

CONSEJO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA

INSPECCIÓN DE FÍSICA

REFORMULACIÓN 2006

**SEGUNDO AÑO DE BACHILLERATO
DIVERSIFICACIÓN ARTÍSTICA**

*TERCERA SALA DE PROFESORES DE
FÍSICA*

INSTITUTO FRANCISCO BAUZÁ

MARZO DE 2010

Este trabajo se realizó para apoyar la tercera sala de profesores de física que tienen actividad en el curso de segundo año de bachillerato *diversificación artística*, en lo referente a la primera unidad: sonido y acústica musical.

Complementa este material un CD en el que se han seleccionado materiales, correspondientes a la primera unidad del programa, que podrían utilizarse en este curso.

Agradezco a todas las personas e instituciones que, de diversas formas, han contribuido a la realización de esta tarea.

Daniel Baccino, febrero de 2010.

*UN ENFOQUE POSIBLE
PARA LA UNIDAD I:*

SONIDO Y ACÚSTICA MUSICAL

CONTEXTUALIZACIÓN

Este es el primer año que tengo a cargo un curso de física en la diversificación artística.

Durante el verano elaboré un borrador de planificación para esta unidad, que incluía un conjunto de cinco actividades experimentales, la utilización de simuladores y videos. Además, la elección de software que permitiera realizar operaciones como editar, grabar, generar, analizar, y sintetizar sonidos.

Me encuentro con un grupo, en el primer turno del liceo N° 4 de Montevideo, con 40 estudiantes en lista, de los que terminaron el curso 32.

Terminado el curso, y después de la invitación que generó este encuentro, reviso algunas cuestiones e intento pensar en algunos instrumentos que valga la pena rescatar.

Lo que describo en los últimos tres párrafos conforman un contexto para esta charla, que me pareció importante explicitar. Por los motivos expuestos leerán en lo sucesivo con frecuencia la frase “una forma posible de ...”.

Las opiniones que aparezcan aquí son de mi exclusiva responsabilidad.

OBJETIVOS

Presentar algunos instrumentos, no necesariamente novedosos, que pueden utilizarse en el curso de física de referencia.

Promover el intercambio entre los asistentes a la charla, tanto durante la misma como posteriormente a ella.

ALGUNAS CUESTIONES PREVIAS

Al comienzo del curso puede ser relevante un diagnóstico¹ que considere aspectos que pueden ayudar a tomar decisiones, explorando:

- Que “traen” los estudiantes sobre “fenómenos ondulatorios” del curso de 1° de bachillerato. Eso puede definir la extensión y profundidad de la parte introductoria al curso.
- Sus eventuales inquietudes musicales. ¿Ejecutan instrumentos musicales?, ¿han estudiado canto?, etc. Este puede ser un elemento que ayude a definir contenidos, extensiones, profundidades, y permita favorecer la motivación de los estudiantes en esta unidad.
- Su condición de lectores asiduos, esporádicos, o no lectores; su capacidad para el dibujo, su interés por la historia. Puede ayudar a definir enfoques (analíticos - gráficos) de ciertos problemas. El hábito de la lectura no es frecuente entre nuestros estudiantes, pero quienes optan por esta diversificación podrían ser más “leídos”.

Al menos en un ámbito como este, no parece estar en discusión la afirmación: *un curso de física a este nivel requiere la realización de actividades experimentales.*

¹ En salas anteriores ya se ha enfatizado esto. Ver la presentación “arte y expresión resumen anual” de la profesora Brenda Moreno Pouso, del Liceo de Nueva Helvecia.

El hecho de que el curso tenga tres horas semanales, sin ninguna asignación de tiempo fija para la realización de actividades experimentales genera dificultades para implementar un enfoque análogo a los cursos de física del mismo nivel en las diversificaciones biológica y científica.

Entonces, *¿cómo se puede enfocar la necesaria realización de actividades experimentales en un curso como este?*

Una forma posible es:

- Realizar algunas actividades en la que los estudiantes participen activamente. Ellos en general lo disfrutan, y les resulta motivador.
- Realizar algunas actividades experimentales donde los estudiantes no realizan manipulación de forma generalizada, a modo de actividades “demostrativas” donde pueden participar algunos estudiantes.
- Complementar esas actividades experimentales con la presentación de simuladores y otras herramientas como videos, que permitan la “realización virtual” de algunas actividades que por motivos diversos son irrealizables. Promover la utilización de estas herramientas fuera del aula.

INSTRUMENTOS

Si los ítem siguientes se pueden considerar como conjuntos, estos no son disjuntos. La forma de organizarlos es relativamente arbitraria.

1_ SOFTWARE

A. Grabación, edición, análisis y síntesis de audio.

En el programa de la asignatura se mencionan dos: Adobe Audition y Cool Edit. Hoy utilizaremos Audacity ².

B. Simuladores.

Sin ser demasiado exhaustivos en términos técnicos, existen una inmensa cantidad de estos objetos que pueden ejecutarse en línea o descargarse para ejecutarse sin conexión.

Otros.

Software que permita generar señales eléctricas³ que puedan colectarse a la salida de la tarjeta de sonido de la computadora, cumpliendo una función similar a un “oscilador de audio”.

2_ VIDEOS; PRESENTACIONES

A. Algunos videos utilizados en el curso

² “Audacity es un programa libre y de código abierto para grabar y editar sonido. Está disponible para Mac OS X, Microsoft Windows, GNU/Linux y otros sistemas operativos.” Tomado de <http://audacity.sourceforge.net/?lang=es> .

En el CD que se les entregará hay archivos de instalación del programa para Windows y Linux y en la carpeta “selección sala 2008” se encuentra el archivo “edición de audio con herramientas libres.pdf” en el que hay una reseña de cómo utilizar el programa.

