

INCERTIDUMBRE DEL MODELO: IMPORTANCIA DE SU EVALUACIÓN EN ACTIVIDADES EXPERIMENTALES DE FÍSICA

Isabel Ferraris, M. Daniel de la Canal

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue
Buenos Aires 1400. (8300) Neuquén. e-mail: icferrar@yahoo.com.ar
ddlcanal@uncoma.edu.ar

RESUMEN

La Física es una ciencia experimental que utiliza modelos físico-matemáticos para estudiar y describir la realidad. Sus conceptos constituyen una de las bases de la Ingeniería.

El ingeniero trabaja con procesos reales complejos en mayor o menor grado, utilizando modelos teóricos formulados con distintos grados de aproximación.

En general, durante el proceso de construcción de un modelo se dejan de lado características, factores, regularidades, etc., del proceso real con la intención de obtener un sistema más sencillo y simple que permita describir apropiadamente el fenómeno en estudio. Además quedan fuera del modelo factores que por ser desconocidos no pueden ser incluidos.

La incertidumbre del modelo es la diferencia existente entre realidad y modelo. Su análisis y valoración (cualitativa y cuantitativa) permiten evaluar el grado de adecuación con que las leyes físico-matemáticas describen el proceso real en estudio. El tratamiento de la incertidumbre del modelo no es tarea sencilla ya que sus factores en general no están bien definidos. El valor de esta incertidumbre indicaría la exactitud de los resultados obtenidos mediante el modelo teórico.

En este trabajo se presenta, a modo de ejemplo, una actividad experimental de Física clásica de las carreras de ingeniería, donde el alumno frente a un fenómeno real controlado, diseña sus modelos físico-matemáticos y evalúa la incertidumbre del modelo.

Como objetivo pedagógico se propone que el alumno, desde el comienzo de su formación universitaria, aprenda y utilice los conceptos de Física para resolver situaciones reales simples teniendo conciencia del campo de validez de los resultados que obtiene. El reconocimiento de estos límites contribuye a desarrollar criterios útiles y consistentes orientados al proceso la toma de decisiones. Por ejemplo, se podrá decidir si el modelo adoptado es adecuado para poder trabajar con un grado de confiabilidad aceptable o tomar acciones para corregirlo o cambiarlo por otro.

Palabras Claves: modelo, incertidumbre, actividad experimental, hipótesis simplificativas

1. INTRODUCCIÓN

El estudiante de ingeniería de cualquier orientación, aprende Física para utilizarla como una herramienta en el proceso de entender, predecir, controlar y transformar la *realidad*. Esta tiene un alto grado de complejidad que en general queda *aceptablemente* descrito por *modelos* físico-matemáticos elaborados en base a las leyes físicas y las herramientas formales disponibles. En algunas situaciones se puede recurrir a la incorporación de coeficientes o términos de origen experimental para adecuarlas a situaciones más complejas. Es decir, para poder aplicar los conceptos de la ciencia Física a la realidad, necesariamente debemos *simplificarla* tratando de ajustarla a los requerimientos del marco teórico utilizado. Conceptos tales como: esfera, elasticidad, paralelismo, punto, horizontalidad, etc., habituales en los marcos teóricos de la Física, son entes puramente teóricos. Cuando los utilizamos para describir un fenómeno que ocurre en la naturaleza, hacemos una abstracción de lo observado y con fines prácticos, que dependen del objetivo perseguido, lo concebimos “*como si*”, cuando de hecho sabemos que estrictamente no lo es. Es así, que las expresiones físico-matemáticas obtenidas en base a estas simplificaciones, tienen un **campo de validez**, que determina el ámbito dentro del cual constituyen un genuino instrumento de aplicación. Fuera de este campo de validez su utilización debe ser cuidadosa y restringida (estimaciones, determinaciones a priori, etc.). El reconocimiento de estos límites contribuye a desarrollar criterios útiles y consistentes orientados al proceso de toma de decisiones. A modo de síntesis podemos decir que los modelos son siempre aproximados y lo son en distintos grados; entre modelo y realidad existe siempre una diferencia que es lo que llamamos ***incertidumbre del modelo***.

