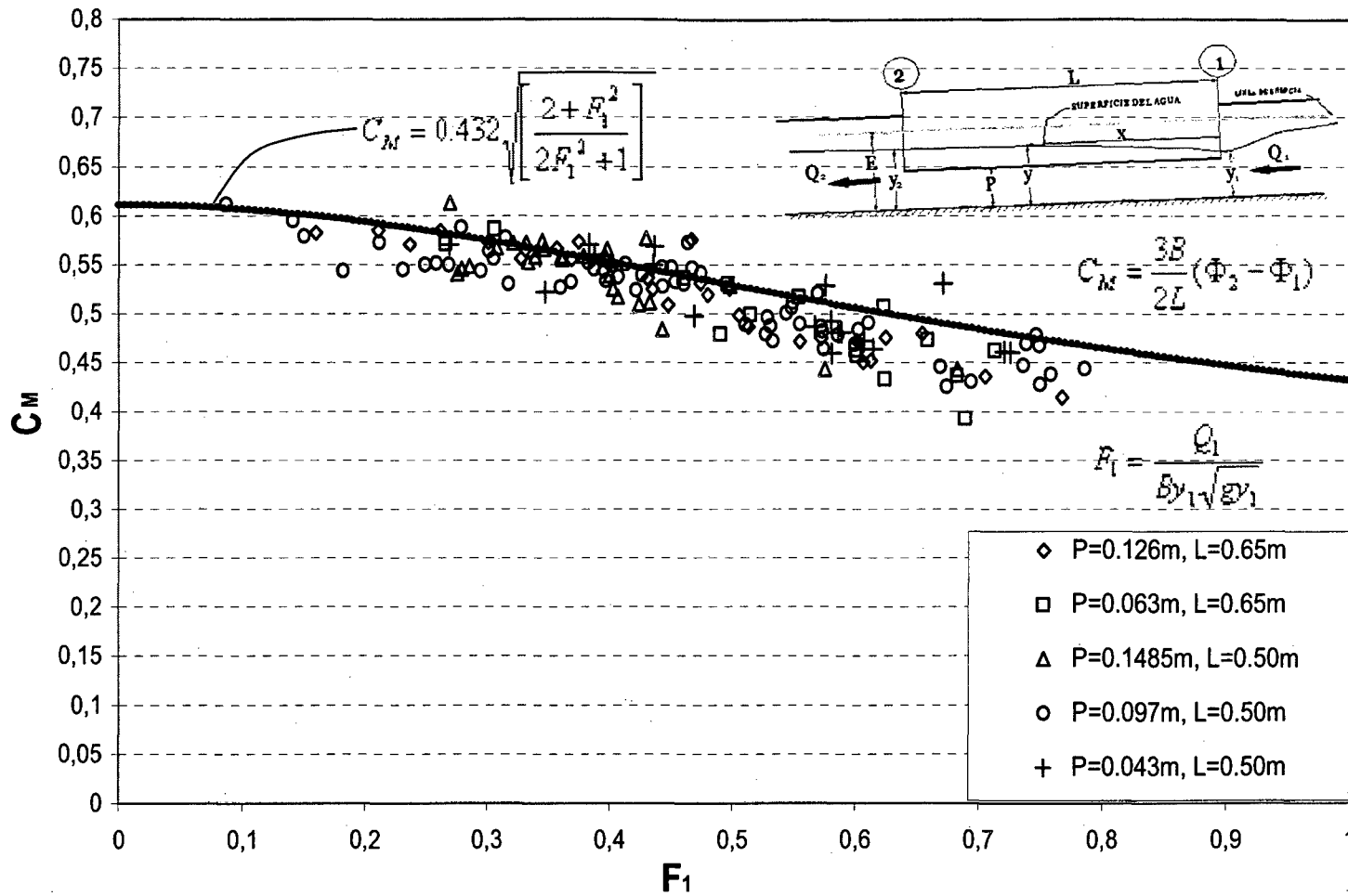


FIG. 6.17. COEFICIENTE DE DESCARGA EXPERIMENTAL C_M VS LA EXPRESION OBTENIDA POR NADESAMOOTHY (1972)