³ En el CD que acompaña el trabajo se incluyen algunos generadores de señales que fueron parte del material entregado en salas anteriores.

Agarrate Catalina 2007. Del movimiento ondulatorio a las ondas, Figuras de Chladni, Tacoma Narrows Bridge.

“ENTORNOS INVISIBLES de la ciencia y la tecnología”, del canal Encuentro perteneciente al gobierno argentino; especialmente uno de sus capítulos: ESTADIO DE ROCK.

B. Presentaciones.

Se pueden utilizar como instrumento para presentar contenidos, pero también se puede sugerir que los estudiantes elaboren presentaciones.

3_ LIBROS

A. “Para el estudiante”

Algunos comentarios de libros que se encuentran dentro de la bibliografía del alumno.

- Hecht, E. Física. Álgebra y Trigonometría (I). Thomson. México. 2001.
- Aristegui, R, y otros. Física I (Polimodal). Santillana. 1999.

B. “Para el profesor”

Un libro que no se encuentra en la bibliografía, pero que parece recomendable si se quiere profundizar en al ámbito de la acústica musical:

- Roederer, J. Acústica y Psicoacústica de la música. Ricordi. Buenos Aires. 1997.

Además:

- Miyara, Federico. Acústica y sistemas de audio. 3ª edición. UNR. Rosario. 2004?
- Massman, H., Ferrer, R. Instrumentos Musicales: artesanía y ciencia. Dolmen. Santiago. 1993.

4_SITIOS WEB

La lista de sitios que tienen alguna relación con el tema del sonido y la acústica es interminable.

Destacamos algunos a lo largo del texto, y en un apéndice listamos algunos más.

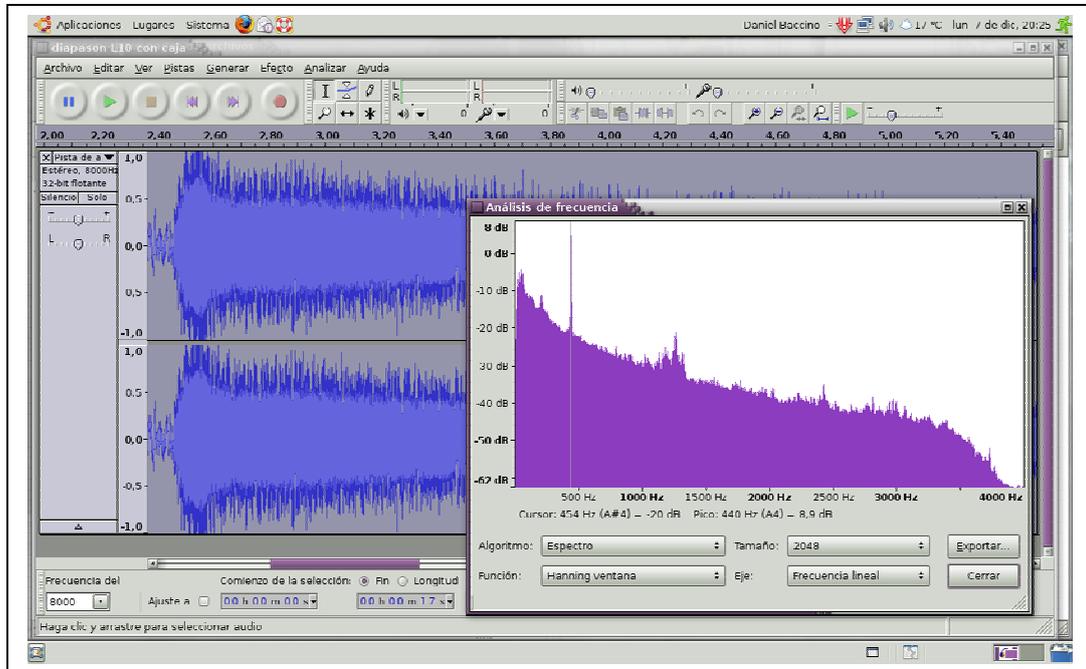
5_ ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

A. Algunas actividades clásicas.

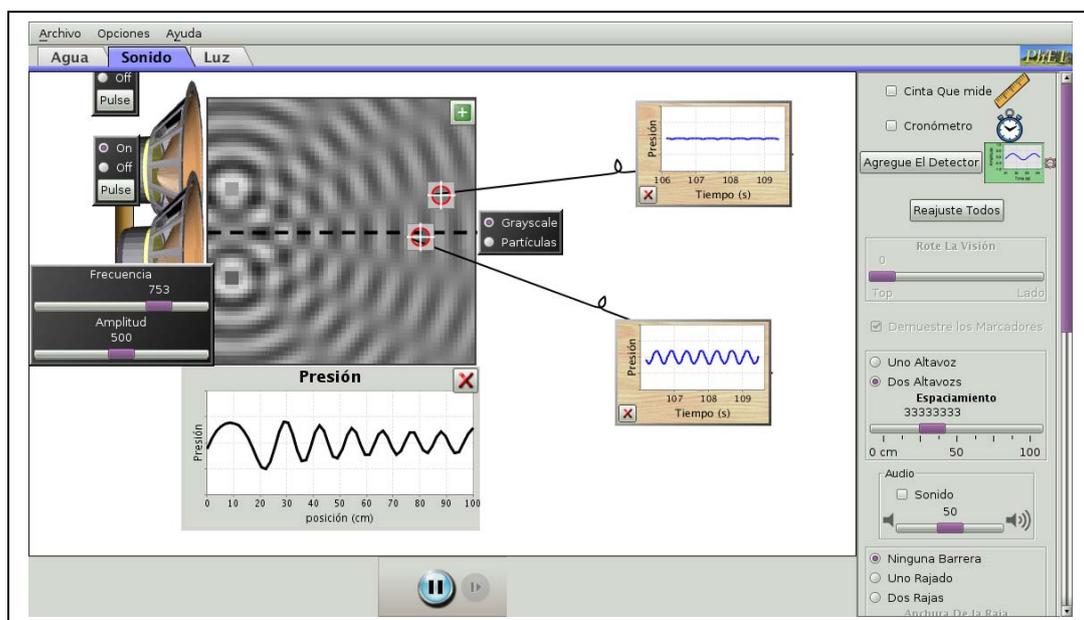
B. Un enfoque posible que se centre en el diseño y ayude a la motivación.