Por otro lado, al comenzar los cursos de Física de las carreras de ingeniería, los alumnos ya cursaron Análisis Matemático y Álgebra por lo que conocen las herramientas formales que necesitarán. Las actividades que se plantean en el proceso de enseñanza aprendizaje de Física, se dividen en general en tres grupos: teóricas, resolución de problemas y actividades experimentales. En estas últimas, realizadas en los laboratorios, el alumno tiene la oportunidad de ponerse en contacto con la realidad de los fenómenos físicos en condiciones controladas. En este ámbito puede explorarla y comprenderla en un proceso personal y grupal que es coordinado por el docente. Entre los objetivos pedagógicos que se pueden plantear señalamos entre otros, por ejemplo, que el alumno aprenda a: aplicar los conceptos teóricos aprendidos previamente, identificar las características de los fenómenos físicos reales en estudio, utilizar el método científico para el análisis de una situación experimental, formular modelos físico-matemáticos, realizar en forma adecuada las mediciones y el tratamiento de los datos registrados y sus incertidumbres, analizar e interpretar el significado de los resultados, etc. Sin olvidar el amplio contexto presentado, en este trabajo nos centraremos en la formulación de modelos físico-matemáticos en el marco de una actividad experimental y la evaluación de la incertidumbre asociada a este proceso.

Realidad, modelo e incertidumbre, elementos básicos de este trabajo, son presentados en los siguientes apartados y luego a modo de ejemplo se describe brevemente una actividad experimental de Física de las carreras de ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la UNCo.

2. PROBLEMAS DE LA REALIDAD

Un **problema** puede ser definido como una situación dudosa o difícil, para la cual pueden existir en general distintas respuestas. Cada una de ellas es una posible solución que deberá ser considerada y evaluada.

Tal como se presenta en [1], se pueden definir distintos tipos de problema:

1. Donde son conocidas todas las consecuencias de adoptar una solución determinada (El desarrollo de una única solución, es decir, determinismo).
2. Donde han sido identificadas en forma precisa todas las consecuencias de adoptar una solución, pero sólo son conocidas las probabilidades de ocurrencia de las mismas (Teoría de la decisión).
3. Donde han sido aproximadamente identificadas todas las consecuencias de adoptar una solución, luego sólo son conocidas las posibilidades de ocurrencia de consecuencias poco claras o borrosas (extensión del tipo 2, considerando la vaguedad de la definición).
4. Donde han sido identificadas sólo algunas de las consecuencias (nítidas o borrosas) de adoptar una solución (problemas de universo difuso y "abierto" del mundo real donde hay incógnitas e inconsistencias).

En los problemas de la realidad, pueden no ser bien conocidos ni las causas, ni los efectos y las relaciones entre ellas que en general no son determinísticas. Siempre pueden aparecer causas desconocidas o ignoradas y efectos desconocidos inicialmente a los que no se acierta a vincular con sus causas y ni siquiera a imaginar cuales son.

Un problema es de *universo abierto*, cuando no conocemos ni todas las causas ni todos los efectos que se producen. Tampoco se conocen todas las consecuencias que estos tienen sobre el problema como tampoco se conocen todas las leyes que vinculan causas con efectos. Los problemas de la ingeniería son muy distintos de los problemas planteados en ciencia. La ingeniería no es ciencia. Su objetivo no es llegar a la verdad o certeza en la solución. **El objetivo de la ingeniería es brindar utilidad y servicio en forma segura y económica.** En actividades como la ingeniería, conviene cambiar los términos *verdad o certeza* por *confiabilidad, verosimilitud, etc.*

Las teorías utilizadas en ingeniería fueron deducidas en ciencia y si bien han permitido la construcción de dispositivos seguros, fueron obtenidas a través de modelos que intentan representar la realidad. Estos modelos, recortan la realidad con el fin de adecuarla a los métodos disponibles para su análisis. En muchas situaciones, se utilizan coeficientes de origen empírico para acercar el modelo a la realidad. De todos modos los resultados que se obtienen

a partir de las teorías y modelos que plantea la ciencia, nunca serán iguales a los de la realidad.