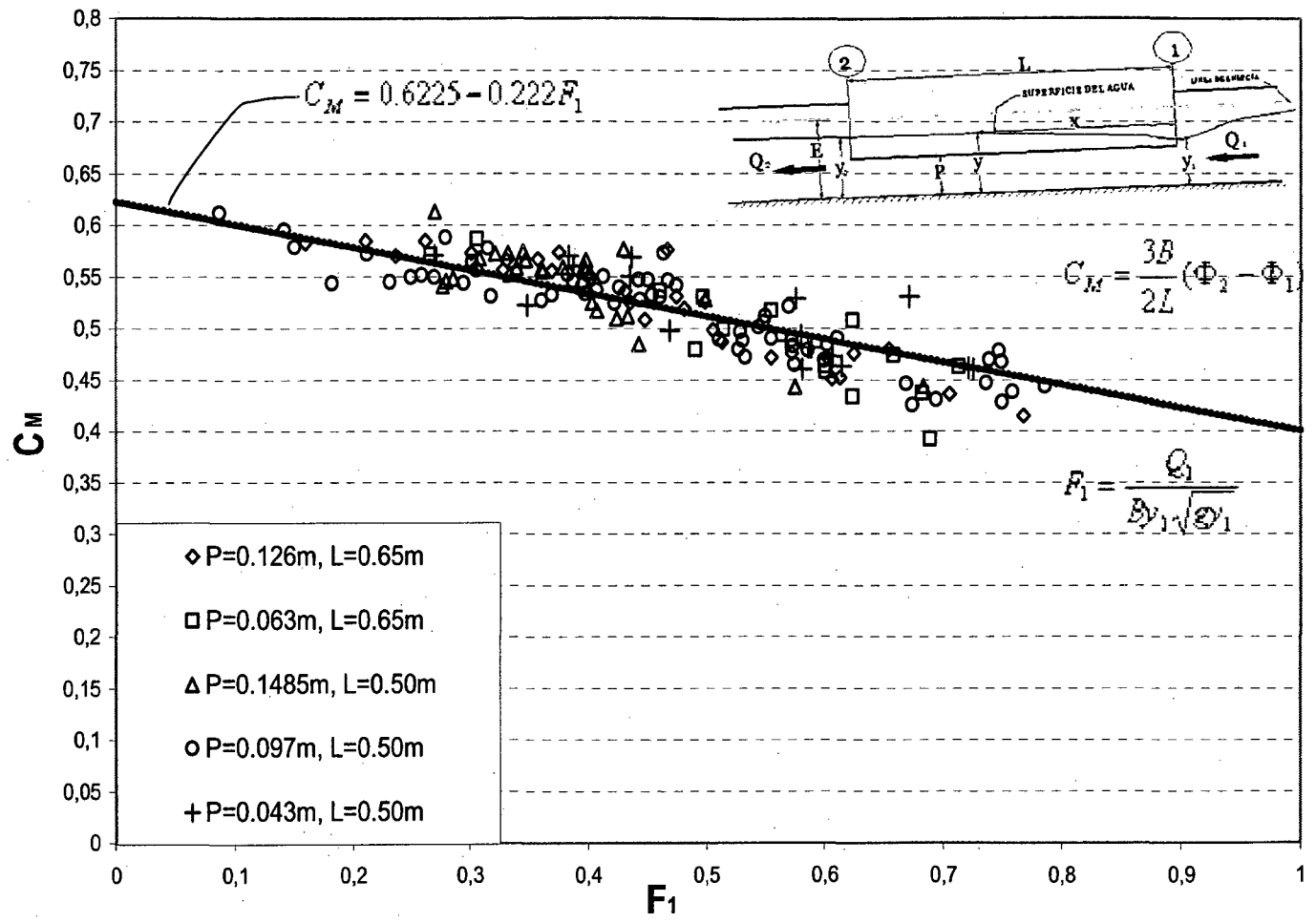


FIG. 6.18. COMPARACION DEL COEFICIENTE EXPERIMENTAL C_M VS LA EXPRESION OBTENIDA POR YU TECH (1972)