SOFTWARE

Para la grabación, y edición de audio utilizaremos el software Audacity.



Como ejemplo de simuladores o simulaciones, dentro de la innumerable cantidad que pueden encontrarse en la red, ejemplificaremos con los de la Universidad de Colorado (PhET, Interactive Simulations)⁴



⁴ Puede accederse a versiones actualizadas en: <http://phet.colorado.edu/index.php>. Hay una versión de ellos en el CD que acompaña esta sala.

VIDEOS; PRESENTACIONES

Los videos y las presentaciones, pueden ser una herramienta más, al menos, en dos aspectos:

- Permiten mostrar a los estudiantes fenómenos o situaciones que son de más difícil acceso por otro medio. Un ejemplo típico en este sentido es la filmación de la caída del Tacoma Narrow Bridge.
- Se puede explorar el interés de que los estudiantes generen sus propios videos o presentaciones vinculados con la temática que nos convoca. Puede considerarse un elemento más a la hora de la evaluación.

Ejemplifico en la figura⁵ con algunos videos que baje de "youtube" y podrían utilizarse en este curso: Agarrate Catalina 2007, El desastre del Tacoma, Figuras de Chladni.

Una herramienta que utilicé con mucha frecuencia, intentando minimizar las dificultades de tener un grupo cuyo número excedió cualquier límite razonable, fueron las presentaciones proyectadas mediante un cañón.

Una mención especial para una serie de videos del programa "ENTORNOS INVISIBLES de la ciencia y la tecnología", del canal Encuentro perteneciente al gobierno argentino; especialmente uno de sus capítulos: ESTADIO DE ROCK. Es un video de 30 min., con características de divulgación, que se ha emitido por el canal 5 de aire de Montevideo. Se indica en el apéndice el acceso para verlos en línea o descargarlos.



Nicolás Arnicho, Agarrate Catalina, 2007



El desastre del Tacoma, 1940



Figuras de Chladni

Vale la pena evaluar la inclusión de otros capítulos del programa que podrían tener aplicación en otros cursos de física de bachillerato.

⁵ Imágenes tomadas de: <http://www.youtube.com/watch?v=sdICEhG6MGg>, <http://www.youtube.com/watch?v=j-zczJXSxw> y <http://www.youtube.com/watch?v=Qf0t4qIVWF4>

Destacar:

- La importancia del uso de un libro por parte del estudiante.
- La confiabilidad de las fuentes de información.
- Una herramienta que, si se la logra incorporar, puede ayudar a la autonomía en el aprendizaje.
- Los prólogos y los titulares de los índices de los libros pueden darnos una idea primaria (en ocasiones suficiente) sobre él.

Anotamos algunos, que queremos destacar por motivos diversos.

Para el estudiante⁶

Hecht, E. Física. Álgebra y Trigonometría (I). Thomson. México. 2001.

Capítulo 11: ONDAS Y SONIDO

Ondas mecánicas. Características de las ondas. Ondas transversales: cuerdas. Ondas de compresión.

Sonido. Acústica: ondas sonoras. Frentes de onda e intensidad. La velocidad del sonido en el aire. Audición del sonido (altura, timbre, intensidad). Nivel de intensidad. Ondas sonoras: pulsaciones. Ondas estacionarias (en cuerdas, en columnas de aire). El efecto Doppler.

Final del capítulo. Material básico y guía de estudio. Preguntas para discusión. Cuestionario de opción múltiple. Sugerencias para resolver problemas. Problemas.

Comentarios

A priori, me pareció el libro más adecuado de los que pude mirar. Lo adopté como referencia y les pedí a mis estudiantes que lo manejaran.

Durante el curso me encontré con dificultades para que los estudiantes mayoritariamente lo comprendieran.

Al final del curso una de las “críticas más votadas” fue que el libro no les pareció adecuado. Una de las expresiones por los estudiantes lo grafica claramente: “es un libro para profesores” Lamentablemente, algunos contenidos de la unidad 2, están en el tomo 2.

Aristegui, R, y otros. Física I (Polimodal). Santillana. 1999.

Extracto del índice

SECCIÓN V. ONDAS: SONIDO Y LUZ

C. 11. Oscilaciones mecánicas. Sonido.

C. 12. Fenómenos ondulatorios.

C. 13. La luz.

Contenidos del capítulo 11: Para entrar en tema: Escalas musicales. Movimiento oscilatorio. Movimiento armónico simple. Cuerpos vinculados a resortes: frecuencia propia. El péndulo simple. La energía en las oscilaciones. Oscilaciones forzadas: resonancia. Las ondas y el sonido. Las ondas armónicas. Superposición de ondas. Ondas estacionarias. Armónicos. Instrumentos musicales. Análisis armónico. Intensidad del sonido. Trabajos prácticos. Vibraciones e ingeniería. Los auditorios.

Comentarios

El libro fue diseñado en el marco del proyecto Ciencias naturales para el Polimodal.

⁶ Los que se mencionan aquí pueden considerarse como candidatos a libros de texto. Algunos tramos de los que se mencionan en el ítem siguiente también pueden ser lectura para los estudiantes.