3. MODELOS EN INGENIERÍA: SIMPLIFICACIÓN DE LA REALIDAD

La ingeniería no pretende manejarse con verdades absolutas; en la actividad profesional se trabaja con grados menores de veracidad, siempre que de esa forma se logren los objetivos propuestos y se preste un servicio en forma suficientemente segura y económica.

La Figura 1 presenta en forma esquemática las tres etapas que en general se siguen en la modelización de un problema.

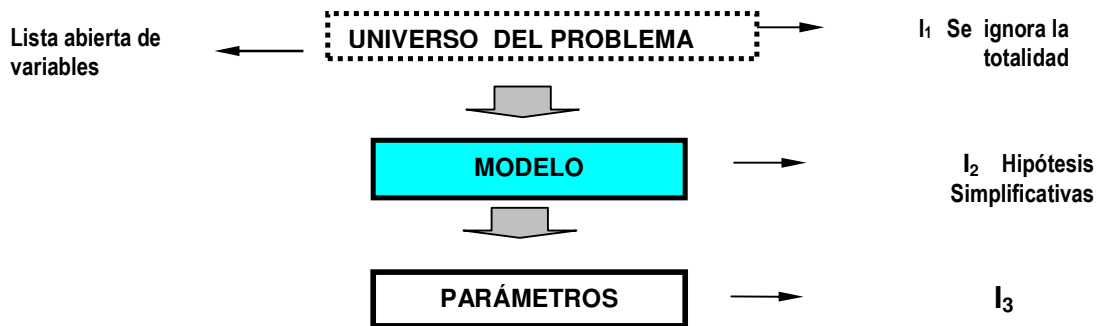


Figura 1 Simplificación de la Realidad

De acuerdo a lo planteado en el esquema tenemos tres niveles de incertidumbre:

I₁: Al cerrar la lista de las causas, la de sus efectos y la de las leyes que los vinculan, única forma de poder actuar, pueden quedar fuera del análisis factores desconocidos cuya importancia, por consiguiente, no será evaluada. Esta incertidumbre es la más difícil de tratar y se la suele llamar incompletud.

I₂: En el universo cerrado obtenido, además, aparecen las incertidumbres debidas a la falta de adecuación del **modelo** teórico propuesto suponiendo parámetros precisamente definidos. **El modelo debería ser un fiel reflejo de la realidad y esto no siempre es así en el grado requerido y nunca en forma absoluta.** Para llegar al modelo realizamos una serie de hipótesis simplificativas sobre la realidad y así trabajar con un sistema más simple y predecible.

I₃: En el universo cerrado resultante, además, hay incertidumbres propias de los **parámetros** que describen el comportamiento del modelo. Esta incertidumbre surge del inexacto conocimiento que tenemos de los parámetros del modelo asumiendo un sistema precisamente definido.

En el abordaje de estos problemas caben tres posiciones:

1. **Determinística:** totalmente científica, no incluye incertidumbres. Asume que **sabemos todo**, que nada queda fuera de la listas cerradas ($I_1 = 0$), además supone que **los modelos son iguales a la realidad**, en la que se verifican exactamente las hipótesis

formuladas ($I_2 = 0$) y que se conocen exactamente los valores de los parámetros (causas y efectos), así como las leyes que los vinculan ($I_3 = 0$).

2. **Probabilista:** supone que lo que quedó fuera de las listas (conocido o ignorado) puede ser despreciado por su pequeña importancia. Es decir **se supone conocer todo lo importante** y que el resto no tiene importancia y despreciarlo no origina errores inaceptables en las conclusiones. En cuanto a **las diferencias entre los modelos y la realidad se evalúan en forma estadística o probabilística**, cosa que no siempre es posible pues estas diferencias generalmente no son aleatorias, con esto se estaría forzando en forma inadecuada el uso de la Teoría de Probabilidades. **Los parámetros se suponen variables aleatorias**, por lo que pueden ser tratados en forma probabilista. Generalmente, las leyes que describen el comportamiento de los modelos son aceptadas como determinísticas.
3. **Posibilista:** asume que se está frente a un **problema de la realidad**, es decir de “universo abierto”, en el que es imposible cerrar todas las listas de las entidades que intervienen. Se utilizan variables determinísticas, aleatorias y borrosas [2]. El razonamiento incluye la deducción, la inducción, las analogías, la plausibilidad, la holística, la intuición, la heurística, la imaginación y aún la fantasía, pero todo guiado por la experiencia.