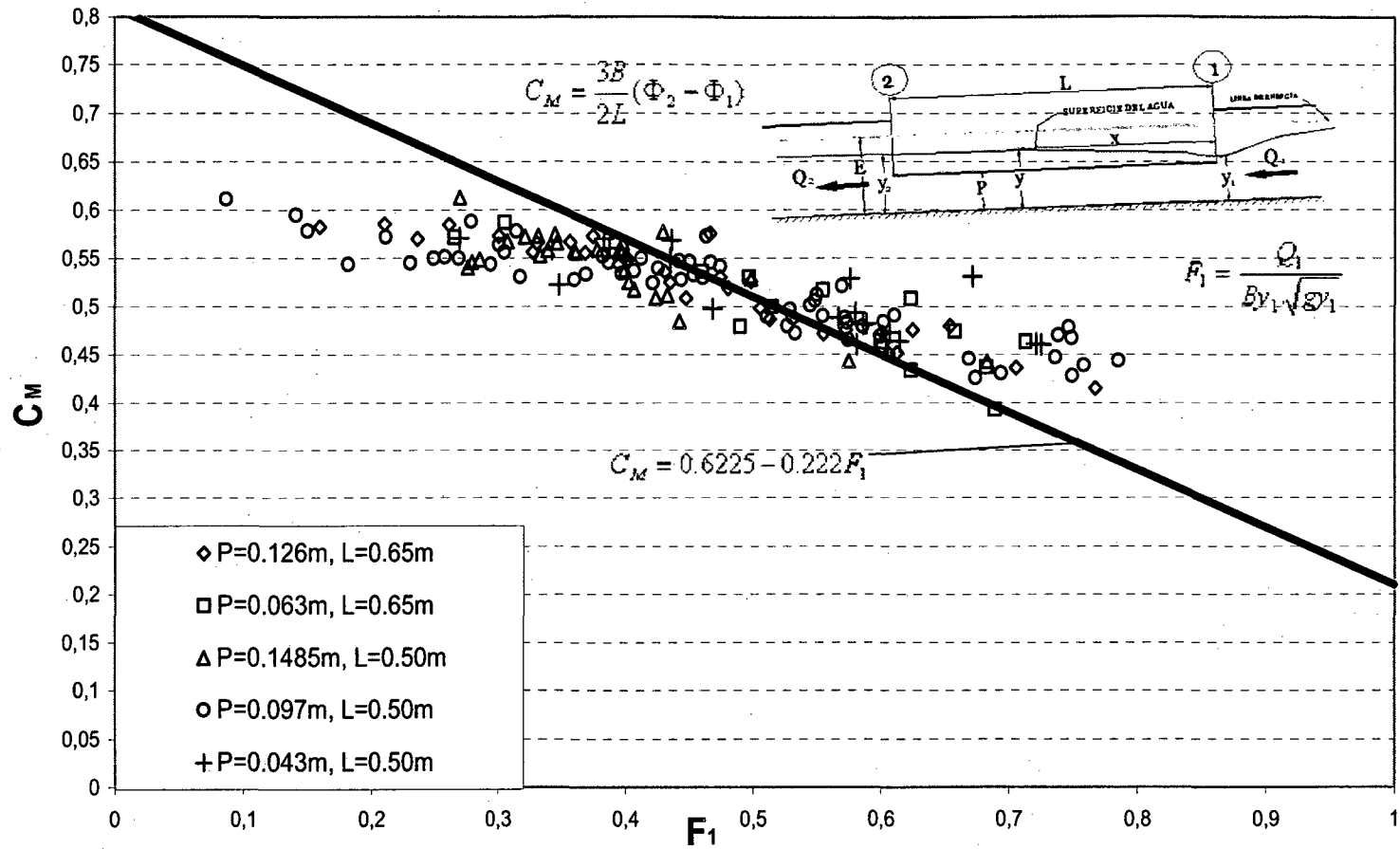


FIG. 6.19. COEFICIENTE DE DESCARGA C_M EXPERIMENTAL VS LA EXPRESION OBTENIDA POR RANGA Y RAJU (1979)

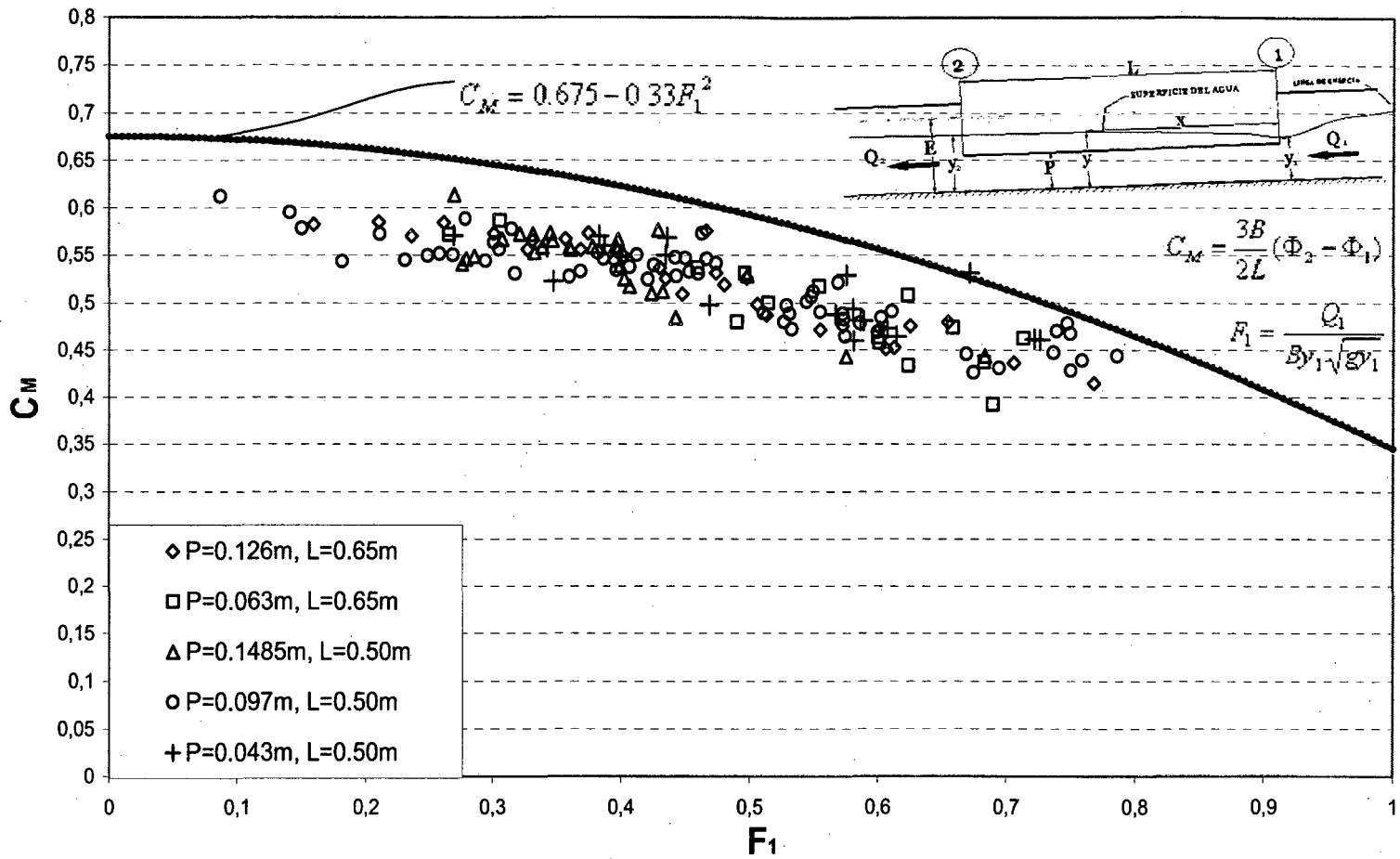


FIG. 6.20. COEFICIENTE DE DESCARGA EXPERIMENTAL C_M VS LA EXPRESION OBTENIDA POR CHEONG (1991)

