

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 1 DE 12 HOJAS

1 Planificación

Es muy importante que aquellos problemas hidráulicos que necesitan ser estudiados experimentalmente, se analicen detalladamente.

Las variables que pueden intervenir en un problema cualquiera de mecánica de los fluidos se puede reducir a ocho, cómo se vio en la unidad anterior, que son: fuerza (F), longitud (L), velocidad (v), la densidad (δ), la viscosidad dinámica (μ), la aceleración de la gravedad (g), la velocidad del sonido (c), y la tensión superficial (σ).

Si quisiéramos construir una serie de nuevas bombas centrífugas, se necesitan ensayos experimentales en que se introduzcan y comprueben variantes de diseño (diámetro del rodete, forma de los álabes o paletas, etc.). Para ello se podría proceder así:

- a) Construir un prototipo del mismo tamaño y
- b) Considerar una de las variables, por ejemplo el rendimiento como variable dependiente, función de las restantes variables que intervienen en el fenómeno. Los resultados obtenidos en el banco de pruebas se podrían representar mediante curvas. Una función de una variable se puede representar por una curva. Una función de dos variables se puede representar por una curva. Una función de dos variables se pueden representar por un ábaco o familia de curvas, una curva para cada valor de la tercera variable. Una función de tres variables se puede representar por una serie de ábacos; un ábaco por cada valor de la cuarta variable y, así sucesivamente.

Este procedimiento prácticamente resulta irrealizable, porque:

- En cuanto a la condición a: si la máquina o estructura hidráulica es grande (por ejemplo, turbina hidráulica de 100000kW, presa de una central hidroeléctrica, etc.) sería antieconómico y muchas veces irrealizable construir un prototipo a escala 1/1, realizar las modificaciones requeridas por la experimentación, etc.; a causa de los gastos de energía, personal, instalaciones, etc.
- En cuanto a la condición b: si para cada curva se necesitan 10 puntos experimentales, cada ábaco ha de tener 10 curvas, y se han de hacer 10 ábacos, la representación experimental de un fenómeno con 3 variables independientes requeriría 1000 puntos experimentales. Ahora bien, el coste de la obtención de un solo punto experimental puede muchas veces ser muy elevado. Si las variables independientes son más de 3, el problema se complica en progresión geométrica.

En la práctica la condición a se sustituye por la siguiente:

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 2 DE 12 HOJAS

1- No se ensaya un prototipo a escala 1/1, sino un modelo reducido a escala 1/10 ó 1/100, por ejemplo.

La condición b se sustituye por la siguiente:

Se reduce el número de variables. Como veremos en la investigación experimental de un fenómeno en Mecánica de Fluidos se puede reducir el número de variables en la mayor parte de los casos a una variable dependiente y a otra independiente. Así por ejemplo, el coeficiente de pérdida de carga en una tubería lisa que prácticamente es función sólo del número de Reynolds Re , aunque Re a su vez es una función de varias variables:

La condición 1 plantea el siguiente problema: ¿Cómo predecir el comportamiento del prototipo a partir de los resultados obtenidos experimentalmente en un modelo a escala? Resuelto este problema queda abierto el camino a la experimentación con modelos.

La condición 2 plantea el problema de la reducción del número de variables. En primer lugar las ocho enumeradas se redujeron a cinco que son los ya mencionados:

- El número de Euler, $E = \frac{v}{\sqrt{2\Delta p/\rho}}$
- El número de Reynolds, $Re = \frac{vL\rho}{\mu}$
- El número de Froude, $Fr = \frac{v}{\sqrt{Lg}}$
- El número de Mach, $Ma = \frac{v}{\sqrt{\frac{k}{\rho}}}$
- El número de Weber, $We = \frac{v}{\sqrt{2\sigma/\rho L}}$

De esta manera, en el caso general el estudio de un fenómeno consistiría en la investigación experimental de la función

$$E = f(Fr, Re, Ma, We) \quad (1)$$

Antes de abordar experimentalmente un problema mediante ensayos con un modelo reducido, se hace un estudio previo para determinar de las cinco fuerzas (gradiente presión, gravedad, viscosidad, elasticidad y sección superficial), cuál es aquella de la que fundamentalmente depende el problema concreto.