4. INCERTIDUMBRES

En ingeniería es usual clasificarlas según se muestra en la Tabla 1 [3].

Tabla 1 Tipos de Incertidumbres

TIPOS DE INCERTIDUMBRES		
INHERENTES O ALEATORIAS	Tiempo	Fluctuaciones en el tiempo
	Espacio	Variación natural en el espacio de las propiedades.
	Medición	Asociada al instrumental y/o proceso de medición.
EPISTEMICAS	Estadística Limitada información y cantidad de muestras (datos) insuficientemente	<u>Parámetros</u> Los parámetros de una distribución son determinados mediante un conjunto limitado de información. <u>Función de Distribución</u> Asignación de una función de distribución teórica a los datos obtenidos empíricamente.
	Modelo	Simplificaciones e idealizaciones realizadas para modelizar el funcionamiento de un sistema, o inadecuado conocimiento.

La construcción de un modelo, que represente de manera adecuada la situación real que intenta resolver un profesional que aplica la ciencia, es una tarea de mucho cuidado y fundamental importancia. La validez de los resultados que se obtengan y las predicciones que se realicen en base a ellos, dependerá del grado en que el modelo describa a la realidad.

El aprendizaje de las técnicas de construcción de los modelos en ingeniería debe comenzar en la universidad y desde los primeros cursos.

5. ACTIVIDAD EXPERIMENTAL: DISEÑO DEL MODELO FISICO MATEMATICO

El objetivo pedagógico que persigue este trabajo es que el alumno aprenda a formular y evaluar **modelos físico-matemáticos** en el desarrollo de una actividad experimental. De esta manera, desde el comienzo de su formación universitaria, el alumno adquiere gradualmente una forma sistemática de abordar la complejidad de la realidad.

La metodología propuesta se presentará a través de un ejemplo. Se trata de una actividad experimental que realizan los alumnos que cursan Física II de todas las orientaciones de ingeniería que se dictan en el ámbito de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue. De acuerdo al plan vigente, esta materia (cuatrimestral) se dicta en el primer cuatrimestre del segundo año. Los ejes temáticos de esta asignatura son: elasticidad, estática y dinámica de los fluidos, calorimetría, termodinámica, oscilaciones y ondas mecánicas.

Los objetivos de la actividad son:

- Determinación experimental de pérdidas de carga primarias (viscosidad) de un fluido que circula por una cañería utilizando dos procedimientos:
 - I. Mediante consideraciones energéticas (ecuación de Bernoulli).
 - II. Utilizando la expresión de Hagen-Poiseuille.
- Comparación de los valores obtenidos y de los procedimientos utilizados.
- Verificación del campo de validez de la ecuación Hagen – Poiseuille

El dispositivo utilizado en el laboratorio se presenta en la Figura 2

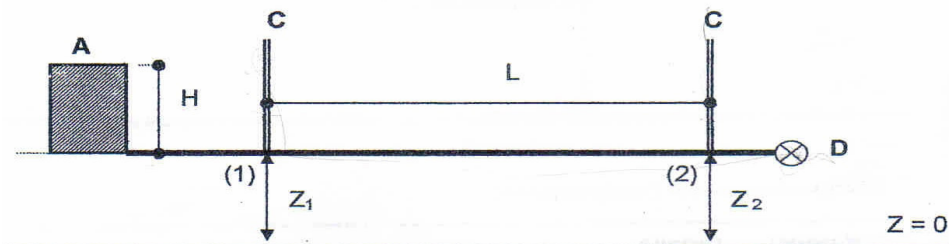


Figura 2 Circuito hidráulico de la experiencia

Se trata de un circuito hidráulico formado por una cañería por donde circula un caudal de agua que puede ser graduado (canilla **D**). El agua proviene de un tanque de reserva **A**, el cual mantiene constante la altura H de fluido durante el escurrimiento (sistema de rebalse).