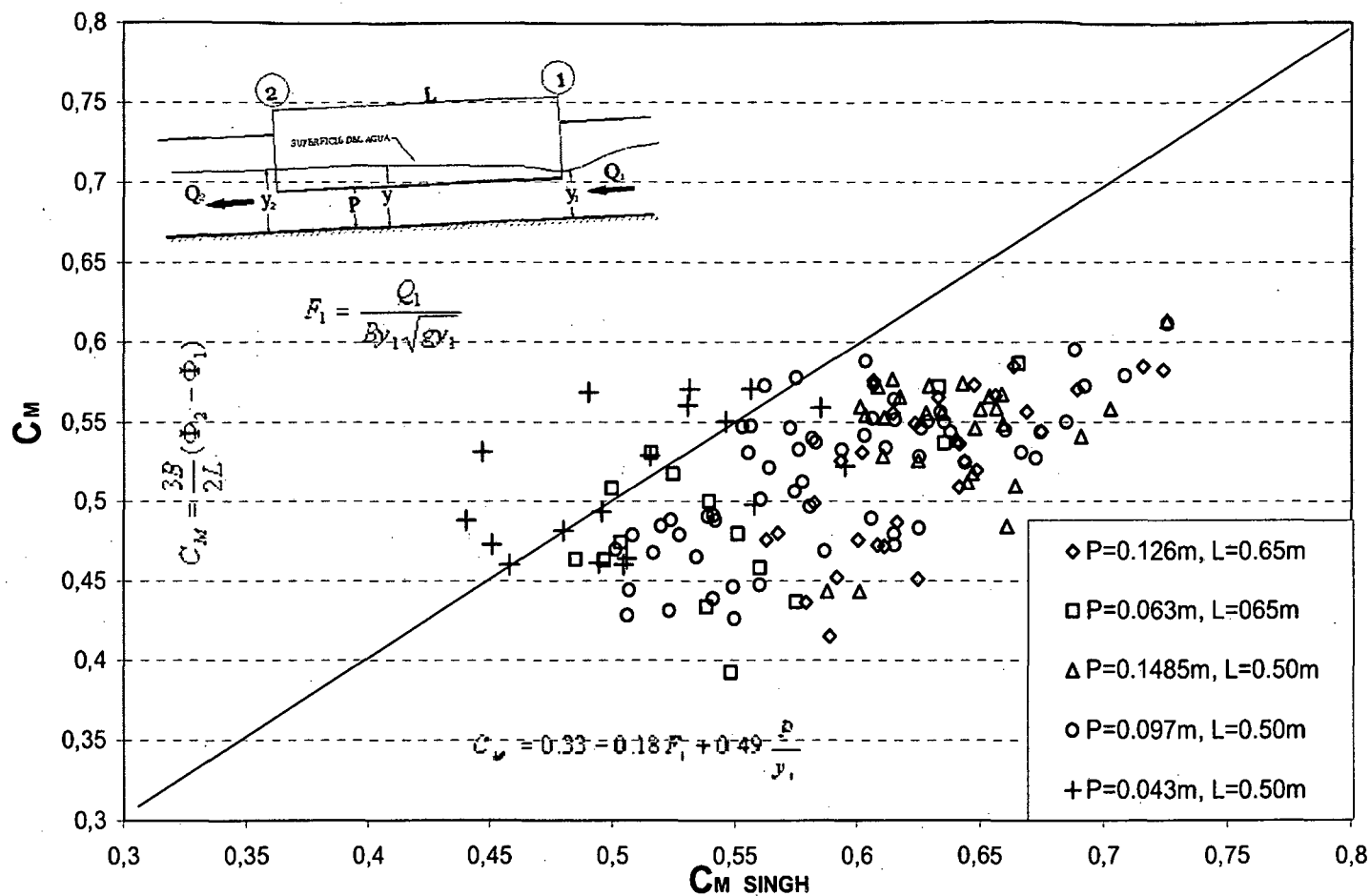


FIG. 6.21. COEMPACION DEL COEFICIENTE DE DESCARGA C_M CON LA EXPRESION OBTENIDA POR SINGH (1994)