Es un libro a color (relevante para la unidad II). En la sección V se presentan *casi la totalidad de los contenidos correspondientes a todo este curso*. Vale la pena considerar también propuestas en las secciones finales: Recursos para el trabajo científico y Talleres de ciencias. Es un candidato para recomendar para todo el curso, ya que no es frecuente encontrar (salvo libros de física general) los contenidos en un tomo único.

Lamentablemente es un libro discontinuado, según informa la editorial en Montevideo. Eso dificulta el acceso.

Para el profesor

Los libros que se anotan **no** surgieron de una investigación bibliográfica sistemática.

Roederer, J. Acústica y Psicoacústica de la música. Ricordi. Buenos Aires. 1997.

Extracto del prefacio

“... el propósito fundamental de este libro es *unir* a la física, la psicoacústica y la neuropsicología en una única familia de ciencia interdisciplinaria, usando la música como enfoque y gran reconciliador. Es mi sincero deseo que el resultado de esta reunión de disciplinas, o “*Ciencia de la Música*”, satisfaga las inquietudes de los lectores a cerca de lo que “en realidad” es la música, y que les provea la información actualizada sobre los procesos físicos de generación de tonos en instrumentos musicales, la propagación de ondas sonoras a través del medio ambiente, su detección en el oído y los mecanismos pertinentes de análisis, interpretación y respuesta emotiva en el cerebro.

Extracto del Índice:

- 1. Música, física, psicofísica y neuropsicología: un enfoque interdisciplinario**
- 2. Vibraciones sonoras, tonos puros y percepción de altura**
- 3. Ondas sonoras, energía acústica y percepción de la sonoridad**
- 4. Generación de sonidos musicales, tonos compuestos y percepción del timbre**
- 5. Superposición y sucesiones de tonos compuestos y la percepción musical**

Comentarios

Un libro que vale la pena considerar a la hora de profundizar sobre la acústica musical. El autor es conocido por otro libro editado por EUDEBA: MECÁNICA ELEMANTAL. Este puede considerarse al nivel del anterior, o quizás más fundamentado.

Miyara, Federico. Acústica y sistemas de audio. 3ª edición. UNR. Rosario. 2004?

Extracto del prólogo

“Este libro fue escrito con el fin de proporcionar al lector una base conceptual sobre los sistemas de sonido aprovechable tanto por el lector especializado como por el que se dedique profesionalmente al manejo y aplicación de los mismos.

.... El texto puede ser utilizado por cualquier persona interesada en adquirir una visión conceptual sobre la acústica, el audio y los sistemas de sonido, pero será especialmente provechoso para aquellos que desarrollen su actividad profesional o laboral en esa línea, ... ”

Extracto del Índice:

- 1. Acústica Física**
- 2. Psicoacústica**
- 3. Acústica Musical**
- 4. Acústica Arquitectónica**
- 5. Efectos del ruido en el hombre**
- 6. Señales y sistemas**
- 7. Electricidad**
- 8. Micrófonos**
- 9. Amplificadores**

- 10. Altavoces y cajas acústicas**
- 11. Filtros y ecualizadores**
- 12. Acoples**
- 13. Compresores y limitadores**
- 14. Audio digital**
- 15. Efectos: Concepto y estructuras. Retardos, ecos, reverberación. Modulación, trémolo, vibrato. Coro (chorus), Flanger. Wah-wah, Phaser. Distorsionador, resaltadores. Transpositores de altura.**
- 16. Registro magnético**
- 17. Registro digital**
- 18. Consolas de mezcla.**

Comentarios

Miyara es un ingeniero argentino (rosarino) que parece haberse especializado en el estudio de ruido, entre otras cosas. Es un libro en el que se tocan muchos puntos vinculados con el “sonido eléctrico”. Puede ser interesante mirar el sitio web del Laboratorio de acústica y electroacústica de la Universidad Nacional de Rosario.

Massman, H., Ferrer, R. Instrumentos Musicales: artesanía y ciencia. Dolmen. Santiago. 1993.

Extracto del prólogo

“Este libro va dedicado a todos aquellos que, por uno u otro motivo, se encuentran relacionados con la Música o con la Física. Tanto al músico profesional como al físico con inquietudes musicales, que incluyen la afición a interpretar. En el libro no se ocupan fórmulas matemáticas que estén fuera del alcance de un lector que no ha tenido un curso regular de matemáticas superiores, ni se usan conceptos de la teoría de la música que van más allá de los elementos de ella. El nivel de complicación y la estructura que se ha dado permite que se le use en un ambiente escolar bajo la tuición de un profesor de física.”

Extracto del Índice:

- 1. El sonido: sus propiedades**
- 2. Propagación del sonido**
- 3. Armónicos, timbre y escalas musicales**
- 4. El piano**
- 5. Oscilaciones de una columna de aire**
- 6. Los vientos de madera**
- 7. Los vientos de metal**
- 8. El timbal**
- 9. El violín**
- 10. El oído**

Comentarios

Aparecen aquí muchas cuestiones cotidianas que pueden explicarse desde la Acústica. Casi no tiene matemáticas. Algunos capítulos pueden considerarse para lectura a los estudiantes. En la carpeta correspondiente a la sala 2008 el archivo “Física instrumentos musicales.pdf” contiene al libro.

SITIOS WEB

Aquí presentamos una selección y algunos comentarios de una lista más amplia, anotada en el apéndice con los hipervínculos correspondientes.

Grupo Multimedia IEE y Seminario de audio 2009

El grupo de la Facultad de Ingeniería de la universidad de la República realiza desde hace algunos años un seminario. Se tiene acceso a material de seminarios de años anteriores, algunos de los cuales pueden ser de interés.

El grupo tiene como una de sus insignias el proyecto Tararira, que se plantea el reconocimiento de melodías musicales mediante su tarareo.

