

Diseño de cursos de laboratorio

Roberto Olayo y Angel Manzur

Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

Apartado postal 55-534, 09340 México D.F.

(Recibido el 20 de abril de 1990; aceptado el 26 de junio de 1991)

Resumen. Se discute el diseño de un paquete de cursos de laboratorio a nivel licenciatura, ejemplificándolo con los laboratorios de Física en la carrera de Física, pero se puede aplicar en general a los laboratorios de Física en carreras de ciencias básicas e ingeniería. Se discuten algunos de los factores que deben considerarse en el diseño de los cursos y una estructura de objetivos, ejemplificando la utilidad de ésta en el diseño directo de los experimentos. Finalmente, se exponen ejemplos que ilustran el método y su implementación.

PACS: 01.50.Qb; 01.50.Pa; 01.40.Gm

1. Introducción

La importancia del laboratorio en la enseñanza de la física ha sido discutida ampliamente [1-10]. Las diferentes propuestas y métodos de trabajo dejan clara la necesidad de este laboratorio y destacan los problemas que su implementación tiene, proponiendo varias metodologías que han mostrado bondades y defectos y que, en general, han mostrado dificultades en su adaptación a diferentes circunstancias. En nuestro país es innumerable la cantidad de prácticas y notas de laboratorio con que se cuenta, varias de ellas tomando como base tendencias extranjeras, pero casi todas son el fruto de esfuerzos parciales que carecen de continuidad, fundamentalmente por el cambio de las personas involucradas, lo que impide lograr una estructura que evite la repetición de material y coordine diferentes cursos complementándolos entre sí. En ellas se nota la falta de especificación de objetivos particulares claros, provocando que quienes se hacen cargo de coordinaciones y cursos no puedan aprovechar la experiencia acumulada para complementarla y no puedan tener capacidad de evaluación, para así poder corregir el camino partiendo de una base estructural.

En este trabajo se expone el diseño de un curso de laboratorio, con una generalidad que permite su adaptación a circunstancias muy variadas. Se describe una estructura fundamental que distribuye y ordena los objetivos, da líneas de trabajo para el diseño de prácticas, facilitando la evaluación de las mismas, y además facilita la integración de nuevos profesores dando continuidad al trabajo de coordinación.

Como antecedente de este trabajo se ha hecho una discusión de la importancia del laboratorio en la formación profesional [11]. Aquí se complementan los detalles del curso describiendo los objetivos y ejemplificando el uso de la estructura.

2. Características generales de los cursos

Tradicionalmente en la carrera de Física se tienen tres grupos de laboratorios: el primero asociado al nivel elemental de las cuatro materias fundamentales (mecánica, termodinámica, electromagnetismo y óptica), los laboratorios asociados a cursos de electrónica e instrumentación y los laboratorios avanzados que, en general, se tratan de asociar a la física moderna. El presente trabajo hace énfasis en el primer grupo, ya que es donde se establecen los fundamentos del trabajo experimental y en muchos casos es compartido por otras carreras diferentes a la de física; los otros dos grupos se pueden basar en el primero y concentrarse en problemas y técnicas de mayor nivel, dando por vistos los objetivos fundamentales del trabajo experimental y restando sólo aplicarlos bajo diferentes circunstancias específicas.

En la actualidad [12], en el primer grupo de laboratorios se pueden distinguir tres tendencias: puede estar íntimamente asociado a un curso de teoría, sólo estar sincronizado con ella o su temática impartirse en cursos independientes. En el sistema que se propone, los laboratorios elementales se cubren en cursos que pueden estar sincronizados o no con la teoría, pero que es conveniente que en su temática traten problemas de las cuatro materias antes mencionadas. Estos cursos deben guardar independencia de los de teoría, ya que así se tienen las siguientes ventajas: a) se le da flexibilidad a los cursos permitiendo que, con una temática no tan restringida, se puedan escoger experimentos sencillos que ilustren las técnicas en los primeros niveles y experimentos tan complicados como el alumno lo permita en el último curso; b) el profesor adquiere el reconocimiento y la responsabilidad completa del curso, quitándole de esta manera el carácter informal que toma el laboratorio cuando la calificación depende del profesor de teoría o se tiene que compartir con la que éste da; c) los cursos de laboratorio del primer grupo se pueden iniciar en el primer periodo (semestre o trimestre) o en el segundo o tercero, haciendo más eficiente el uso de equipo y profesores ya que el número de alumnos disminuye y están mejor preparados; d) se evitan los problemas burocráticos que trae consigo el hecho de que la calificación de teoría y de laboratorio sean una sola, y algunos alumnos obtengan calificación aprobatoria en una y en la otra no.

Otra característica de los cursos elementales es la poca coordinación entre sus objetivos, por lo que aquí se propone que todo el grupo de laboratorios presente una estructura congruente de objetivos que evite repeticiones y omisiones y pueda ser más ambiciosa en los últimos cursos. Es necesario enfatizar que lo que aquí se discute puede llevarse a cabo aun si los cursos de laboratorio no son totalmente independientes de los de teoría, siempre y cuando sí se estructuren para complementarse.

3. Diseño del curso

3.1 Factores a considerar

El primer factor es el número de alumnos que se desea atender. Es importante señalar que no basta con conocer el número de alumnos que será admitido, sino

además es necesario tener un seguimiento que permita definir el número promedio de alumnos en cada uno de los cursos posteriores.