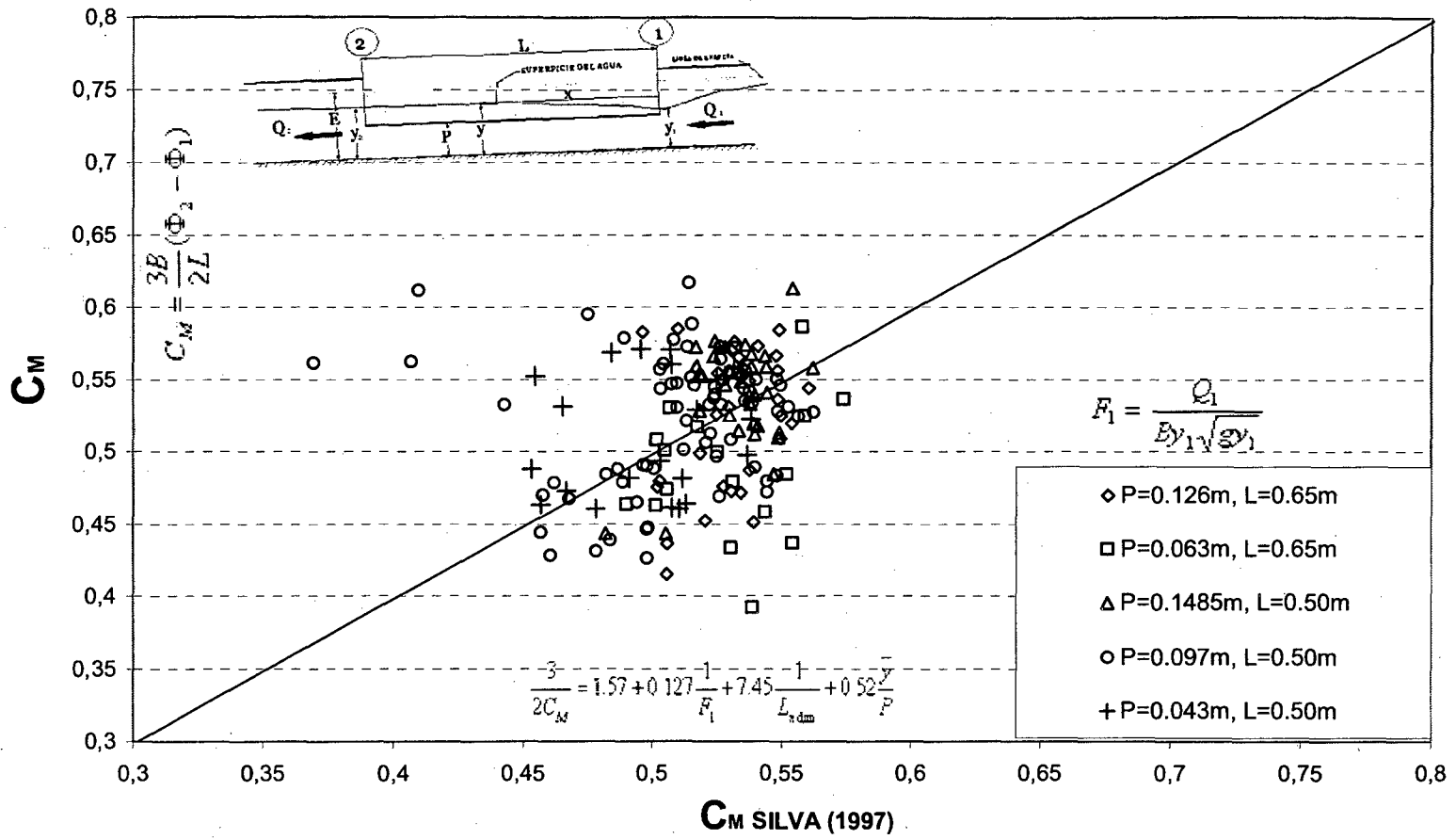


FIG 6.22. COMPARACION DEL COEFICIENTE DE DESCARGA EXPERIMENTAL C_M VS LA EXPRESION OBTENIDA POR SILVA (1997)