Apuntes de Acústica musical. D. Maggiolo

Daniel Maggiolo fue docente de Acústica Musical en la Escuela Universitaria de Música de la Universidad de la República. Es interesante consultar la página “Apuntes para el curso” y la página “sitios de apoyo” donde se tiene una cantidad importante de enlaces sobre: Acústica. Psicoacústica. Afinaciones, escalas, intervalos. Acústica arquitectónica. Ecología acústica.

Curso de Acústica de Martín Rocamora.

Especialmente los Apuntes de Acústica Musical. Estudio de Música electroacústica. Abril de 2006. El archivo “fisica-del-sonido.pdf” del CD contiene ese material, al que se puede acceder también en la red.

Introducción a Csound en la Escuela Universitaria de Música. Luis Jure.

Jure, en el sitio mencionado arriba, comienza describiendo a Csound así:

“Csound es un lenguaje específico para la síntesis y procesamiento digital de sonido por computadora, seguramente el más popular y difundido de los lenguajes de la familia Music N, que desarrollara originalmente Max Mathews a fines de la década de 1950. Creado en 1985 en el MIT por Barry Vercoe, a partir de sus anteriores Music 360 (1968) y Music 11 (1973), Csound ha seguido un constante proceso de crecimiento y actualización gracias al aporte de numerosos desarrolladores de todo el mundo.”

Para dar una idea más pobre y reducida, pero quizás más gráfica, el programa puede considerarse análogo al clásico Matlab.

Laboratorio acústica y electroacústica. Miyara

Además del material que se puede encontrar en el sitio, especialmente en la página “biblioteca virtual”, Miyara es el autor de un libro con un perfil técnico que se menciona en la sección correspondiente.

Curso interactivo de física en Internet. Ángel Franco García.

“... es un curso de Física general que trata desde conceptos simples como el movimiento rectilíneo hasta otros más complejos como las bandas de energía de los sólidos. La interactividad se logra mediante los 645 applets insertados en sus páginas webs que son simulaciones de sistemas físicos, prácticas de laboratorio, experiencias de gran relevancia histórica, problemas interactivos, problemas-juego, etc.”⁷ Algo que me resulta valioso rescatar es un procedimiento geométrico para ayudar a los estudiantes a dibujar y comprender el

⁷ Tomado de: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>

Efecto Doppler.⁸ Desde aquí se puede acceder a un sitio que trata específicamente el tema: Curso de Acústica⁹.

Física re-Creativa. S. Gil y E. Rodríguez.

Un sitio del que son responsables Salvador Gil y E. Rodríguez. Los proyectos experimentales (guías de actividades) sobre Ondas sonoras fueron tomados como base para las que se mencionan en este trabajo. Puede ser de interés consultar también proyectos realizados por estudiantes universitarios sobre estos temas.

Aportan algún elemento que no es usual estudiar en el ámbito secundario y habría que evaluar su inclusión.

Matemática y música. D. Benson

Un libro sobre matemática y música que se puede descargar de la red. Una versión no demasiado antigua se deja en el CD.

⁸ Le debo el conocimiento de este procedimiento al Profesor Juan Francisco Pannone.

⁹ Ver apéndice.



ACTIVADES EXPERIMENTALES "CLÁSICAS"¹⁰

¹⁰ La imagen fue tomada de: <http://www.tecnoedu.com/Pasco/SE7343.php>

MOVIMIENTOS OSCILATORIOS

POSIBLES PROPÓSITOS U OBJETIVOS

Medir el período de un movimiento cuya periodicidad se pueda aceptar "a priori"¹¹: péndulos oscilando con pequeña amplitud, sistemas "cuerpo-resorte".

COMENTARIOS

Conceptualizar la periodicidad, cuantificable mediante magnitudes como *período*, *frecuencia*, *frecuencia angular*.

Comenzar a hablar aquí de frecuencias propias de un sistema oscilante, para luego extenderlo a situaciones como la cuerda o la columna de aire, puede ser adecuado.

La definición de amplitud de un movimiento periódico parece adecuada incluirla aquí.

Aquí se puede empezar a manejar las nociones de medidas directas, medidas indirectas, incertidumbres, expresión adecuada del resultado de una medida.

Podría complementarse:

- Comenzando a trabajar con funciones sinusoidales. Desde el punto de vista gráfico, ya que es posible que muchos manejen con fluidez la herramienta. Desde el punto de vista analítico (la "matemática" les va a resultar más pesada, ... pero en algún momento habrá que empezar, si se quiere realizar una mínima descripción analítica) para complementar el anterior y mostrar que son como "dos caras de una moneda".
- Podrían plantearse algunas cuestiones de corte energético, explorando que recuerdan de cursos anteriores sobre el particular.



NOTAS

¹¹ La idea es utilizar cronómetros de arranque y parada manual para realizar la medida de intervalos de tiempo, incluso es posible que los alumnos utilicen los cronómetros de sus celulares. Con estos instrumentos y métodos es dificultoso probar la periodicidad. La utilización de instrumentos y procedimientos que generen mayor precisión no parece adecuada a la situación.