Se deberán plantear las necesidades de equipo y espacio físico. En el caso de equipo es importante resaltar que el esfuerzo principal se deberá encaminar en adquirir equipo de medición, evitando comprar equipos o dispositivos que sólo puedan usarse en una o pocas prácticas y que de alguna manera puedan ser improvisados en el laboratorio. En las instalaciones se deberá hacer énfasis en que el espacio sea suficiente y cuidar las medidas de seguridad, así como que las instalaciones eléctricas sean las adecuadas.

Uno de los principales factores para el éxito del curso es el personal docente. Es importante que el nuevo personal docente se empape de las ideas del curso antes de iniciar su clase; lo aconsejable es ofrecer un curso para profesores de al menos una semana, donde, para el caso de profesores con experiencia, se haga énfasis en la estructura del curso y se les invite a colaborar en la actualización de las prácticas, integrándolos de esta manera a la estructura, y en el caso de profesores con poca experiencia se enfatizan los puntos importantes esperando que se concentren en dominarlos.

3.2 Diseño de una estructura de objetivos

Aunque el diseño de los objetivos no requiere de características especiales, es conveniente resaltar la estructura general en que se encuentran inmersos. Primero es necesario tomar un objetivo general para el conjunto de los cursos. En seguida se pasa al diseño de objetivos particulares, los cuales se distribuyen en los cursos, de acuerdo a un orden taxonómico sin diseñarlos atados a la temática de los experimentos. Con este marco de objetivos se pasa a diseñar las prácticas.

Para ilustrar estas etapas de diseño, discutiremos un ejemplo basado en la experiencia en los laboratorios de física a nivel elemental de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. El objetivo general de estos cursos es: "al terminar los cursos el alumno seguirá los pasos del método científico para resolver un problema a su nivel". Si bien el objetivo parece un poco vago al no establecer el nivel, esto permite adaptarlo si se cambia el trimestre o semestre en el que se inician los laboratorios y así aprovechar las ventajas que da la seriación para proponer experimentos con mayor complejidad a los alumnos que poseen fundamentos teóricos más amplios.

Para diseñar los objetivos particulares se partió de un esquema simplificado del método científico mostrado en la Fig. 1. Se diseñaron objetivos para cada bloque del esquema, de tal manera que "seguir los pasos del método científico" implica cubrir todos los objetivos de todos los bloques. En una primera etapa se definieron los avances en cada bloque por medio de "grados de dificultad" que definían a las actividades y el grado en que el profesor ayudaba al estudiante [11]; este sistema subjetivo es útil, pero no identifica claramente la conducta que se espera del estudiante y por lo tanto dificulta la definición de los criterios de evaluación. Ahora se presenta un sistema de objetivos ordenados de acuerdo a la taxonomía de Bloom. Se pueden distinguir en el diagrama de bloques dos formas de avances: por un lado,

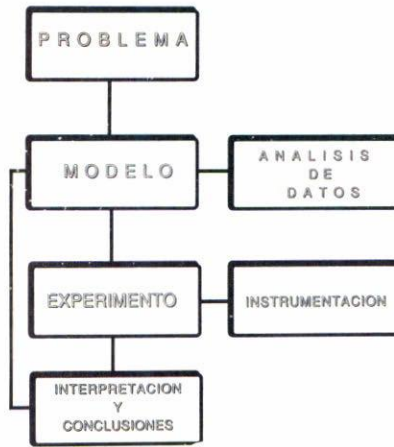


FIGURA 1. Diagrama de bloques indicando los pasos a seguir en la resolución experimental de un problema.

el avance se da no en el nivel taxonómico sino en el grado de complejidad de la conducta esperada. Estos bloques son fundamentalmente los que tienen que ver con técnicas específicas como instrumentación y análisis de datos; aquí siempre se espera que el estudiante domine la técnica o el instrumento, y el avance se da con instrumentos más complejos o técnicas que requieren más esfuerzo. Por otro lado, se tienen los bloques en los que las partes son diferentes niveles taxonómicos de un mismo objetivo, es decir donde los niveles difieren sólo en el verbo activo del objetivo.

El conjunto de objetivos puede depender de todas las circunstancias que se señalaron en la sección de características generales, por lo que el principal punto en ésta es la integración de los cursos, de tal manera que esta integración permita perfeccionar las conductas y obtener objetivos más ambiciosos al tener un trabajo que se continúa en forma ordenada y gradual en cada curso. La especificación de los objetivos reduce y hace eficiente la tarea de diseñar los experimentos, no solamente porque se determina su contenido sino porque existe una estructura evidente de objetivos, la cual tendrá que reflejarse en ellos.

La Tabla I describe los objetivos particulares de los bloques de Análisis de Datos e Instrumentación; éstos tienen la característica antes mencionada donde la actividad marca el grado de complejidad. En la Tabla II se describen los objetivos particulares correspondientes a los bloques de Modelo, Experimento e Interpretación y Conclusiones; en estos bloques se dan actividades que aparecen varias veces con diferente nivel taxonómico. El grado de avance en la obtención de los objetivos se hace evidente en el verbo que se emplea en su especificación. Es importante señalar que los verbos indican los tipos de comportamiento que deberán mostrar los estudiantes cuando se logren los objetivos; facilitando, por lo tanto, los métodos de evaluación.