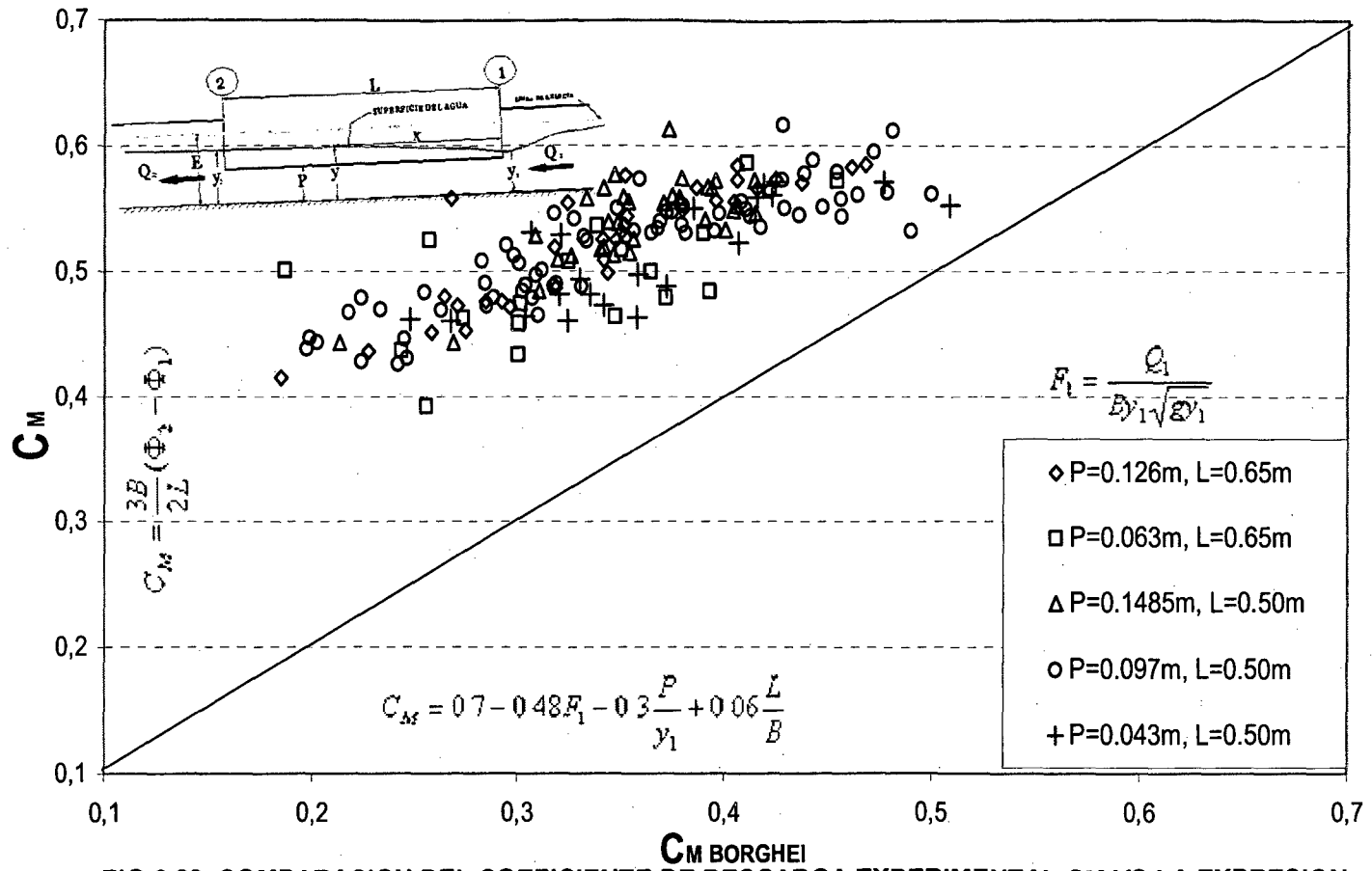


FIG 6.23. COMPARACION DEL COEFICIENTE DE DESCARGA EXPERIMENTAL C_M VS LA EXPRESION OBTENIDA POR JAILILI Y BORGHEI (1999)

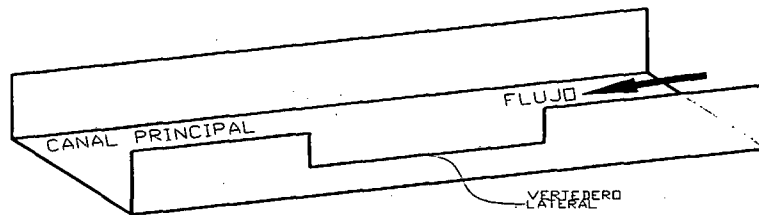
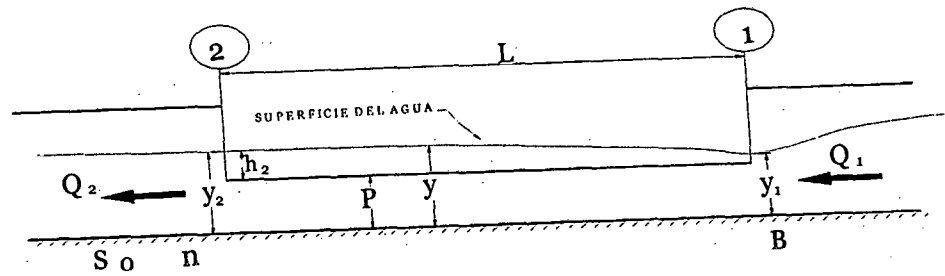
6.6 METODOLOGÍA DE DISEÑO RECOMENDADO.

El problema de diseño que se encuentra frecuentemente en la práctica es el de dimensionar el vertedero lateral y es dado como:

En un canal principal con caudales afluentes variables no debe ser sobrepasado un cierto nivel en el cauce aguas abajo del vertedero lateral.

De acuerdo a estos requerimientos y dadas las dimensiones del canal principal, la rugosidad y pendiente del canal, se conoce el caudal de diseño Q_2 correspondiente al canal principal.

Siendo conocido el caudal afluente Q_1 hay que escoger la longitud del vertedero de tal manera que la diferencia entre Q_1 y Q_2 igual a Q_w pueda ser descargado lateralmente por encima del vertedero lateral.



- Conocido Q_1 , Q_2 , Q_w , B , n , S_o , P , se calcula y_2 con la ecuación de Manning

$$Q_2 = \frac{AR^{2/3}S_o^{0.5}}{n}$$

- Se calcula la energía específica en la sección 2.

$$E = y_2 + \frac{Q_2^2}{B^2 y_2^2 2g}$$

- Se calcula la profundidad de flujo aguas arriba del vertedero lateral bajo la hipótesis de que la energía específica se conserva a lo largo del vertedero mediante la ecuación:

$$E = y_1 + \frac{Q_1^2}{B^2 y_1^2 2g}$$

- Se calcula el número de Froude aguas arriba del vertedero lateral, comprobando que el flujo sea Subcrítico.

$$F_1 = \frac{Q_1}{B y_1 \sqrt{g y_1}}$$

- Se calcula el coeficiente de descarga lateral mediante la expresión deducida en la investigación.

$$C_{d1g} = 0.2323F_1^2 - 0.218F_1 + 0.614 \quad R^2 = 0,968$$

Para $F_1 < 0.8$

- Finalmente se estima la longitud del vertedero lateral debe tenerse presente que la expresión deducida es aplicable para vertederos de cresta afilada totalmente aireados y de sección prismática rectangular.

$$Q_w = C_{d1g} \frac{2}{3} \sqrt{2g} (y_2 - P)^{3/2} L \quad L = \frac{Q_w}{C_{d1g} \frac{2}{3} \sqrt{2g} (y_2 - P)^{3/2}}$$

NOTA: Hay que tener presente si el diseño requiere el conocimiento de la variación del calculo vertido a lo largo del vertedero lateral y la variación de los niveles de agua con la distancia, se debe de utilizar las expresiones del coeficiente de C_M deducido por Subramanya por tener mayor aproximación a los resultados experimentales .

$$q_w = \frac{dQ_w}{dx} = -\frac{dQ}{dx} = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} (y - P)^{3/2} \quad C_M = 0.611 \sqrt{1 - \left[\frac{3F_1^2}{F_1^2 + 2} \right]}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Qy}{gB^2 y^3 - Q^2} \cdot \left(-\frac{dQ}{dx} \right)$$

Con los cuales calculamos el caudal Q_w a distancia desde el inicio del vertedero lateral y el tirante de flujo en el canal principal.