DENSIDAD LINEAL DE MASA

POSIBLES PROPÓSITOS

Determinación de la densidad de masa de una cuerda de un instrumento musical (en nuestro caso una guitarra acústica)

COMENTARIOS

- Se puede plantear la medida de la masa¹² y la longitud de cuerdas de guitarra, para luego de terminar una magnitud relevante en los instrumentos de cuerda, su densidad lineal de masa.
- Si no se ha hecho antes, podrían plantearse las nociones sobre incertidumbres y expresión de resultados.
- La densidad lineal de masa de una cuerda es



- una de las variables relevantes para definir el sonido emitido por ella. Se podría plantear: ¿Las densidades lineales mayores, correspondientes a las "bordonas", generan sonidos más agudos o más graves que las cuerdas primera a tercera?
- Para ampliar o profundizar algún aspecto se podría cuestionar: ¿Es posible verificar que, al menos, algunas cuerdas de una guitarra estén hechas con el mismo material?, ¿se puede contestar la pregunta anterior comparando densidades lineales de masa?, ¿conoce (recuerda) el estudiante alguna magnitud que permitiera distinguir materiales?. Se apunta a recordar la noción de densidad volumétrica de masa. Un problema adicional que aparecerá seguramente: ¿cómo medir longitudes "pequeñas", como el diámetro de una cuerda, con cierta precisión?. Uso de calibre o tornillo de Palmer.

NOTAS

¹² Se requiere una balanza que permita distinguir, al menos, centésimas de gramo. El departamento de proveeduría de secundaria tenía disponibles balanzas con esas características hasta hace poco tiempo.

ONDAS EN CUERDAS Y RESORTES

PROPÓSITOS

Medir longitudes y tiempos para obtener velocidades de pulsos en cuerdas y resortes "tensos".

COMENTARIOS

- Parece importante, antes de definir la organización de las cuestiones previas, explorar las nociones que los alumnos tengan sobre ondas provenientes del curso de primero de bachillerato. Esto podría definir la pertinencia de la realización de esta actividad.
- Aquí aparecerán seguramente los fenómenos de reflexión, y la diferenciación entre ondas transversales y longitudinales.
- En algunos resortes como el tipo Slinky se puede intentar cuantificar velocidades de ondas transversales y de ondas longitudinales.
- Estos resortes se encuentran en plaza como juguetes con una longitud efectiva menor que las versiones metálicas que se puedan tener en los laboratorios. Puede ser interesante que los alumnos aporten a la clase esos "juguetes" para poder sacar les provecho desde la física.
- Se puede introducir el fenómeno de refracción, si se enganchan dos resortes como los mostrados en la figura adjunta¹³ y se producen ondas en ellos.
- Es posible cuantificar la velocidad de ondas transversales en una cuerda suficientemente larga, variando la tensión a que está sometida. Si se eligen adecuadamente la cuerda, su longitud, las tensiones y se mide con precisión los intervalos de tiempo, se podrá verificar la relación que vincula la velocidad con la tensión: $v = k \cdot \sqrt{T}$, por ejemplo mediante el análisis gráfico.



NOTAS

¹³ Las dos imágenes fueron tomadas de: <http://petewarden.typepad.com/searchbrowser/2007/10/slinky-companie.html> y http://www.fisicodidactico.com/destacados/acustica_y_ondas/13010007.htm

VELOCIDAD DEL SONIDO

PROPÓSITO

Medir la velocidad del sonido en el aire a temperatura ambiente.

COMENTARIOS

- En esta unidad parece imprescindible medir la velocidad del sonido en algún medio. Lo usual es empezar por el aire.
- El planteo que se hace aquí parte de una idea que se puede encontrar en la página 79 de la referencia (5): "En el caso de la velocidad del sonido nos vamos a conformar con poca precisión. Y vamos a usar el siguiente método, aprovechando que la luz es muchísimo más rápida que el sonido. Necesitamos simplemente medir el tiempo que pasa entre un evento lejano y el momento en que nos llega el sonido. Luego medimos la distancia y dividiendo distancia por tiempo se obtiene velocidad." Los autores plantean como eventos posibles hacer estallar un petardo o una persona que aplauda preferentemente con las manos sobre la cabeza.
- El planteo original sugiere medir el intervalo de tiempo de forma "manual", es decir utilizando un cronómetro de arranque y parada manual.
- En la actualidad son de relativo fácil acceso las cámaras digitales que realizan filmaciones y grabación de sonido. Pueden utilizarse estos objetos para mejorar la medida del tiempo que demora el sonido del evento lejano en llegar a la cámara. Buena parte de ellas toman 30 cuadros por segundo.
- Para dar una idea cuantitativa de las posibilidades imaginemos que se ubican separados 200 m con una incertidumbre relativa porcentual de 5% (equivalente a ± 10 m), y que es posible oír a esa distancia el evento.

Aceptemos que pueden distinguirse entre dos cuadros consecutivos el evento de partida (explosión o aplauso) y el de llegada (el sonido alcanza la cámara), con lo cual podría acotarse groseramente la incertidumbre en aproximadamente 0,07s, en el intervalo de tiempo que se puede estimar en algo más de medio segundo.

En una evaluación optimista tendríamos una aproximación a la velocidad del sonido en el aire con una incertidumbre relativa porcentual cercana al 15%.

- Este es un lugar donde podrían buscarse puntos de contacto con elementos históricos, por ejemplo, sobre como hemos ido midiendo a lo largo de la historia la velocidad del sonido.
- La incertidumbre que genera este método, que tiene la ventaja de lo directo, puede ameritar que se utilicen procedimientos más elaborados –como los que se mencionan en "resonancia en tubos"- para cuantificar la velocidad del sonido en el aire.
- Una "experiencia simulada" que va en este sentido puede verse en: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/acustica/veloc_sonido/veloc_sonido.htm

NOTAS

RESONANCIA EN UNA CUERDA TENSA¹⁴

POSIBLES PROPÓSITOS

Verificar la vinculación funcional entre la frecuencia a la que se observan los fenómenos y el número que identifica el modo de oscilación, manteniendo la tensión y la densidad lineal en y de la cuerda. Usualmente en el caso de extremos fijos.