El sistema en análisis es el agua que circula por la cañería entre dos puntos (1) y (2) separados una distancia L , donde se han colocado tubos piezométricos **C**.

Paso 1: Análisis de la realidad en estudio

En esta etapa los estudiantes realizan la observación detallada del equipamiento, deteniéndose en generalidades (circuito completo) y particularidades (uniones, canilla, etc.), pasando continuamente de uno a otro. Toda la información recolectada, debe ser clasificada según su

origen y grado de precisión, en el informe sólo se incluirá la que se considere relevante en función del objetivo planteado. La Figura 2 muestra un esquema de la realidad que se está analizando, el cual se completará con una serie de referencias y características propias de la realidad en estudio, incluyendo singularidades tales como: goteras, codos, falta de horizontalidad, etc.

Durante este paso también los estudiantes seleccionan, del instrumental disponible, el que utilizarán para llevar a cabo el objetivo planteado. Se consideran instrumentos a los clásicos de medición y también a los “instrumentos intelectuales”, los conceptos de la Física y las herramientas formales de la Matemática desarrollados en la teoría. Es importante reconocer y registrar las características de estas herramientas, ya que marcan el contexto dentro del cual serán analizados los resultados.

En la vida profesional las determinaciones experimentales pueden realizarse en ámbitos muy diferentes, desde las realizadas en tareas de campo, a las realizadas en un laboratorio en condiciones muy controladas.

Paso 2: Construcción del modelo físico-matemático

Nuevamente, los estudiantes parten del objetivo específico. Se trata de evaluar una magnitud física con dos modelos físico-matemáticos y procedimientos distintos. Uno de ellos desarrollado por Hagen – Poiseuille [4], cuya expresión fue deducida en clase teórica y es:

$$\Delta E_{\eta} = \frac{8 \cdot L \cdot \eta \cdot Q}{\pi \cdot R^4} \quad (1)$$

La expresión (1), permite calcular la variación de energía hidráulica debida a la viscosidad ΔE_{η} para un fluido newtoniano en régimen laminar ($N_R < 2000$), para ello es necesario medir el caudal Q , la longitud L entre piezómetros y el radio R de la cañería, también se debe adoptar el valor de la viscosidad absoluta del fluido η de una tabla. El corte del número π deberá originar un error relativo menor al del resultado.

El otro modelo se construye en base a la aplicación de la ecuación de Bernoulli [4], entre los puntos (1) y (2) de la Figura 3, obteniéndose la expresión (2)

$$P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 = P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 + \Delta E_{\eta} \quad (2)$$

En la expresión (2) hay variables que pueden medirse directamente como las presiones en los puntos (1) y (2) (piezómetro **C**, Figura 2). En cuanto al valor de la densidad, es necesario determinar la temperatura del fluido y *asumir* que esta es constante entre (1) y (2). Es decir la hipótesis simplificativa sería: *Asumimos que el fluido que circula por la cañería entre los puntos (1) y (2) es incompresible.*

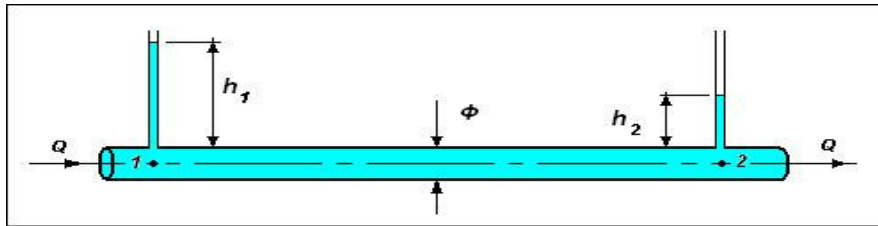


Figura 3 Modelo experimental del circuito hidráulico

Consideramos importante que el alumno tome conciencia de que lo que está suponiendo no es real y que es una incertidumbre que se introduce al planteo. Ahora bien si posee alguna **evidencia** concreta de que esta variación no constituye una diferencia importante o que no podrá ser apreciada por el instrumental utilizado, es válido incorporarla. Es decir esta acción simplifica la realidad ya que lo que deja de lado no introduce variación significativa. Por otro lado deja la posibilidad de que el factor excluido pueda ser incorporado, mejorando la exactitud del resultado que se obtenga.