EJEMPLO NUMERICO DE APLICACION

Diseñar un vertedero lateral de cresta delgada para derivar un caudal de 500 lps en un canal rectangular de concreto liso que tiene un ancho de 2,00 m y una pendiente longitudinal del 0,1 %. El caudal de entrada al canal es de 3,00 m³/s.

Variables conocidas:

$$Q_1 = 3,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_w = 0,50 \text{ m}^3/\text{s}.$$

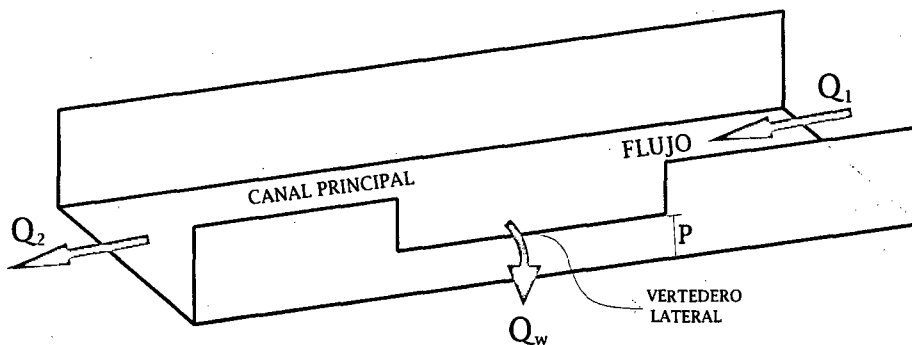
$$Q_2 = 2,50 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$B = 2,00 \text{ m}.$$

$$S_o = 0,001$$

$$n = 0,014 \text{ (Concreto liso)}.$$

$$P = 0,80 \text{ m}$$



Valores calculados (FU aguas abajo del vertedero lateral) con la expresión de Manning:

$$Q_2 = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$y_2 = 0,9079 \text{ m (Profundidad normal)}$$

$$V_2 = 1,3768 \text{ m/s}.$$

$$F_2 = 0,461 \text{ (Flujo subcrítico)}$$

$$E_2 = 1,0045 \text{ m (igual a } y_2 + V_2^2/2g \text{)}$$

Se calcula la profundidad de flujo aguas arriba del vertedero lateral bajo la hipótesis de que la energía específica se conserva en el canal principal mediante la ecuación:

$$E_2 = E_1$$

$$E_2 = 1,0045 \text{ m. (igual a } y_2 + V_2^2/2g \text{)}$$

$$y_1 + Q_1^2 / ((By_1)2g) = 1,0045$$

$$y_1 + 2.52 / ((2.00 * y_1) * 2 * 9.81) = 1,0045$$

$$y_1 = 0,8435$$

$$F_1 = 0,618 \text{ Flujo Subcrítico.}$$

Calculamos el coeficiente de de descarga lateral global C_{dlg} mediante la expresión deducida en la presente investigación para vertederos de cresta delgada ubicados en tramos rectos, de un canal principal de sección rectangular con flujo subcrítico.

$$C_{dlg} = 0,2323 * F_1^2 - 0,218 * F_1 + 0,614 \text{ para } F_1 < 0,8$$

$$C_{dlg} = 0,2323 * 0.618^2 - 0,218 * 0,618 + 0,614$$

$$C_{dlg} = 0,568$$

Finalmente se calcula la longitud del vertedero lateral.

$$Q_w = C_{dlg} \frac{2}{3} \sqrt{2g} (y_2 - P)^{3/2} L$$

Reemplazando valores

$$0,5 = 0,568 * (2 * 9,81)^{0,5} (0,9079 - 0,80)^{1,5} L$$

$$L = 5,61 \text{ m.}$$

CAPITULO VII

CONCLUSIONES.

1. Los resultados experimentales obtenidos en laboratorio muestran mejor ajuste a la curva dada por Subramanya y Awasthy para flujos subcríticos con $F_1 < 0,6$.
2. Los resultados experimentales de las investigaciones sobre el coeficiente de descarga C_M en función del número de Froude de aproximación posee mejor grado de aproximación, mientras las investigaciones que incluyen en expresiones del coeficiente de descarga en función de F_1 , P/y_1 , y los demás parámetros. difieren notablemente de los resultados experimentales.
3. Los ensayos cualitativos utilizando permanganato permitieron evidenciar la existencia de flujos característicos dependientes principalmente del número de Froude F_1 y la lamina de agua encima de la cresta del vertedero h_2 , evidenciando la formación de vortices generados en el fondo.
4. El coeficiente de descarga depende inversamente casi en su totalidad del número de Froude aguas arriba del vertedero F_1 , al plotearse C_M y C_{dlg} vs F_1 se observa una tendencia marcada disminuyendo el valor de C_M y C_{dlg} conforme el número de Froude aumenta.
5. Al plotearse el parámetro P/y_1 se observa una tendencia errática y dispersa con lo cual se concluye que este parámetro tiene pequeña influencia sobre el coeficiente de descarga.
6. Los parámetros B/y_1 , L/y_1 presentan una tendencia muy errática concluyéndose que su influencia sobre el Coeficiente de descarga es despreciable.