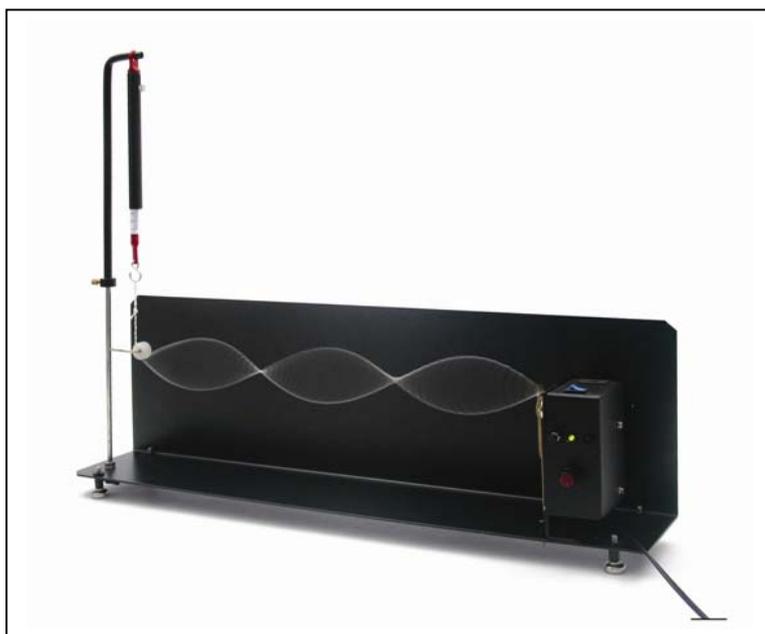
Complementariamente es posible determinar las longitudes de onda asociadas a cada configuración, y eventualmente verificar su relación con la frecuencia.

COMENTARIOS¹⁵

- Una cuestión importante que se puede analizar aquí, además de la proporcionalidad directa entre las variables f y n , es el carácter DISCRETO de esa vinculación.

Este punto es relevante al menos por dos motivos:

- Es uno de los pocos ejemplos de "discretitud" que podemos mostrar en un laboratorio de secundaria.
- Parecería que nuestra capacidad de percibir "alturas" de sonidos musicales, está estrechamente vinculada a que tienen superpuestos un conjunto discreto de frecuencias, y no un continuo. En este sentido Roederer¹⁶ sostiene: "Del infinito número de frecuencias disponibles, el sistema nervioso prefiere seleccionar valores discretos que corresponden a las notas de una escala musical, aun cuando somos capaces de distinguir cambios de frecuencia mucho más pequeños que aquellos representados por el intervalo mínimo de cualquier escala musical."
- Con los cuidados necesarios, mostrando las limitaciones de la analogía, es una situación que puede ayudar a comprender la resonancia en tubos. Puede plantearse de modo similar a como en ocasiones se presenta la interferencia de fuentes puntuales en una cubeta de ondas como actividad previa al experimento de la interferencia por dos rendijas (Young)
- En el ámbito gráfico, puede ejercitarse la utilización de técnicas como el ajuste de funciones previamente definidas al conjunto de datos (si se dispone de herramientas informáticas que realicen rápidamente las tareas de cálculo) o la técnica "más antigua" que utiliza los cambios de variable para "rectificar curvas".
- Significados físicos. El análisis dimensional puede hacer plausible los significados físicos de los parámetros obtenidos en los ajustes.



¹⁴ Ver referencia (3)

¹⁵ La figura muestra una imagen que puede aportar algún matiz en el diseño del dispositivo experimental. Fue tomada de: http://www.fisicodidactico.com/destacados/acustica_y_ondas/13010002.htm

¹⁶ Ver página 14 de la referencia (9)

- Una ampliación posible es analizar la situación haciendo variar la tensión. Surgirá naturalmente el "control de variables" como técnica para asegurarse que los cambios en la variable dependiente se originen en las variaciones en la independiente.
- Una extensión "natural" de este fenómeno donde se observan nodos, es visualizar problemas similares en dos dimensiones espaciales: interferencia de dos fuentes puntuales coherentes en una cubeta de ondas, placas de Chladni.

NOTAS

RESONANCIA EN TUBOS¹⁷

POSIBLES PROPÓSITOS

Determinar frecuencias de resonancia para la columna de aire en el interior de un tubo.

Determinar la velocidad del sonido en el aire a temperatura ambiente.

Otros posibles objetivos que pueden ser de interés, aparecen en la referencia asociada al título.

COMENTARIOS



Tubo cerrado en un extremo



Tubo abierto en ambos extremos

- La forma más elemental que conozco implica utilizar una probeta de una longitud no menor a 40 cm, un diapasón y verter agua dentro de la probeta hasta que se oye un sonido intenso (antinodo) proveniente de un lugar cercano a la boca de la probeta. Con esa longitud se puede obtener exclusivamente el primer modo de resonancia, por lo que es difícil evitar la incertidumbre sistemática que implica que el antinodo no se ubica exactamente en el borde de la probeta.
- Una alternativa es sustituir al diapasón por un parlante conectado a un generador de audio que emita señales sinusoidales cuya frecuencia se pueda controlar. Una tarea básica es intentar medir la frecuencia fundamental para el caso en que el tubo esté abierto en ambos extremos y para el caso en que uno de los extremos esté cerrado, ver figura. Es interesante la comparación y puede plantarse en términos musicales. Ver en el apartado siguiente un enfoque posible de esa tarea.
- Analizar las primeras frecuencias de resonancia para los casos de tubo abierto en ambos extremos y abierto en uno de los extremos, es una posible ampliación del planteo anterior o una actividad más “contundente” que puede analizarse de forma similar a como se planteó el trabajo para la resonancia en una cuerda.

¹⁷ Ver referencia (2).