Instrumentación	Análisis de datos
El estudiante usa los instrumentos y técnicas siguientes:	El estudiante:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Balanza, regla, cronómetro. 2. Higrómetro, termómetro, vernier. 3. Técnica estroboscópica. 4. Técnica fotográfica. 5. Fuente de corriente directa y multímetro. 6. El estudiante predice la interacción instrumento-experimento. 7. Generador de funciones y osciloscopio. 8. Identifica las características del instrumento en el manual. 9. Usa instrumentos de acuerdo con su problema consultando el manual. 10. Identifica los factores que intervienen en la selección de un instrumento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reconoce el concepto de incertidumbre y la inexistencia de medidas exactas. 2. Calcula la incertidumbre en medidas reproducibles tanto directas como indirectas. 3. Ajusta rectas visualmente y calcula la incertidumbre en la pendiente y en la ordenada al origen. 4. Reconoce el cambio de variable como un método para obtener relaciones lineales. 5. Usa escalas logarítmicas. 6. Realiza el cambio de variable. 7. Calcula la incertidumbre en medidas no reproducibles y ajusta rectas por el método de mínimos cuadrados, calculando las incertidumbres en los parámetros. 8. Usa el método de análisis dimensional. 9. Hace el análisis de datos para más de dos variables. 10. Selecciona el método de análisis más adecuado.

TABLA I. Objetivos de los bloques: Instrumentación y Análisis de datos.

Habiendo especificado los objetivos, el paso siguiente es su distribución en el tiempo disponible en los cursos, esto se hace por medio del diseño de los experimentos a efectuar por el alumno. Cada experimento deberá cubrir ciertos objetivos y deberá buscarse que semana a semana se avance en el orden marcado por los bloques, evitando cubrir objetivos ambiciosos antes de haber cubierto los más elementales. Para poder visualizar esta distribución se recomienda hacer gráficas que señalen objetivos de cada bloque de la Fig. 1 en un eje y en el otro el tiempo. Para esto bastará poner los experimentos en el orden en que se ejecutarán en clase, quedando así, gráficas de objetivos como función del tiempo; de esta manera el eje vertical identifica el grado de dificultad, ya que los objetivos están ordenados de acuerdo a su colocación en la taxonomía, mientras que el eje horizontal identifica el tiempo. También es recomendable hacer una gráfica que represente al promedio de todos los bloques.

La Fig. 2 muestra varias posibilidades para la forma de esta curva promedio; se podría hacer la pregunta siguiente: ¿qué forma tiene la curva promedio de un curso idealmente diseñado? Para responder es necesario hacer algunas reflexiones. Si en la gráfica promedio se traza una recta entre el primero y el último punto, esta recta significaría un crecimiento en la obtención de los objetivos en forma gradual desde cero hasta el máximo; sin embargo, este crecimiento no incluiría una zona de reafirmación, donde no se cubren nuevos objetivos sino se trabajan los ya vistos. Es claro que el crecimiento gradual, representado por la recta *L* en la Fig. 2, no es el único. Otra manera de lograr los objetivos en el tiempo disponible es seguir una curva como la curva *I* de la Fig. 2. Una distribución de los objetivos siguiendo esta curva representa un gasto grande de tiempo por objetivo durante los primeros cursos, y deja a la mayoría de los objetivos para ser cubiertos en los últimos,

Interpretación y conclusiones	Modelo
<p>El estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Compara y evalúa la incertidumbre de sus mediciones. 2. Reconoce la necesidad de evaluar comparando con un modelo. 3. Reconoce la necesidad de identificar la región de validez de la relación empírica o del modelo. 4. Reconoce la necesidad de identificar las causas de discrepancia con el modelo. 5. Reconoce posibles aplicaciones de sus resultados a otros problemas o su relación con algún fenómeno conocido, como un elemento importante de su conclusión. 6. Reconoce la identificación de las causas de discrepancia como un mecanismo de ayuda al replanteamiento del modelo. 7. Interpreta con base en el modelo y establece la región de validez. 8. Identifica las principales causas de discrepancia. 9. Identifica posibles aplicaciones de sus resultados a otros problemas y su relación con algún fenómeno conocido. 10. Reconoce la identificación de las causas de discrepancia como un mecanismo de ayuda al replanteamiento del dispositivo experimental. 	<p>El estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Reconoce el concepto de hipótesis. 2. Reconoce el concepto de modelo. 3. Reconoce la diferencia entre interpretar empíricamente y referente a un modelo. 4. Reconoce la relación hipótesis-modelo. 5. Verifica la relación hipótesis-modelo. 6. Identifica el modelo adecuado. 7. Analiza las hipótesis involucradas. 8. Selecciona el modelo. 9. Propone nuevas hipótesis. 10. Propone el modelo.
	<p>Experimento</p> <p>El estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Reconoce la necesidad de medir. 2. Selecciona el método para medir. 3. Reconoce la necesidad de realizar un experimento. 4. Reconoce la necesidad de identificar las variables relevantes. 5. Reproduce un dispositivo experimental. 6. Selecciona el dispositivo experimental. 7. Selecciona el instrumento de medición. 8. Selecciona las variables relevantes. 9. Evalúa el procedimiento experimental.

TABLA II. Objetivos de los bloques: Interpretación y conclusiones, Modelo y Experimento.