7. La representación de C_{dlg} vs el número de Froude F_1 presenta una tendencia muy definida obteniéndose la ecuación, Fig. 6.12

$$Q_w = C_{dlg} \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h_2)^{3/2} L, \text{ en la cual}$$

$$C_{dlg} = -0.2325F_1^2 - 0.218F_1 + 0.6138 \quad R^2 = 0,968 \quad \text{Para } F_1 < 0,8$$

Expresión que verifica que Cuando F_1 se aproxima a cero el coeficiente de descarga de un vertedero lateral resulta ser muy aproximado al de un vertedero frontal con contracción lateral de las mismas dimensiones.

8. Se verifico que la utilización del principio de conservación de energía es valida tal como muestra la figura 6.6.

9. Para flujos con F_1 mayores a 0,6 la superficie del agua se torna ondulada e inestable apareciendo ondas de choque al final del vertedero lateral

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES

1. Utilizar la expresión desarrollada en la presente investigación en el diseño de vertederos laterales de cresta delgada en flujos subcríticos
2. Para números de Froude menores a 0,60 puede utilizarse la expresión de Subramanya y Awasthy o la ecuación derivada en la presente investigación
3. Mantener la pendiente del canal a la entrada y salida del vertedero debiendo esta ser suave.
4. Estudiar la forma de la pared del extremo final del vertedero para disminuir las perturbaciones de flujo .
5. Se recomienda investigar adecuadamente los siguientes tópicos relacionados con la investigación realizada:
 - El coeficiente de descarga de un vertedero lateral en flujo supercrítico

CAPITULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azevedo, Netto-Alvarez, G. "Manual de Hidráulica", Editorial Harla, México, 1978
2. Bakhmeteff, B. "Hidraulica de los Canales", Editorial Aguilar, Madrid, España, 1956
3. Balloffet, A. Gotelli, Meoli, "Hidraulica" Biblioteca Ediar de Ingeniería, Buenos Aires, Argentina, Tomo II. 1955.
4. Borghei, S. M., Jalili, M. R., and Ghodsian, M. 1999. "Discharge coefficient for sharp-crested side weirs in subcritical flow." J. Hydr. Engrg., ASCE, 125(10), 1051-1056. 1999.
5. Coronado F., "Diseño y Construcción de Canales", Editorial El monitor, Lima 1992.
6. Cheong, H.F. Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE 117 (4):461-475, 1991.
7. Chow, V.T Open channel hydraulics. McGraw-Hill Inc., New York. 1959.
8. Das, A. Spatially varied flow over an embankment side weir. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 123 (4):314-317. 1997.
9. De Marchi, G. "Saggio Di Teoria Di Funzionamento Degli Stramazzi Laterali." L'Energia Elettrica, Milano, Italy, 11, 849-860. 1934.
10. Domínguez, F. "Hidráulica". Editorial Universitaria. Universidad de Chile. 1974
11. El-Khashab, A. and Smith, K. V. H. "Experimental investigation of flow over side weirs," J. Hydraulics Div., Proc. ASCE, vol. 102, no. HY9, pp. 1255-1268. 1976.
12. French, R. "Open Channel Hydraulics", McGraw-Hill Inc., USA, 1998.
13. Frederick, M. "Manual del Ingeniero Civil", McGraw-Hill Inc., UAM-México, Tomo IV, 1994.
14. Hager, W. H. "Lateral outflow over side weirs," J. Hydraulic Engineering, vol. 113, no. 4, pp. 491-504. 144-160, 1987.

15. Henderson, F.m. "Open Channel Flow", Mac Millan Series in Civil Engineering, New York-U.S.A., 1966.
16. King, Horace Williams. "Manual de Hidráulica". Unión Tipográfica Editorial Hispanoamérica, México, D.F., 1962.
17. León C, A. "Socavación Alrededor de Pilares Cilíndricos en Lechos No Cohesivos". universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. 2000.
18. Potter, M. , Wiggert, D. "Mecánica de Fluidos", Prentice Hall., México, 1997
19. Ranga Raju, K.G., B. Prasad and S.K. Gupta. Side weir in rectangular channel. J. Hyd. Eng., ASCE, 105 (5):547-554, 1979.
20. Rammamurthy, A. S., Zhu, W., y Vo, D. "Rectangular Lateral Weirs in Circular Open Channels." Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 121, No. 8, pp. 608-612, 1995.
21. Rodríguez Z, E. "Tablas y Gráficos Para Canalizaciones Rectangulares, Trapezoidales y Circulares". Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. 1978.
22. Shames I. "La Mecanica de Los Fluidos" McGraw-Hill Inc., España, 1967.
23. Silva, I. "Descarregadores Laterais . Modelação física e matemática" IST, Lisbon. 1997
24. Singh, R., D. Manivannan and T. Satyanarayana. Discharge coefficient of rectangular side weirs. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 120(4):814-819, 1993.
25. Subramanya, K. and S. C. Awashthy. Spatially varied flow over side-weirs. J. Hyd. Eng., ASCE, 98(1):1-10, 1972.
26. Swamee, P.K., S.K Pathak, M. Mohan, S.K Agrawal, and S.A Masoud. Subcritical flow over rectangular side weir. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 120(1):212-217, 1994.
27. U. S. Bureau Reclamation. " Diseno de presas pequenas " Editorial Continental S.A., Mexico, D.F., 1976
28. U. S. Bureau Reclamation. " Design of small Canal Structures " 1978.
29. Uyumaz. A. y Muslu Y. "Flow over side weirs in circular channels." Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 111, No. 1, 1985.
30. Volkart, P.U. Spatially varied flow over short side weirs in channels of circular shape. Proceedings XX IAHR, 1983.