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 3 DE 12 HOJAS

Entonces:

a) Si sólo interviene la fuerza debida al gradiente de presiones el número de Euler, E , será automáticamente igual en el prototipo que en el modelo.

b) Si además de la fuerza debida al gradiente de presiones interviene solo la gravedad, la ec. 1 se reducirá a

$$E = f(Fr)$$

Y se harán los ensayos de manera que los números de Froude, Fr sean iguales en el modelo y en el prototipo, y solo entonces serán iguales también los números de Euler, E .

c) Si además de la fuerza debida al gradiente de presiones interviene solo la viscosidad, la ecuación 1, se reducirá a:

$$E = f(Re)$$

y se harán los ensayos de manera que los números de Reynolds, Re , sean iguales en el modelo y prototipo, y solo entonces serán iguales también los números de Euler, E .

d) Si además de la fuerza debida al gradiente de presiones interviene solo la elasticidad, la ec. 1 se reducirá a:

$$E = f(Ma)$$

y se harán los ensayos de manera que los números de Mach, Ma , sean iguales en el modelo y en el prototipo, y solo entonces serán iguales también los números de Euler, E .

e) Si además de la fuerza debida al gradiente de presiones interviene solo la tensión superficial, la ec. 1 se reduce a:

$$E = f(We)$$

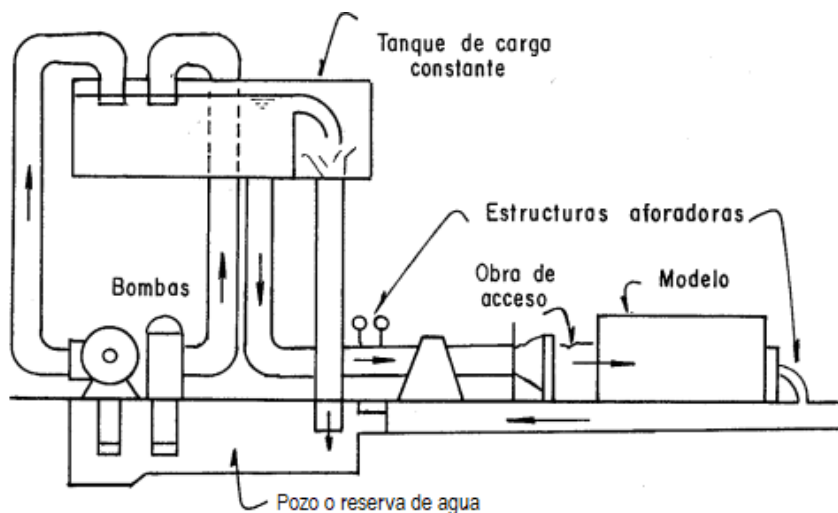
y se harán los ensayos de manera que los números de Weber, We , sean iguales en el modelo y en el prototipo, y solo entonces serán iguales también los números de Euler, E .

2 Componentes básicos de un Laboratorio Experimental

Los componentes básicos de un modelo y sus obras accesorias son:

- Pozo de bombeos o reservorio de agua
- Bombas
- Tanques de carga constante
- Obra de acceso
- Modelo
- Canal de retorno
- Estructuras aforadoras

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 4 DE 12 HOJAS



2.1 Pozo de bombeo o reservorio de agua

Es un depósito, usualmente subterráneo, de dónde las bombas succionan el agua. Debe tener un volumen adecuado para que no se vacíe al llenar al o los modelos. Es conveniente que su fondo tenga pendiente hacia un colector de lodos, de fácil acceso para su limpieza, y que cuente con un desagüe en el fondo para poder vaciarlo. Hay depósitos con volúmenes desde 20 a 800 m³ y más, aunque la tendencia actual es construir modelos con su propio sistema de recirculación que consuman menos energía al operarlos.

2.2 Bombas

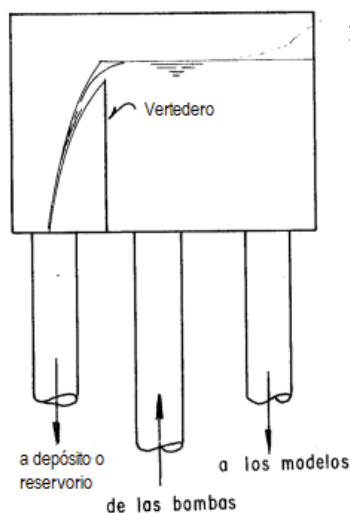
Estas elevan el agua desde el nivel del depósito hasta el tanque de carga constante o hasta la obra de acceso del modelo.

