

SIMULACIÓN NUMÉRICA Y VALIDACIÓN DE LAS ACCIONES HIDRODINÁMICAS EN CUENCOS DE DISPACIÓN DE ENERGÍA

Luís G. Castillo Elsitdié¹ José María Carrillo Sánchez¹

Línea prioritaria D. Seguridad de presas. Aspectos hidrológicos e Hidráulicos

(1) Grupo de I+D+i Hidr@m. Departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos.
Universidad Politécnica de Cartagena.
Escuela de Ingeniería Civil, Paseo Alfonso XIII, 52, 30203, Cartagena.
e-mail: luis.castillo@upct.es, jose.carrillo@upct.es

La metodología de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) que permite simular flujos multifásicos se pueden agrupar en dos tipos generales: el modelo Euleriano y el modelo de transporte de partículas de Lagrange. El modelo Euleriano multifásico consta de dos sub-modelos: el modelo homogéneo y el modelo de transferencia interfluido o modelo inhomogéneo. En este tipo de modelo, cada fluido tiene su propio campo e interactúan en la interfase a través de términos de transferencia, existiendo de esta forma un campo de solución para cada fase.

Los diferentes métodos implementados en CFD se basan en la solución numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes y promediado de Reynolds, junto con modelos de turbulencia de distintos grados de complejidad, que van desde los modelos algebraicos de vorticidad para la viscosidad ($k-\varepsilon$, RNG , $k-\varepsilon$, $k-\omega$), hasta los modelos de tensión de Reynolds (RMS).

En el reintegro de los caudales desaguados por los órganos de desagüe mediante cuencos de amortiguación, la disipación de energía se produce principalmente mediante la generación de turbulencia. En las dos tipologías básicas (cuencos de resalto y cuencos de vertido en caída libre) aparecen fenómenos de alta turbulencia y aireación, que no pueden ser convenientemente estudiados con las metodologías clásicas.

Teniendo en cuenta esta problemática, y partiendo de los distintos resultados experimentales que existen, el grupo Hidr@m está llevando a cabo diferentes estudios para caracterizar velocidades (instrumentación Doppler), presiones (transductores piezoresistivos) y aireación (fibra óptica), en algunos cuencos de disipación de energía, tanto en la lámina vertiente como en el cuenco.

Los resultados de laboratorio sirven de base para validar y calibrar algunos programas comerciales CFD de tipo Euleriano (ANSYS-CFX y FLOW-3D). Más adelante se espera validar algunos programas de tipo Lagrangiano (XFLOW y MDST).



Grupo I+D+i en Ing. Hidráulica, Marítima y Medio Ambiental

Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)



SIMULACIÓN NUMÉRICA Y VALIDACIÓN DE LAS ACCIONES HIDRODINÁMICAS EN CUENCOS DE DISPACIÓN DE ENERGÍA

Luís G. Castillo Elsitdié
José María Carrillo Sánchez





Introducción

Caracterización del fenómeno

Modelo reducido

Modelación numérica

Objetivos

Programas CFD → Resuelven los problemas de Mecánica de Fluidos, solucionando numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes y promediado de Reynolds:

Ecuación de Continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0$$

Ecuación de Momentum:

$$\frac{\partial (\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + S_M$$

Ecuación de la Energía:

$$\frac{\partial (\rho h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{tot}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (U \cdot \tau) + U \cdot S_M + S_E$$

Para resolver el problema de clausura (más incógnitas que ecuaciones), se han desarrollado diferentes algoritmos que tienen en cuenta los modelos de turbulencia.



Introducción

Caracterización del fenómeno

Modelo reducido

Modelación numérica

Objetivos

Modelos generales de turbulencia

- Escala de disipación viscosa ($k-\varepsilon$, RNG , $k-\omega$)
- Tensiones de Reynolds (RMS)

Modelos de turbulencia multifásicos

- Modelos algebraicos:
 - Modelo de la ecuación cero
 - Modelo de la ecuación cero de fase dispersada
- Modelo de dos ecuaciones ($k-\varepsilon$)
- Modelo de tensiones de Reynolds

Introducción

Caracterización del fenómeno

Modelo reducido

Modelación numérica

Objetivos

Disipación de energía en el vertido por coronación se realiza mediante:

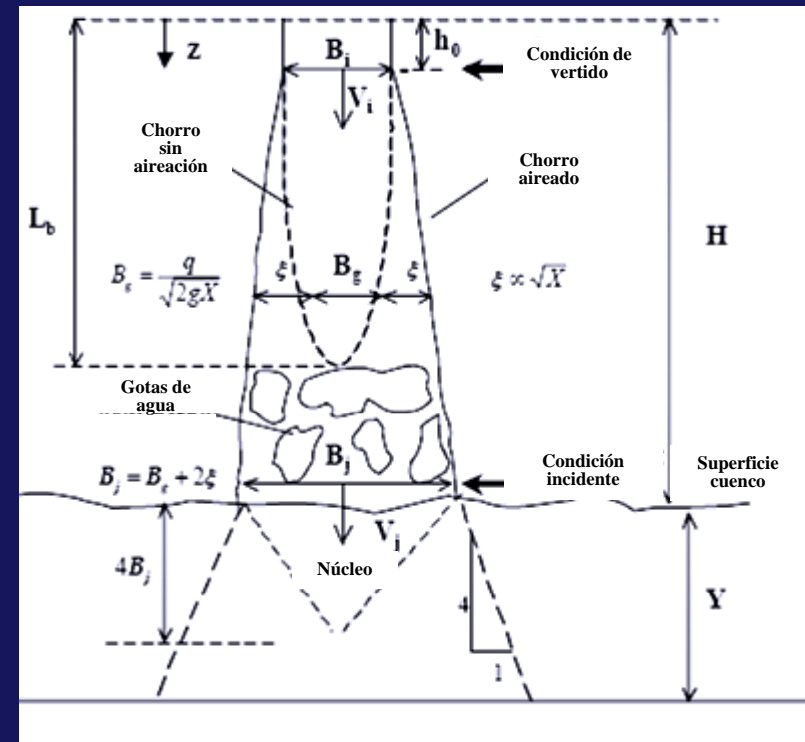
1) *Disgregación del chorro*

AIREACIÓN + ATOMIZACIÓN

2) *Arrastre de aire del chorro cuando entra en el cuenco*

3) *Difusión en el cuenco*

4) *Impacto en la solera del cuenco*



Introducción

Caracterización del fenómeno

Modelo reducido

Modelación numérica

Objetivos

Se han de considerar:

- 1) Condiciones de vertido

$$V_i = \sqrt{2gh_0}$$

$$B_i$$

$$h_0 \approx 2h \quad (h \rightarrow \text{Altura de energía})$$

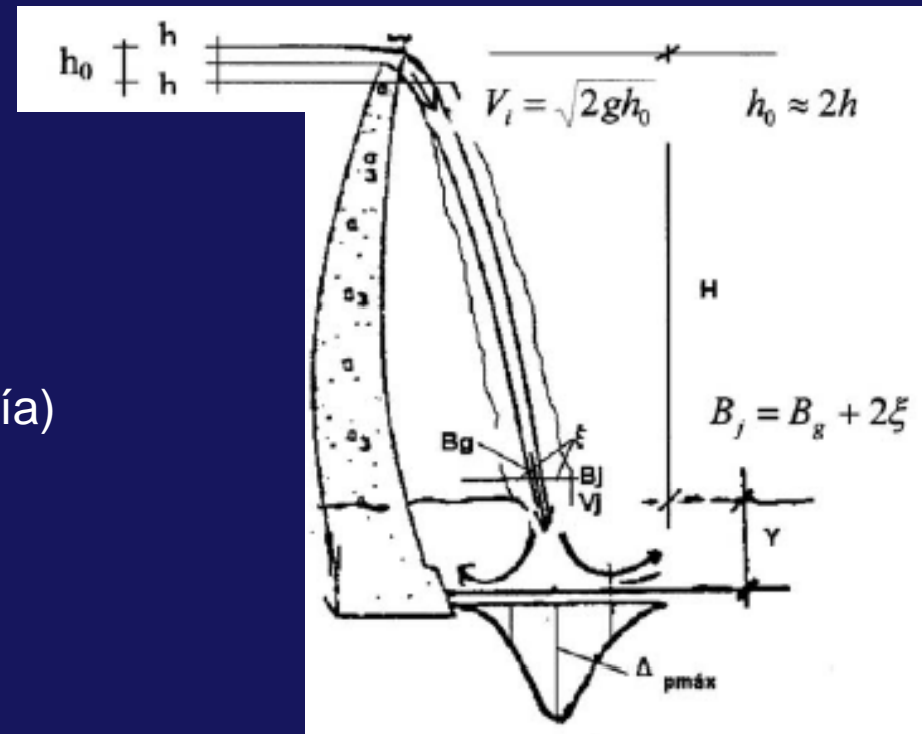
- 2) Condiciones de impacto

$$V_j$$

$$B_j = B_g + 2\xi$$

$B_g \rightarrow$ Ancho por condiciones gravitatorias

$\xi \rightarrow$ Distancia lateral de difusión del chorro por efectos de aireación y turbulencia