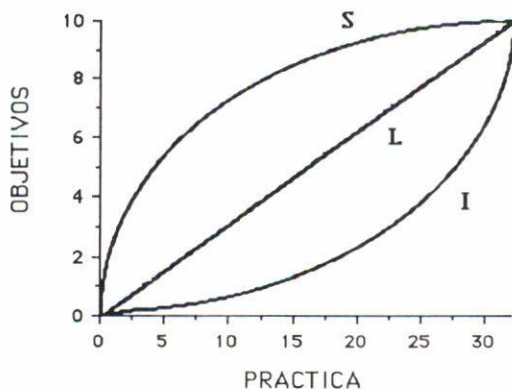


FIGURA 2. Las curvas muestran distintas maneras de distribuir los objetivos en el tiempo. *L* es una recta entre el origen y el último punto.

haciendo que el avance al final sea demasiado acelerado y sin zona de reafirmación. Por el contrario, la curva *S* muestra un crecimiento fuerte al principio, después un crecimiento menor y finalmente la zona de reafirmación. En esta distribución un

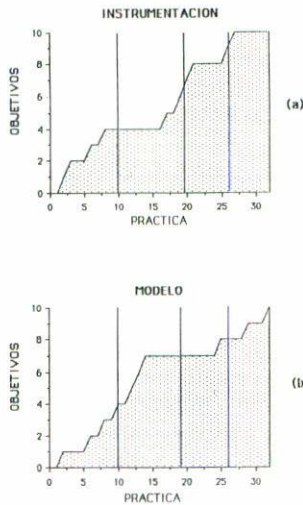


FIGURA 3. Gráficas de distribución de objetivos para los bloques: Instrumentación y Modelo.

alto porcentaje de los objetivos se cubre en los primeros cursos, y en los otros se dispone del tiempo suficiente para cubrir los objetivos más difíciles de alcanzar y para reafirmarlos.

Con base en esta discusión puede decirse que una curva que represente la evaluación de un curso experimental debería estar comprendida entre las curvas *S* y *L*, teniendo esta última el carácter de una curva límite conocida. La importancia de esta gráfica radica en que permite evaluar un promedio del avance global. Una práctica que retrocede en el nivel de los objetivos o que toma objetivos con un nivel taxonómico alto sin que se hayan cubierto los niveles anteriores, puede ser fácilmente detectable. Esta gráfica permite tener un criterio para la evaluación de prácticas y una guía importante para su diseño; de esta manera, una práctica sólo podrá evaluarse si se precisa la posición que tendrá en la gráfica, es decir si es bien claro en qué semana de qué curso se quiere integrar.

3.3 Ejemplo

A continuación se presentan los resultados de estas gráficas en los cursos que se tomaron como ejemplo. La lista de los experimentos es similar a la que se presentó en la Ref. [11].

Las Figs. 3 y 4 presentan gráficas de objetivos contra número de práctica, las líneas verticales señalan las divisiones de cada curso, que en nuestro caso son trimestrales (cuatro cursos). Debe notarse que la correlación del eje horizontal con el tiempo se ve rota en los últimos trimestres, ya que la duración de las prácticas no es la misma y, en términos generales, en los últimos cursos las prácticas ocupan más tiempo, de tal manera que el último curso puede llegar a constar sólo de dos

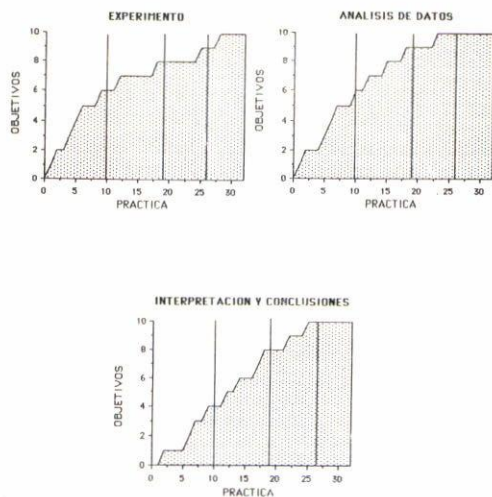


FIGURA 4. Gráficas de distribución de objetivos para los bloques: Experimento, Análisis de datos e Interpretación y conclusiones.

prácticas. Gráficas de este tipo permiten identificar prácticas donde los objetivos son demasiado ambiciosos o sencillos para el grado de desarrollo que se tiene en ese tiempo. Las figuras muestran las curvas de crecimiento, el cual no es lineal sino más bien tiende a tener una pendiente mayor en los primeros trimestres que en los últimos; esto indica que los primeros niveles se cubren en un tiempo menor que los niveles finales, ya que las últimas son conductas más difíciles de alcanzar. Enseguida discutiremos cada una de las gráficas, ya que ellas definen la operatividad del curso, estableciendo cómo se cubren los objetivos en el tiempo y dando criterios de avance y de evaluación para los maestros.

La Fig. 3 muestra las gráficas de Instrumentación y Modelo. Estas gráficas presentan regiones de avance casi lineal y regiones donde no se marca ningún avance; esto se puede entender claramente si por ejemplo revisamos los objetivos en Instrumentación. La primera parte tiene un crecimiento rápido que requiere instrumentos y técnicas sencillas, quedando en seguida una planicie que permite reforzar estos objetivos a la vez que otros bloques avanzan; así pues, se pueden distinguir dos zonas de crecimiento: una que identifica instrumentos y técnicas sencillas y otra que introduce equipo más complicado (en términos generales, equipo electrónico). Para el caso de Modelo se tiene algo similar, la curva crece desde el inicio hasta la mitad del segundo curso, sigue una planicie donde el estudiante tiene elementos para trabajar los modelos, y no es sino hasta el final del tercer trimestre que se espera que cubra objetivos más ambiciosos, de tal manera que éste es el único bloque en el que no se tiene una etapa de reafirmación de los últimos objetivos.