Usualmente elevan el nivel de 3 a 8 m con gastos, en conjunto, de 50 a 2000 l/s. Se recomienda que cuando menos una de las bombas tenga válvula de pie o carga de succión positiva, para facilitar el cebado al iniciar la operación del modelo.

2.3 Tanques de carga constante

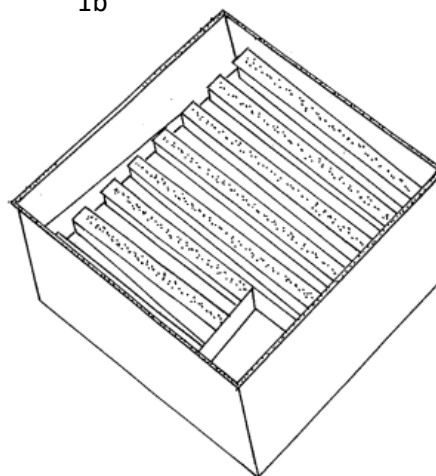
Este es un tanque elevado dividido en dos secciones por medio de un vertedero (Fig.1a). Opera en tal forma que, a pesar de que haya grandes variaciones en el caudal que va de las bombas hacia el o los modelos, la carga del flujo se mantiene constante. Esto se logra con vertedero de cresta muy larga, por ejemplo con la geometría que se muestra en la Fig 1b. Hay que verificar que el tubo de retorno pueda descargar el caudal sumado de todas las bombas, aun cuando no se esté ensayando ningún modelo, para evitar derrames.

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 5 DE 12 HOJAS



1a

1b



En laboratorios chicos, si cada modelo se abastece de una sola bomba, se puede suprimir el tanque de carga constante y usar algún tipo de control hidráulico; de no tener ningún control es necesario verificar el caudal no cambie durante las mediciones.

2.4 Obras de acceso

En estas obras el escurrimiento se tranquiliza y se dirige, para dar las condiciones, en el modelo, lo más parecidas posibles a las de llegada del flujo en el prototipo.

Para tranquilizar el flujo se pueden usar piedras, ladrillos, rejillas y mallas (Fig. 2). Hay que colocarlas de mayor a menor en dirección del flujo; empezando con las piedra de mayor diámetro y terminando con mallas finas metálica. Es importante reproducir la dirección del flujo que se espera en la porción de prototipo que se está modelando, por lo que hay que tener cuidado con la geometría del acceso, o corregir el movimiento por medio de vanos.

2.5 Modelo

Es la estructura que representa al prototipo, que cumple los criterios de semejanza geométrica, cinemática y dinámica.

2.6 Canal de Retorno

En este canal cae el agua una vez que pasó por el modelo para ser regresada al depósito o reservorio de agua. Debe tener la sección y pendiente necesaria para que pueda descargar el caudal máximo aun cuando el depósito de agua esté a máximo nivel. Es común que el canal de retorno esté enterrado en el piso, cubierto con rejillas, de manera que también sirva para drenar el piso del laboratorio.

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 6 DE 12 HOJAS

2.7 Estructuras aforadoras

Son las estructuras para medir los caudales en los ensayos. Se pueden colocar antes o después del modelo y, en ocasiones, antes y después para verificar el caudal. Cada estructura aforadora utiliza parte de la carga vertical disponible, por lo que en modelos con restricciones de altura hay que seleccionarlas con cuidado.

3 Construcción de un modelo

En la construcción de un modelo debe considerarse:

1. Cuidar la exactitud de las medidas y el nivel de terminación que exige el modelo, especialmente en aquellos puntos donde se producen cambios bruscos en la dirección de la corriente.
2. Las aberturas de piezómetros no deben presentar discontinuidades, ni rebabas salientes dentro o fuera de la abertura
3. Es necesario disponer de un depósito de agua y de aparatos de regulación y medición de caudales. Entrada: vertedero triangular en cámara de carga y aquietadora. Salida: compuerta o válvula
4. En modelos de río se necesita espacio, caudal suficiente y una cisterna de almacenamiento de agua.

3.1 Escalas

El primer paso que hay que dar para construir un modelo es decidir su tamaño, o sea la escala de longitudes.

$$L_e = \frac{L_p}{L_m}$$

Obviamente a mayor tamaño (menor escala), el modelo será más caro y las mediciones mejores; a menor tamaño (mayor escala), será más económico, pero los resultados serán de menor calidad. En la selección de la escala del modelo los factores más importantes, además del económico, son:

- el tamaño del lugar donde se va a construir el modelo,
- la capacidad del equipo de bombeo y, eventualmente,
- la rugosidad de lo que se va a modelar.