En esta hipótesis simplificativa específica los estudiantes podrían analizar y evaluar el grado de compresibilidad que están dejando de lado. Para ello utilizarían el módulo de compresibilidad volumétrica del agua, mediante la siguiente expresión [4]:

$$\Delta P = -B \cdot \frac{\Delta V}{V} \quad (3)$$

En este caso, en la expresión (3), ΔP sería la máxima presión a la que se somete al fluido, es decir la presión del tanque de reserva ($\delta.g.H$) y B el módulo de compresibilidad volumétrico del fluido, obtenido de tabla para *agua pura* en condiciones normales de *presión y temperatura*.

Es así que el error relativo de no considerar la compresibilidad del fluido podría ser estimado de (3) como $\Delta V/V$.

Al calcular este valor los estudiantes pueden reconocer lo que están dejando de lado y los argumentos que poseen para hacerlo.

Buscando fundamentos para cada hipótesis planteada, se sigue un proceso cuidadoso de trabajo que permite ir reconociendo el **campo de validez** de las expresiones que se utilizan. Sin embargo es importante decir que no en todos los casos se podrá calcular o estimar de manera sencilla valores que fundamenten la adopción de una hipótesis simplificativa.

De no contar con evidencia objetiva, se puede recurrir a la experiencia (criterio de un experto). En el caso de estudiantes, cuyo criterio está en formación, esto no tendría validez.

Siguiendo con el ejemplo que estamos analizando y apoyados en la hipótesis simplificativa planteada y contando con la evidencia concreta de la observación de que no existen pérdidas físicas en la cañería (fisuras, goteras), podemos asumir que el caudal es constante. Esta sería la primera implicancia que se puede derivar de la simplificación realizada. Si además pudiéramos asumir que el diámetro de la cañería es constante, podríamos simplificar las velocidades en la expresión (2). Sobre esto último, la cañería es de uso comercial y asumimos

que ha sido controlada bajo normas específicas. Es decir en este caso han pasado por un control de calidad reconocido que nos permite considerar los diámetros como si fueran constantes en todo el recorrido.

También y sobre este mismo aspecto, en correspondencia con los puntos (1) y (2) donde se han colocado tubos piezométricos, pueden existir rebabas del material o del pegamento o inclusive que una parte del tubo ingrese a la sección de la cañería. En esta situación particular no contamos con la evidencia objetiva (observable). De todos modos si la disminución de sección es importante se podría apreciar en la lectura del piezómetro.

En muchas situaciones experimentales puede ocurrir que se desconozcan factores que influyan en el funcionamiento del sistema en estudio. En estos casos, probablemente, estas hipótesis se podrían convertir en errores.

Resumiendo y en base a las hipótesis planteadas podríamos asumir que las velocidades entre los puntos (1) y (2) son iguales. Esta es la implicancia de la adopción de las dos hipótesis anteriores: incompresibilidad del fluido y diámetro de la cañería constante. Luego la expresión (2) quedaría:

$$\Delta E_{\eta} = (P_1 - P_2) + \delta \cdot g \cdot (z_1 - z_2)$$
$$\Delta E_{\eta} = \delta \cdot g \cdot (h_1 - h_2) + \delta \cdot g \cdot (z_1 - z_2) \quad (4)$$

La expresión (4) es el modelo físico- matemático que se utilizará para calcular el valor de la pérdida de energía primaria entre los puntos (1) y (2).

Este modelo (4), exige la medición de las alturas de los piezómetros (h_1 y h_2) y dos alturas topográficas (z_1 y z_2), también se deberá adoptar el valor de la densidad del fluido de una tabla y el valor de la aceleración de la gravedad. Estas son dos nuevas hipótesis simplificadoras.