Para cada uno de los otros tres bloques, la curva crece más o menos gradualmente hasta llegar al máximo nivel (véase la Fig. 4), sin embargo podemos distinguir diferencia entre ellas. La curva de Análisis de datos muestra la planicie al final más

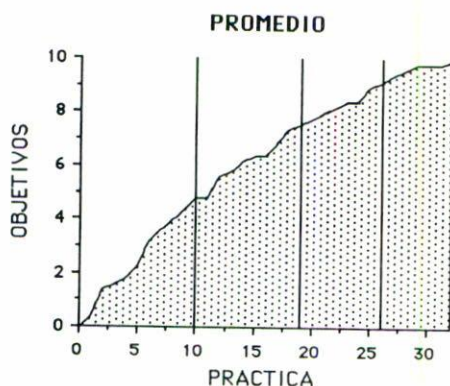


FIGURA 5. Curva promedio de objetivos, resultante de promediar los objetivos de los 5 bloques.

larga, lo cual implica que el análisis de datos es lo primero que se deja al más alto nivel, ya que así se requiere para cualquiera de los otros bloques; además, la pendiente en la primera parte es mayor que en la segunda, ya que los objetivos iniciales tienen que cubrirse rápidamente para poder tener bases para el trabajo experimental. La curva de Conclusiones, por el contrario, tiende a crecer más uniformemente y tiene una etapa de reafirmación más corta. Finalmente, el caso de Experimento es uno en donde los objetivos iniciales son más fáciles de lograr y, por lo tanto, necesitan menos tiempo que los finales, de tal manera que lo que se tiene es una disminución gradual de la pendiente conforme el curso avanza.

Se puede observar de las Figs. 3 y 4 que si se toma en cuenta la parte correspondiente al primer curso, el nivel que se espera para los distintos bloques es diferente, esto es una diferencia grande con respecto a los cursos aislados, ya que en ellos se hace énfasis en la temática y se espera que el alumno cumpla con todos los bloques desde el primer curso. Esto también influye fuertemente en la calificación que el alumno obtiene, ya que, por ejemplo, en las prácticas del primer curso la conclusión no será un factor muy importante, mientras que en las del último trimestre será el principal elemento de evaluación.

La Fig. 5 presenta la gráfica promedio de todos los bloques, la tendencia general es la misma que en las gráficas individuales; sin embargo, como era de esperarse, no presenta los cambios en forma de escalones que las curvas individuales sí muestran. En esta curva promedio pueden identificarse tres zonas con diferentes pendientes. La primera es la de mayor pendiente, representa un crecimiento mayor desde el inicio del primer curso hasta mediados del segundo curso. La segunda zona empieza a mediados del segundo curso y termina a mediados del cuarto curso, aquí la pendiente es menor, lo que significa que la rapidez de aprendizaje es menor, pues los objetivos son más difíciles de alcanzar. La tercera zona cubre sólo la mitad del cuarto curso y tiene una pendiente muy pequeña; esto es así porque al final del cuarto curso casi no se cubren objetivos nuevos, sino que más bien se están reafirmando los ya vistos.

4. Diseño de prácticas

Una vez obtenido el marco de objetivos, éste facilita la evaluación de las prácticas, pero no facilita su diseño, de ahí que sea importante ejemplificar con algunas prácticas el funcionamiento del marco. No se trata de experimentos novedosos, sino de un enfoque que permite integrarlos al marco antes establecido. Esta integración limita un poco los experimentos iniciales al no permitirles cubrir objetivos más ambiciosos, pero sí permite que los experimentos finales tengan una base que realmente amplíe las posibilidades de un trabajo experimental de calidad.

En algunos casos las prácticas son muy conocidas, por lo que sólo recalcaremos el enfoque y las consideraciones por las que se colocan en un determinado curso, y sólo cuando los detalles son importantes mostraremos algunos resultados de las prácticas. La discusión se hace dando algunos ejemplos para cada uno de los cuatro cursos trimestrales.

En el primer curso se introduce al alumno a conceptos fundamentales, por lo que las prácticas se dedican fundamentalmente a ilustrar el método y las técnicas. Así pues, una de las primeras prácticas tiene que ser un problema no trivial, pero que los alumnos puedan resolver con los conocimientos adquiridos en el bachillerato y que implique un experimento sencillo. Como ejemplo de una práctica que cumple estas características se presenta la determinación de la composición de una aleación binaria, los detalles de esta práctica han sido discutidos en otros trabajos [11,13]. El problema consiste en “determinar la composición (por ciento en peso) de una aleación binaria conocida por medio de su densidad”. Los conocimientos son principio de Arquímedes y densidad. Este problema es uno de los primeros representados en las gráficas en las Figs. 3 y 4. De aquí se puede ver que el experimento no requiere más que equipo sencillo. Debido a que la incertidumbre en la composición calculada depende fuertemente de las incertidumbres en la masa y el volumen medidos, el énfasis principal en este problema es el de poner muy claramente la necesidad de medir con precisión y saber cómo propagar incertidumbres. Los estudiantes se ven motivados a tratar de medir con la mayor precisión posible. Aunque se trata de un problema sencillo las posibilidades de extensión del problema son muy amplias para alumnos con mayor interés [13,14].