En los flujos donde influye la rugosidad, se recomienda para:

$$10 < L_e < 100 \text{ Vertederos}$$

$$10 < L_e < 60 \text{ Tanques amortiguadores}$$

$$3 < L_e < 20 \text{ Estructuras en canales y caídas}$$

$$50 < L_e < 100 \text{ Obras de toma y embalses}$$

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 7 DE 12 HOJAS

Se pueden distinguir en general dos tipos de modelos, según el comportamiento del nivel de la superficie del agua:

1. los modelos de estructura, en que rige principalmente la ley de Froude
2. los modelos de río, en que rige principalmente la ley de Reynolds

3.1.1 Escala en modelos de estructura

En estos modelos predomina la fuerza de gravedad. Entonces se tienen en cuenta distintos parámetros para analizar las escalas.

3.1.1.1 Escalas de velocidades

$$vr = \frac{vm}{vp} = \frac{lm \times tp}{tm \times lp} = \frac{Lr}{Tr} = Lr \times Lr^{-1/2} = Lr^{1/2}$$

3.1.1.2 Escalas de caudal

$$Qr = \frac{Qm}{Qp} = \frac{lm^3 \times tp}{tm \times lp^3} = \frac{Lr^3}{Tr} = Lr^3 \times Lr^{-1/2} = Lr^{5/2}$$

3.1.1.3 Escalas de aceleración

$$Ar = \frac{Am}{Ap} = \frac{lm \times tp^2}{tm^2 \times lp} = \frac{Lr}{Tr^2} = Lr \times Tr^{-2} = Lr \times Lr^{-1} = 1$$

3.1.1.4 Escalas de fuerza

$$Fr = \frac{Fm}{Fp} = \frac{Mm \times lm \times tp^2}{tm^2 \times Mp \times lp} = \frac{Mr \times Lr}{Tr^2}$$

$$Fr = Lr^3 \times Lr \times Lr^{-1} = Lr^3$$

3.1.1.5 Escalas de trabajo

$$Wr = \frac{Wm}{Wp} = \frac{Mm \times lm^2 \times tp^2}{tm^2 \times Mp \times lp^2} = \frac{Mr \times Lr^2}{Tr^2}$$

$$Wr = Lr^3 \times Lr^2 \times Lr^{-1} = Lr^4$$

3.1.1.6 Escalas de potencia

$$Pr = \frac{Pm}{Pp} = \frac{Mm \times lm^2 \times tp^3}{tm^3 \times Mp \times lp^2} = \frac{Mr \times Lr^2}{Tr^3}$$

$$Wr = Lr^3 \times Lr^2 \times Lr^{-3/2} = Lr^{7/2}$$

3.1.1.7 Escalas de presión

$$Pr = \frac{Pm}{Pp} = \frac{Mm \times lm \times tp^2 \times lp^2}{tm^2 \times lm^2 \times Mp \times lp} = \frac{Mr \times Lr}{Tr^2 \times Lr^2}$$

$$Pr = Lr^3 \times Lr \times Lr^{-1} \times Lr^{-2} = Lr^7$$

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 8 DE 12 HOJAS

3.1.1.8 Escalas de tensión

$$\sigma_r = \frac{\sigma_m}{\sigma_p} = \frac{Mm \times lm \times tp^2 \times lp^2}{tm^2 \times lm^2 \times Mp \times lp} = \frac{Mr \times Lr}{Tr^2 \times Lr^2}$$

$$\sigma_r = Lr^3 \times Lr \times Lr^{-1} \times Lr^{-2} = Lr$$

3.1.2 Escala en modelos de ríos

Los Modelos de Ríos están regidos por el rozamiento, los cambios en los niveles de agua son graduales, en general no tiene mucha influencia la fuerza de la gravedad. Para definir las escalas hidrodinámicas se usan los conceptos de Manning. Se pueden clasificar en:

Modelos perfectos: esc. vertical = esc. Horizontal

Modelos distorsionados: esc. vertical \neq esc. horizontal

En estos casos las escalas serían consideradas así:

3.1.2.1 Escalas de velocidades

En este caso la velocidad se calcula

$$v = \frac{Rh^{2/3} \times i^{1/2}}{n}$$

$$vr = \frac{Lr^{2/3}}{nr} \Rightarrow \text{Perfectos} \Rightarrow Hr = Lr$$

$$vr = \frac{Hr^{7/6}}{Lr^{1/2} \times nr} \Rightarrow i = \frac{Hr}{Lr} \Rightarrow \text{Distorsionados} \Rightarrow Hr \neq Lr$$