Introducción

Caracterización
del fenómeno

Modelo
reducido

Modelación
numérica

Objetivos



Rango caudales:
 $Q = 30 - 170$ l/s

Dispositivo móvil
(alturas de vertido
entre 1.7 y 4 m)

Cuenca fija de
disipación
(medidas de presión,
velocidad y aireación)

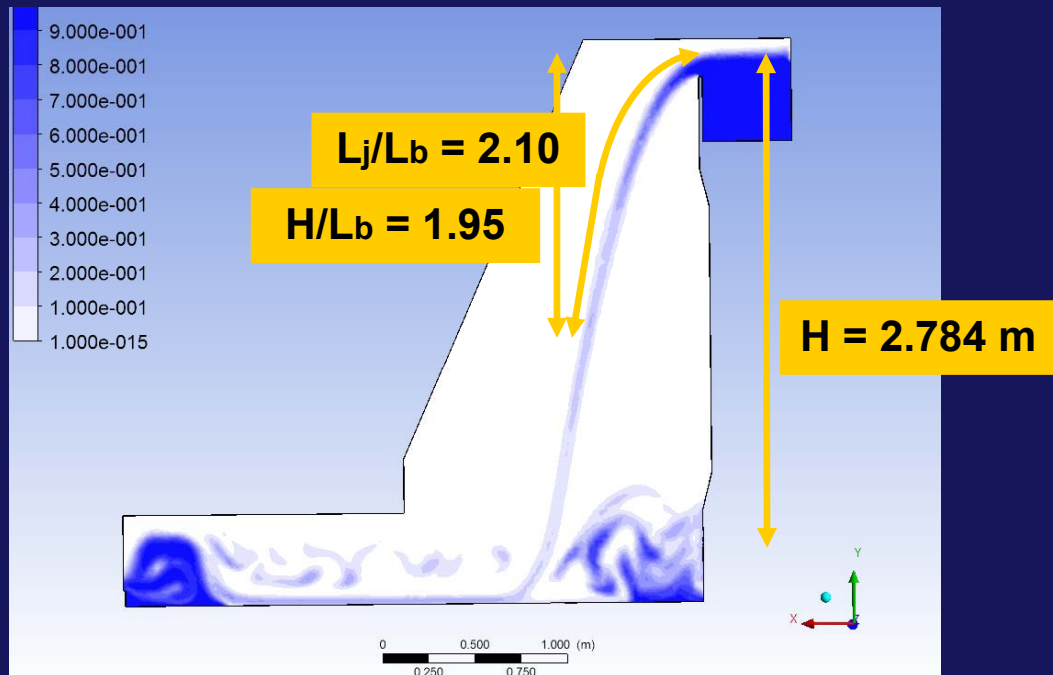
Canal de desagüe y
aforo

Consideraciones:

Régimen transitorio (60 segundos)

Cálculo homogéneo

Modelo de turbulencia *Shear Stress Transport* (basado en $k-\omega$)



Simulación bidimensional

Número de elementos
75.452

Intervalo de paso
0.025 segundos

Tiempo de cálculo
35 horas 33 minutos

Introducción

Caracterización
del fenómeno

Modelo
reducido

Modelación
numérica

Objetivos

Primeras comparaciones simulación-modelo reducido: Forma de la lámina vertiente (vuelo y ancho de chorro incidente)

$h_{vert} = 0.094 \text{ m}$

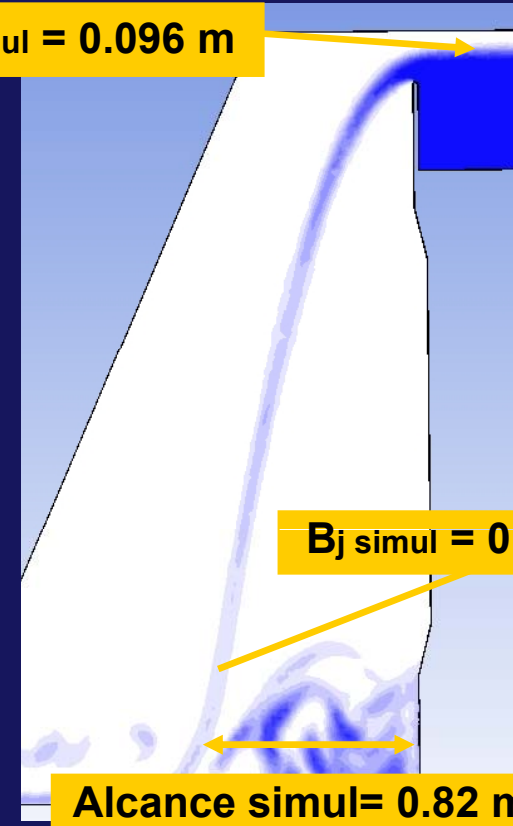
$B_j = 0.032 \text{ m}$

Alcance real = 0.76 m

$h_{vert} \text{ simul} = 0.096 \text{ m}$

$B_j \text{ simul} = 0.035 \text{ m}$

Alcance simul = 0.82 m



Primeras comparaciones simulación-modelo reducido: Registro de velocidades obtenidas en la entrada y en la solera