La práctica consiste en hacer circular por lo menos cinco caudales por el circuito, evaluando en cada caso las pérdidas utilizando los dos modelos físicos matemáticos: (1) y (4).

En régimen laminar ($N_R < 2000$) ambas expresiones son válidas. En cambio en régimen turbulento los valores de ambos procedimientos diferirán notoriamente, ya que este no es el campo de validez del modelo (1) pero sí el de (4).

Graficando los valores obtenidos ($\Delta E_{\eta} = f(Q)$) y demarcando la zona correspondiente al régimen laminar, se puede corroborar la validez de ambos modelos. Fuera de esta zona habrá diferencia entre los valores que ellos arrojan. Los valores que se obtienen con el modelo (1) en la zona turbulenta, fuera de su campo de validez, dan muy por debajo del modelo (4), siguiendo una tendencia lineal ya que son proporcionales a la primera potencia de la velocidad. En cambio los resultados que se obtienen utilizando el modelo (4) son proporcionales a la segunda potencia de la velocidad y estos se ajustan mucho a la realidad en estudio.

6. CONCLUSIONES

Esta actividad permite a los estudiantes analizar experimentalmente la validez de dos modelos sencillos pero que para su elaboración utilizan distintas suposiciones, consideraciones y en

definitiva permiten llegar a funciones con distinto tipo de variables. En ambos se han realizado suposiciones y es necesario adoptar valores de magnitudes, sin embargo es posible compararlos y evaluar cual de ellos y bajo qué circunstancias da valores más confiables, más cercanos al valor verdadero.

La realidad analizada por los alumnos en el laboratorio se transforma inicialmente en el esquema de la Figura 2, luego mediante simplificaciones se convierte en el dibujo de la Figura 3 (una abstracción aún mayor pensaría a los puntos (1) y (2) sobre una línea de corriente). Consideramos importante que los alumnos pongan en evidencia la evolución que sufre el sistema que analizan. Están adaptando la realidad a situaciones más sencillas, donde sea posible aplicar los planteos teóricos de la materia en estudio. Detallar, describir y cuando sea posible cuantificar lo que se está dejando de lado, lo que se ignora o se modifica, no es una actividad menor, ya que les permite tomar conciencia de la diferencia entre la realidad que manejan y la abstracción que utilizan para el cálculo. En definitiva están evaluando la incertidumbre del modelo. Decimos evaluando y no cuantificando ya que no en todos los casos se podrá encontrar de manera simple la diferencia numérica entre lo adoptado y la realidad.

El planteo y posterior análisis de cada una de las hipótesis utilizadas les permite a los estudiantes evaluar la exactitud de los resultados que obtienen e informan. Modificando, eliminando o incorporando alguna de las consideraciones planteadas en las hipótesis simplificativas, se podrían obtener resultados con mayor nivel de exactitud. Esto último es función del contexto donde se utilizarán los resultados de la experiencia.

En el ejemplo planteado también se muestra que no siempre es necesario *construir* el modelo físico matemático, en muchas situaciones ellos están disponibles, ya desarrollados, en la bibliografía especializada. De ser así la problemática es bastante compleja pues, generalmente, los estudiantes no tienen presente en su totalidad el campo de validez específico y limitado que todas estas herramientas tienen, es por ello que consideramos importante que adquieran el hábito de explicitarlo en el informe de la experiencia junto al marco teórico que utilizan.

Los laboratorios tradicionales se focalizan principalmente en el tratamiento estadístico de los datos y la evaluación de la precisión de los resultados. Mediante el planteo propuesto se puede completar la actividad experimental, incorporando la evaluación de la exactitud de los resultados.

7. REFERENCIAS

- [1] D. Blockley, *The Nature of Structural Design and Safety*, Ellis Horwood, Chichester, 1980
- [2] A. Bignoli, *Ingenieros, Estructuras, Riesgo, Seguridad*, Universidad Austral, 1991
- [3] B. M. Ayyub, *Uncertainty Modeling and Analysis in Civil Engineering* - 1998
- [4] Streeter y Wylie, *Mecánica de los Fluidos*, Ed Mc Graw Hill 2007