3.1.2.2 Escalas de caudal

En este caso el caudal se calcula

$$Q = \frac{Rh^{2/3} \times i^{1/2} \times h \times l}{n}$$

$$Qr = \frac{Lr^{8/3}}{nr} \Rightarrow \text{Perfectos}$$

$$Qr = \frac{Hr^{13/6} \times Lr^{1/2}}{nr} \Rightarrow \text{Distorsionados}$$

En ciertos casos las fuerzas de gravedad y de rozamiento deben quedar satisfechas simultáneamente, entonces se considera:

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 9 DE 12 HOJAS

$$vr = \frac{Lr^{2/3}}{nr} = Lr^{1/2} \Rightarrow nr = \frac{Lr^{2/3}}{Lr^{1/2}} = Lr^{1/6}$$

$$\Rightarrow nr = Lr^{1/6} \Rightarrow \text{Perfectos}$$

$$vr = \frac{Hr^{7/6}}{Lr^{1/2} \times nr} = Lr^{1/2}$$

$$\Rightarrow nr = \frac{Hr^{7/6}}{Lr} \Rightarrow \text{Distorsionados}$$

3.1.3 Comparación entre modelos perfectos y distorsionados

MODELO PERFECTO	MODELO DISTORSIONADO
Ventajas	Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reproduce con exactitud las condiciones que rigen el movimiento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuerza de arrastre suficiente para el movimiento del lecho del río ▪ Pendiente pronunciada y fácil de medir
Desventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pendientes de superficie de agua muy planas ▪ Complejidad en la medición de profundidades ▪ Complejidad en la producción del arrastre en el lecho 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No hay semejanza en la magnitud y distribución de velocidades ▪ Los meandros de ríos, desmontes y diques pueden resultar muy pronunciados ▪ No se adaptan a las fuerzas de gravedad y rozamiento simultáneamente ▪ Sólo se aplican en corrientes con movimiento permanente variado

3.2 Materiales de construcción

- Acero: estructuras de apoyo en delos de gran tamaño. Ej: superficies de aliviaderos (Fig. 3.1).
- Hormigón: se utiliza cuando el modelo tiene carácter de permanente. En aquellos en que es necesario realizar modificaciones es más útil la madera o chapa metálica. Ej: modelos de las entradas de compuertas.
- Madera: es fácil de trabajar variando su forma, económica, permite cambios de trazado y se maneja fácilmente. El inconveniente es que absorbe agua, se hincha y alabea, perdiendo la forma
- Yeso: cuando no se desea un modelo permanente. Pero se desgasta bajo la acción de agua en movimiento.

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 10 DE 12 HOJAS

- Plásticos transparentes: se utilizan moldeados para formar una estructura o como vienen de fábrica
- Vidrios: en paredes laterales y fondo de canalizaciones. Tienen buena nitidez y resistencia al desgaste. Arena: utilizada para moldear los ríos luego se pavimentan con hormigón para evitar la socavación. Utilizado en modelos de lecho móvil.



Figura 3.1: Modelo hidráulico del desarenador de la Central de San Gabán (ríos Macusani y Corani de Perú)

4 Operación del modelo

La operación del modelo depende de las condiciones específicas de cada tipo de problemas, a continuación se darán una serie de recomendaciones generales.

Antes de iniciar los ensayos es conveniente hacer los siguientes ajustes en el modelo para mejorar la correspondencia con el prototipo y obtener mejores resultados.

1. Verificar que el flujo llegue al modelo en la forma la más parecida, o que se estime sea lo más parecida, al prototipo.
2. Ver que los aparatos de medición estén colocados de acuerdo con las especificaciones y, además, que no alteren el escurrimiento.

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 11 DE 12 HOJAS

3. Comprobar el funcionamiento de las obras de control usadas para dar los gastos o tirantes deseados. En algunos casos el flujo tarda en estabilizarse demasiado tiempo, lo que hace que las mediciones sean tardadas e inexactas. Para evitar esto hay que poner controles eficientes, como tardías e inexactas. Para evitar esto hay que poner controles eficientes, como compuertas con flujo superior y de suficiente cresta y evitar controles por medio de válvulas u orificios.
4. Observar que el escurrimiento sea razonablemente parecido al del prototipo o como se espera que éste sea. Comprobar que se pueden dar las condiciones de escurrimiento que interesan, como caudal o gasto máximo, tirante, etc.
5. Inspeccionar el modelo para encontrar grietas y fugas e impermeabilizarlo si es necesario.