$V_{\text{vert}} = 0.794 \text{ m/s}$

$V_{\text{teórica}} = 7.53 \text{ m/s}$

$T_u = 0.01$ ($T_u^* = 0.0055$)

$C_p = 0.14$

$\Delta E = 1 - 0.14 = 0.86$

$V_{\text{deduc.}} = 6.48 \text{ m/s}$



$V_{\text{incid simul.}} = 6.46 \text{ m/s}$

Introducción

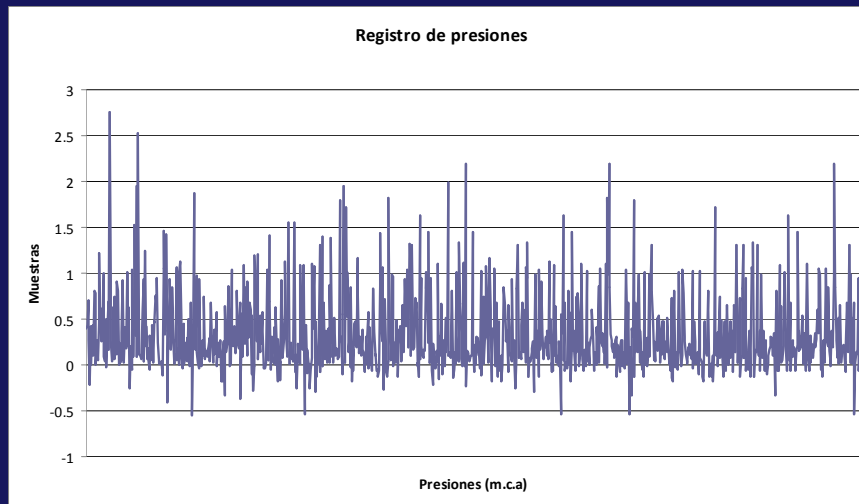
Caracterización
del fenómeno

Modelo
reducido

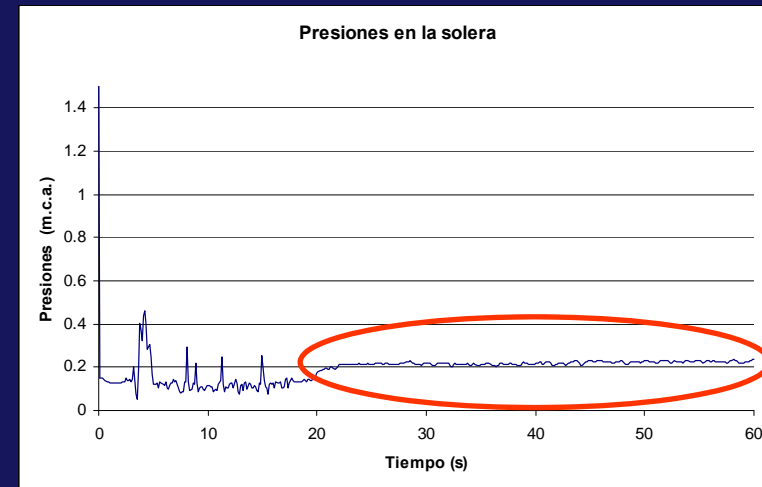
Modelación
numérica

Objetivos

Primeras comparaciones simulación-modelo reducido: Registro de presiones en la solera del cuenco



$P_{\text{real}} = 0.27 \text{ m.c.a.}$



$P_{\text{simul}} = 0.23 \text{ m.c.a.}$



Objeto de la investigación → Profundizar en la línea ya establecida mediante medición, caracterización de parámetros, verificación de los existentes y establecimiento de un modelo físicamente basado

Para llevar a cabo la investigación:

1) **Modelo físico** → Construido en el Laboratorio de Ingeniería Hidráulica de la UPCT

Medidas → Presiones (transductores presión piezoresistivos); velocidades (ADV); velocidades y geometría (cámara de alta velocidad); y diferentes tasas de aireación (fibra óptica)

2) **Modelos matemáticos** → Calibrados con el modelo físico

- Eulerianos → ANSYS-CFX, FLOW 3D...
- Lagrangianos → XFLOW, MDST...