4.1 Diseño de una práctica donde se desea ilustrar la técnica fotográfica

Es grande el número de prácticas que pueden usarse para este fin, y en principio cualquiera de ellas sería útil en esta etapa; sin embargo, una revisión cuidadosa de los objetivos permitirá observar que, por la forma en que se diseñaron los objetivos, cuando se introduce la técnica fotográfica (ordenada con valor 4 en la Fig. 4a), los objetivos de Análisis de datos no han cubierto la parte de estadística, lo cual implica que se deberá trabajar con las técnicas de medidas reproducibles, esto es, ajustar gráficas por método visual y propagar incertidumbres sin estadística. Dado que las fotografías se proyectan y la cantidad que se mide normalmente es la distancia, esto nos lleva a obtener distancias con muy pequeña incertidumbre, dificultando la obtención de incertidumbre por medio visual. Esta limitación en las capacidades, que

hasta ese momento tienen los estudiantes, es la principal norma que debe respetar el diseño; así pues, se diseñan prácticas que no mejoren la precisión al proyectar las fotografías, esto se logra midiendo cantidades angulares, es decir, se le pide al alumno encontrar la relación ángulo-tiempo en un yoyo que cae y de esta manera la incertidumbre no disminuye al proyectar y normalmente es suficientemente grande para poder hacer un ajuste visual.

En el segundo trimestre el énfasis se hace en Análisis de datos y Modelo, así pues se tiene que diseñar prácticas que permitan, mediante problemas sencillos, ilustrar las aproximaciones que tiene el modelo y la posibilidad de corregirlo una vez que se ha realizado el experimento. Para ilustrar esto discutiremos dos prácticas muy conocidas, pero que nos permite enfatizar la idea de enfocar los problemas de manera que respondan a los objetivos que marca la estructura.

4.2 Aceleración de la gravedad

En este ejemplo el problema es “determinar la aceleración de la gravedad con la máxima precisión posible, empleando un péndulo simple”. Se presenta para ilustrar con claridad las aproximaciones introducidas en el modelo, así como la ventaja de estimar la incertidumbre antes de realizar el experimento. Además, este problema es apropiado para ejercitar el ajuste de rectas por mínimos cuadrados y se puede extender con el mismo objetivo a sistemas más complejos para aumentar la precisión [15].

Al estudiante se le pide que esté consciente de las aproximaciones o idealizaciones que se hacen teóricamente para calcular el periodo y se le exige que las compruebe experimentalmente. Las más importantes son: 1) Masa puntual; las dimensiones de la plomada deben ser pequeñas comparadas con la longitud del hilo. 2) Masa del hilo despreciable; relación entre la masa del hilo y la de la plomada. 3) Hilo inextensible; el estiramiento por fuerza centrífuga debe ser despreciable. 4) Punto de soporte bien definido; reducir la fricción en el punto de soporte. 5) No hay fricción con el aire; ésta es una de las más difíciles de evaluar, pero se espera que observe que el primer efecto sería reducir la amplitud y decida cómo afecta esto al periodo. 6) Ángulo de oscilación pequeño; la aproximación $\sin \theta \approx \theta$ debe cumplirse, así pues se verá que es válida con tres cifras significativas hasta once grados y con cuatro para cinco grados.

El periodo de oscilación (T) de un péndulo simple está dado por $T = 2\pi\sqrt{l/g}$, donde l es la longitud del péndulo y g la aceleración de la gravedad. La incertidumbre relativa en g es $\Delta g/g = \Delta l/l + 2\Delta T/T$. Para que estas cantidades relativas tengan valores pequeños es necesario que: i) l sea lo más grande posible, ya que $\Delta l \approx 2$ mm está fija por la precisión de la cinta métrica; ii) ΔT sea lo más pequeño posible, ya que el valor de T está fijado a través de l . La incertidumbre en el periodo se reduce si se mide el tiempo de muchas oscilaciones en lugar de una sola oscilación; por ejemplo, si se escoge un péndulo de 2 m y se mide el tiempo de 50 oscilaciones con un cronómetro en décimas de segundo, se obtiene que las contribuciones de las incertidumbres de l y T a la incertidumbre en g son comparables, y puede estimarse una incertidumbre absoluta $\Delta g = 0.02$ m/s². Esto quiere decir que la máxima

precisión que se puede esperar en este ejemplo corresponde a tres cifras significativas. Esto es así siempre y cuando se cumplan las aproximaciones introducidas en el modelo.

Aunque el valor de g se puede obtener a partir de una sola longitud, conviene determinar la variación de T con l . Además, es una oportunidad que el estudiante tiene de aplicar por primera vez el método de mínimos cuadrados, mismo que aprendió en la clase inmediata anterior. Se grafica T^2 vs. l y se obtiene una recta que pasa por el origen de acuerdo a la predicción del modelo preestablecido. Si es recta pero no pasa por el origen, indica la existencia de un error sistemático que usualmente corresponde a medir la longitud total del péndulo y no la longitud al centro de masa de la plomada.