En la etapa de ensayos, es importante seguir un plan que permita obtener el máximo de información. Las mediciones deben ser muy cuidadosas, repitiéndolas, varias veces de preferencia, personas distintas. Es conveniente llevar un bitácora, por ejemplo, una libreta de tránsito, donde se registren no sólo las mediciones sino cualquier observación o comentario que se ocurra durante la prueba. No es recomendable usar hojas sueltas que fácilmente se desordenan y se extravían. Una práctica que mejora mucho la confiabilidad de los resultados es hacer las gráficas de las variables medidas, de preferencia en forma adimensional, como Número de Euler, Froude, Coeficiente de descarga, etc., conforme se vayan haciendo las mediciones; de esta manera, es posible darse cuenta de cualquier error o anomalía mientras se está haciendo el ensayo y hacer las rectificaciones necesarias.

Algo esencial es no olvidar nunca el objetivo final de los ensayos, que es el de dar información acerca de un fenómeno real en prototipo y, además, usar esta información en beneficio de la obra; por lo que debe haber buena y oportuna comunicación entre el experimentador y los ingenieros de diseño o, en su caso, los encargados de la obra.

Una vez terminados los ensayos, se paran las bombas, se drena el modelo y se retira o protege el equipo de medición. Es prudente que aún terminado el estudio se deje el modelo un cierto tiempo sin destruir, pues en varios casos se han rehabilitado modelos que se consideraban obsoletos y se han usado para resolver algún problema o modificación que surgió durante la construcción, y aun operación, de la obra, con lo que se vuelve a pagar con creces su costo y el del espacio ocupado.

FACULTAD DE INGENIERÍA UNCUYO	HIDRÁULICA EXPERIMENTAL	
4º AÑO INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 2: CONSTRUCCIÓN UN MODELO	HOJA Nº 12 DE 12 HOJAS

5 Ejercicios

1. El modelo de un vertedero está construido a escala de longitudes 1:45. Cuando la carga de agua sobre la cresta del modelo es de 0,05 m y el caudal en el modelo $Q_m=42.9$ l/s. Determinar la altura de agua y el caudal del prototipo. Es un modelo de estructura se usa la Ley de FROUDE.

$$L_r = \frac{L_m}{L_p} = \frac{1}{45}$$

La relación de caudal en este caso es:

$$Q_r = \frac{Q_m}{Q_p} = \frac{l m^3 \times t_p}{t_m \times l_p^3} = \frac{L_r^3}{T_r} = L_r^3 \times L_r^{-1/2} = L_r^{5/2}$$

El caudal en el prototipo puede calcularse por la relación:

$$Q_r = \frac{Q_m}{Q_p} \rightarrow Q_p = \frac{Q_m}{Q_r} = \frac{Q_m}{L_r^{5/2}} = 42,9 \left(\frac{l}{s}\right) \left(\frac{45}{1}\right)^{5/2} = 582,76 \text{ l/s}$$

$$Q_r = 582,76 \text{ l/s}$$

La altura sobre el prototipo será:

$$L_r = \frac{L_m}{L_p} \rightarrow L_p = \frac{L_m}{L_r} = \frac{0,05 \text{ m}}{1/45} = 2,25 \text{ m}$$

$$L_r = 2,25 \text{ m}$$

2. A través de una tubería de diámetro 20 cm está fluyendo agua a 15°C a una velocidad de $V=4$ m/s. Calcular la velocidad a la que fluye el fuel-oil medido a 32°C por el interior de una tubería de 10 cm de diámetro para que los dos flujos sean dinámicamente semejantes. Las viscosidades de cada fluido son $\nu_{15} = 1,13 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$; $\nu_{32} = 2,97 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

Es un modelo de tuberías, y por lo tanto se usa la Ley de Reynolds.

Los Reynolds del modelo y prototipo para que haya semejanza deben ser iguales, entonces:

$$R_m = R_p$$

$$\frac{V_m \times D_m}{\nu_m} = \frac{V_p \times D_p}{\nu_p} \rightarrow \frac{4 \left(\frac{m}{s}\right) \times 0,2 \text{ m}}{1,13 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = \frac{V \left(\frac{m}{s}\right) \times 0,1 \text{ m}}{2,97 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \rightarrow V = 21,03 \frac{m}{s}$$