4.3 Oscilaciones (sistema resorte-masa)

En este caso el problema es “determinar la relación entre el periodo de oscilación y la masa suspendida en un resorte”. Debido a que los resultados experimentales no concuerdan con los que el modelo ideal predice, este problema evidencia la necesidad de modificar el modelo para interpretar correctamente los resultados. Aquí el énfasis es en la modificación del modelo. En el estudio más elemental del sistema resorte-masa se hacen varias suposiciones, de las cuales las más importantes son: la masa del resorte es despreciable, no hay fricción con el aire y el resorte satisface la ley de Hooke. Aunque se pueden estudiar diversas características del sistema, aquí se busca la relación entre periodo de oscilación T y una masa m suspendida en un resorte. De acuerdo con el modelo ideal se espera que al graficar T^2 vs. m se obtenga una línea recta que pase por el origen. Experimentalmente se obtiene una línea recta, pero no pasa por el origen y al prolongarla corta el eje de las abscisas en un valor negativo. Este corrimiento se debe al efecto de la masa del resorte, la cual no es despreciable. Debido a que el modelo ideal no concuerda con el resultado experimental, se hace necesario replantear el modelo. Para ello se calcula el efecto que la masa del resorte tiene en el periodo de oscilación. En el cálculo más sencillo se supone que la masa del resorte está uniformemente distribuida en toda su longitud y que la amplitud de oscilación de cada punto del resorte varía linealmente, desde cero en el extremo fijo hasta el mismo valor que tiene la masa suspendida en el otro extremo. De esta manera se obtiene una expresión que predice que el corrimiento en el eje de las abscisas observado en la gráfica de T^2 vs. m debe ser igual a un tercio de la masa del resorte, cuando ésta es menor que la masa suspendida [16]. En el caso general, la corrección es mayor que un tercio de la masa del resorte [17,18]. Es importante señalar que esta modificación del modelo se puede separar de los posibles errores experimentales debido a que el estudiante ya tiene ciertos objetivos cubiertos en cuanto a experimento y análisis de datos, cosa que le permite trabajar en forma cuidadosa y observar con claridad el corrimiento de la recta.

Ahora nos interesa ejemplificar el diseño de prácticas en la parte final del tercer curso. Cuando el estudiante llega a esta etapa, tiene un buen nivel en Análisis de datos e Instrumentación y está en la etapa de maduración de los otros bloques, por lo que es importante proveerle de problemas que le permitan ensayar dispo-

sitivos experimentales y variantes del modelo. En esta etapa las prácticas pueden ser frustrantes, ya que se pretende que en un tiempo corto se demuestre iniciativa y creatividad, y normalmente se tienen limitaciones fuertes en los recursos. Ante estas circunstancias, cada práctica que se diseñe para esta etapa debe tener varias alternativas en el procedimiento experimental y que el material necesario para todas ellas esté disponible en el laboratorio, de tal manera que el alumno pueda armar su dispositivo. Ejemplos detallados de este tipo de prácticas serán discutidos en otro trabajo [19], pero nos interesa dejar clara la idea aquí. Como un ejemplo de este tipo de prácticas se puede poner como problema determinar la velocidad del sonido en el aire en las condiciones ambientales del laboratorio; para atacar este problema se puede contar con tubos de vidrio que permitan tener una columna de agua de diferente profundidad, diapasones, bocinas y micrófonos que permitan hacer el experimento con el osciloscopio por medio de las figuras de Lissajous, tubos de longitudes fijas que permitan observar resonancia en tubos abiertos, etc., para asegurar varios posibles procedimientos experimentales. Lo más seguro es que el estudiante termine en una variante de alguno de ellos y, en el caso de que demuestre poca iniciativa, el profesor puede dar sugerencias escalonadas que permitan que se avance más rápido, evitando así que se pierda el interés. Es importante señalar que este tipo de prácticas requerirá de más trabajo en su diseño y, a la vez, siempre dependerá del estudiante el diseño final; no obstante que alguna de las alternativas que plantea esta práctica puede ser utilizada para cubrir ciertos objetivos específicos en cualquiera de los cursos anteriores, se podrá usar ya que bastaría restringir ese procedimiento en esta etapa y la práctica seguiría cumpliendo su función.

El diseño de prácticas del último curso (cuarto trimestre) depende totalmente de los estudiantes; se puede iniciar el curso con una de las prácticas descritas en el párrafo anterior, con el fin de iniciar un proceso en donde el alumno defina un problema que trabajará durante la mayor parte del curso. En este caso la labor del profesor es muy importante, ya que debe tratar que el estudiante no escoja algo trivial y que, por otro lado, trabaje en algo que se pueda terminar en el tiempo asignado al curso. Así también, debe conocer completamente los recursos que están al alcance del estudiante y evitar que la evaluación de los objetivos se vea frustrada al tener un proyecto incompleto o tener que cambiar éste por falta de material. Ante la generalidad de este tipo de curso, se discutirán aquí algunos ejemplos del tipo de trabajo que se ha hecho. El primero es un proyecto corto que es importante porque implica manejar un fenómeno complejo con los conocimientos que se tienen a este nivel; responder la pregunta ¿por qué el cielo es azul? no implica en primera instancia más que una buena revisión bibliográfica, pero dar una demostración en el laboratorio y exponer las ecuaciones de manera que sus compañeros tengan una buena idea de qué es lo que pasa, implica generar un sistema de partículas pequeñas que van aumentando en número para observar todo el efecto pasando del azul al rojo [20], y recurrir a los trabajos originales de Lord Rayleigh [21] para exponer sus argumentos dimensionales, que dan como resultado la dependencia inversa en la longitud de onda a la cuarta potencia. El segundo ejemplo es un problema que se inició proponiendo un dispositivo para determinar la ley de inducción de Faraday. Cuando el estudiante se da cuenta que en su modelo despreció la inductancia de

una de las bobinas que está usando (lo cual es catastrófico para altas frecuencias), se ve obligado a modificar el modelo y, considerando la inductancia, explica sus resultados experimentales [22].

Finalmente, un proyecto donde los estudiantes diseñaron un experimento que ilustra los marcos de referencia no inerciales por medio de fotografía. Para lograr el objetivo los estudiantes resolvieron problemas experimentales, de modelaje y de interpretación, siendo particularmente interesante cómo se resolvió el problema de sincronía de las cámaras y la interpretación de sus resultados [23].

5. Consideraciones finales

La importancia de los primeros cursos de laboratorio no es cuestionada, salvo algunas veces por la capacidad económica de la institución; sin embargo, no siempre son claros los objetivos particulares que se persiguen, su distribución y coordinación en los diferentes cursos y, sobre todo, tampoco es clara la evaluación de los experimentos y del curso en general con base en los objetivos. Esto genera la necesidad de tener una estructura o esquema que defina objetivos y tiempos para alcanzarlos. La estructura debe coordinar los diferentes cursos tomándolos como un conjunto y no como unidades independientes. Un esquema de objetivos como el que aquí se presenta puede tener las siguientes ventajas y limitaciones.

La evaluación de los experimentos (prácticas) con base en la estructura permite aprovechar mejor los ya existentes, tener criterios claros para eliminar los que no se ajustan a la estructura y facilita el diseño de nuevas prácticas.

La estructura es algo concreto que se puede presentar a los profesores, permitiendo uniformizar un mínimo de material y facilitando la evaluación de las prácticas. Esto también facilita la adaptación al curso de nuevos profesores.

El esquema da criterios que permiten que el estudiante tenga claro qué se espera de él, y permiten que el profesor pueda contribuir a la evolución del curso diseñando nuevas prácticas que sean congruentes con lo ya hecho, sin que esto lo limite para cubrir objetivos más ambiciosos no contemplados en el esquema.

La estructura de objetivos no demasiado ligada a la temática le da a los cursos una generalidad que va más lejos de los temas a tratar en las prácticas. Esta característica hace que la estructura pueda incluso combinar laboratorios interdisciplinarios o desarrollarse en cualquier otra materia como química o biología.

Como todo curso por objetivos, una de sus principales limitaciones es la total especificación de las conductas esperadas. Esto puede traer como consecuencia no obtener objetivos más ambiciosos cuando tanto los estudiantes como el profesor están en capacidad de hacerlo. Sin embargo, la estructura debe funcionar como base y no trata de ser exhaustiva en cuanto a posibilidades, por lo que será importante tener varias prácticas para un mismo objetivo, de tal manera que el maestro use aquella que le permita obtener los mejores resultados de acuerdo a su interés y al del grupo.

Finalmente, la evaluación del esquema tendrá que hacerse dentro de las restricciones que presenta la institución en donde se aplica; factores como cantidad

de alumnos, materiales para prácticas, permanencia de los profesores, etc., no se pueden desacoplar.

Referencias

1. J.G. King, *Am. J. Phys.* **34** (1966) 1058.
2. B.A. Green Jr., *Am. J. Phys.* **39** (1971) 764.
3. R. Gómez, S. Reyes y H. Riveros, *Rev. Mex. Fís.* **21** (1972) E43.
4. I. Renero, R. Rojano, J.R. de Flores y C. Renero, *Rev. Mex. Fís.* **21** (1972) E13.
5. E. Langendijk, P.T.M. Niesten, W. van Willigen y W. Wolthers., *Am. J. Phys.* **46** (1978) 1220.
6. B. Woolnough (editor), *Phys. Educ.* **14** (1983) 334.
7. V. Beltrán L., *Ciencia* **34** (1983) 193.
8. E.L. Poduska y V.N. Lumetta, *Phys. Educ.* **19** (1984) 241.
9. L. Braga, *Rev. Mex. Fís.* **30** (1984) 347.
10. H. Riveros, V. Sánchez, M. Castro, E. Cárdenas, M.P. Segarra y R. Reynoso, *Rev. Mex. Fís.* **34** (1988) 420.
11. A. Manzur, L. Mier y Terán, R. Olayo y H. Riveros, *Rev. de la Educ. Sup.* **7**, 1 (1978) 49.
12. R. Barrera, M.A. Pérez, A. Sánchez y G. Torres (editores), *Catálogo 1988-89 de programas y recursos humanos en Física*. Sociedad Mexicana de Física (1988).
13. H.G. Riveros, *Rev. Mex. Fís.* **35** (1989) 512.
14. L.H. Hoddeson, *Phys. Teach.* **10** (1972) 14.
15. B. Crummett, *Phys. Teach.* **28** (1990) 291.
16. D. Halliday y R. Resnick, *Física*, partes 1 y 2, problema 15-31, CECSA, México (1983).
17. R. Weinstock. *Am. J. Phys.* **37** (1964) 370.
18. F.W. Sears, *Am. J. Phys.* **37** (1969) 645.
19. A. Romo y R. Olayo (en preparación).
20. F.A. Jenkins y H.E. White, *Fundamentals of Optics*, 3a. ed. McGraw-Hill, New York (1957).
21. Lord Rayleigh, *Scientific Papers*, Vol. I, Dover, New York (1964).
22. R. Olayo y A. Romo, II Simposio de Instrumentación. Oaxtepec, Morelos (1982).
23. C. Soto, S. Camacho y A. García, XXXI Congreso Nacional de Física. Ponencia 3C5. Monterrey, N.L. (1988).

Abstract. In this work we discuss the design of a set of laboratory courses for undergraduate level; this discussion is built around the physics laboratory on the physics bachelor program, but it can be generalized for any of the science and engineering programs. We discuss some of the factors that have to be considered in the design of the courses, and an objectives scheme, giving examples of the scheme utility in the design of the experiments. Finally, we give examples that illustrate the method and its implementation.