- Es posible lograr en el laboratorio un dispositivo que permita identificar las resonancias solamente con nuestro oído. A pesar de eso, la utilización de un micrófono conectado a un osciloscopio o a la tarjeta de sonido de una computadora ayuda a distinguir los cambios de frecuencia de los cambios de amplitud del sonido, especialmente a aquellos estudiantes que tengan dificultad para diferenciar dos atributos característicos de los sonidos musicales, llamados “sensaciones primarias”¹⁸: altura y sonoridad. Un oído entrenado musicalmente seguramente no requiere del micrófono aunque los sonidos puros pueden “desorientar a los músicos”.
- Una versión más sofisticada que la primera consiste en construir un dispositivo como el de la figura. Allí el diapasón se sustituye por un generador de señales sinusoidales y un parlante, de modo que se fija la frecuencia en un valor para el que se puedan observar varios modos¹⁹ al variar la altura. La altura de la columna de aire se regula cambiando la altura de un recipiente que está vinculado al tubo mediante una manguera.²⁰



Con el dispositivo que se muestra en la figura, tomamos los datos siguientes. Fijamos la frecuencia del oscilador en 800 Hz. Medimos dos longitudes: $L_1 = (9,5 \pm 0,5)$ cm, es la longitud definida entre el borde del tubo y el nivel de agua cuando se escucha una intensidad sonora alta para la menor de las longitudes de la columna de aire. $L_2 = (31,5 \pm 0,5)$ cm es la longitud medida entre los lugares indicados para el caso en que se escucha la segunda intensidad alta proveniente de la boca del tubo.

Una de las discusiones posibles en este análisis es la que se origina en utilizar a la primera longitud como aproximación a la cuarta parte de la longitud de onda, o a la diferencia de las dos longitudes medidas como aproximación a la mitad de la longitud de onda. La segunda es la incertidumbre sistemática generada por la ubicación del antinodo de desplazamiento ubicado en la cercanía del tubo, y proporciona un valor para la velocidad del sonido cercano al valor esperado: $3,5 \times 10^2$ m/s.

¹⁸ En la referencia (9), Pág. 11, al comenzar a hablar de los atributos característicos de los sonidos musicales se afirma: “Individuos de todas las culturas concuerdan en reconocer la existencia de tres sensaciones primarias asociadas a un sonido musical dado: *altura, sonoridad y timbre.*”

¹⁹ Observar en este dispositivo, significa identificar antinodos provenientes de la boca del tubo con nuestro oído o con un micrófono y un osciloscopio (o una tarjeta de sonido de una computadora).

²⁰ Ver referencia (8) pág. 459 y (6) pág. 146.

NOTAS

BATIDOS

PROPÓSITOS POSIBLES

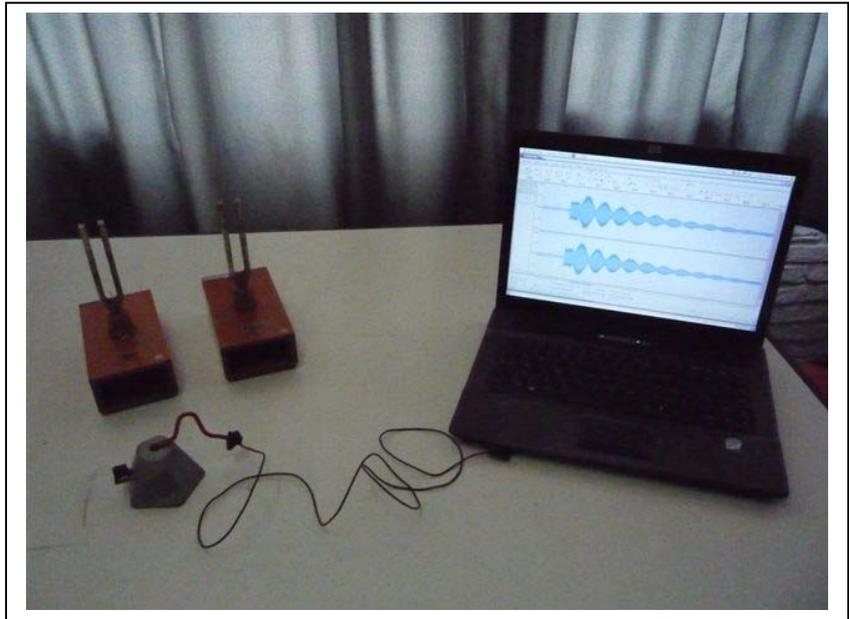
Escuchar batidos y cuantificar las frecuencias de los sonidos originales y la frecuencia de batido.

Mostrar su utilidad para afinar ciertos instrumentos musicales.

COMENTARIOS

Es posible generarlos, al menos, de las formas siguientes:

- Utilizando software mediante el cual se creen dos tonos (puros) de frecuencias suficientemente cercanas, para luego superponerlos.
- Utilizar dos diapasones, levemente "desafinados", y llevar mediante un micrófono el sonido a un editor de audio.
- Utilizar una guitarra desafinada o cualquier instrumento que pueda "desafinarse" y "afinarse" con facilidad, y la misma técnica que en el punto anterior para el análisis.



NOTAS

SONIDOS COMPLEJOS

PROPÓSITOS POSIBLES

Crear sonidos complejos a partir de tonos puros.

Analizar sonidos complejos (emitidos por instrumentos musicales, voz humana, etc.)

COMENTARIOS

- o En la figura adjunta se muestran ventanas del software Audacity: la superior muestra tres pistas con sendos tonos puros, la segunda la superposición (mezcla) de los tres tonos anteriores en una sola pista, la inferior el espectro de frecuencias del sonido complejo.

Se han generado mediante el software tres tonos puros de frecuencias 110 Hz, 220 Hz, 440 Hz. Se puede visualizar la relación entre los períodos en el primer gráfico y por supuesto se pueden cuantificar.

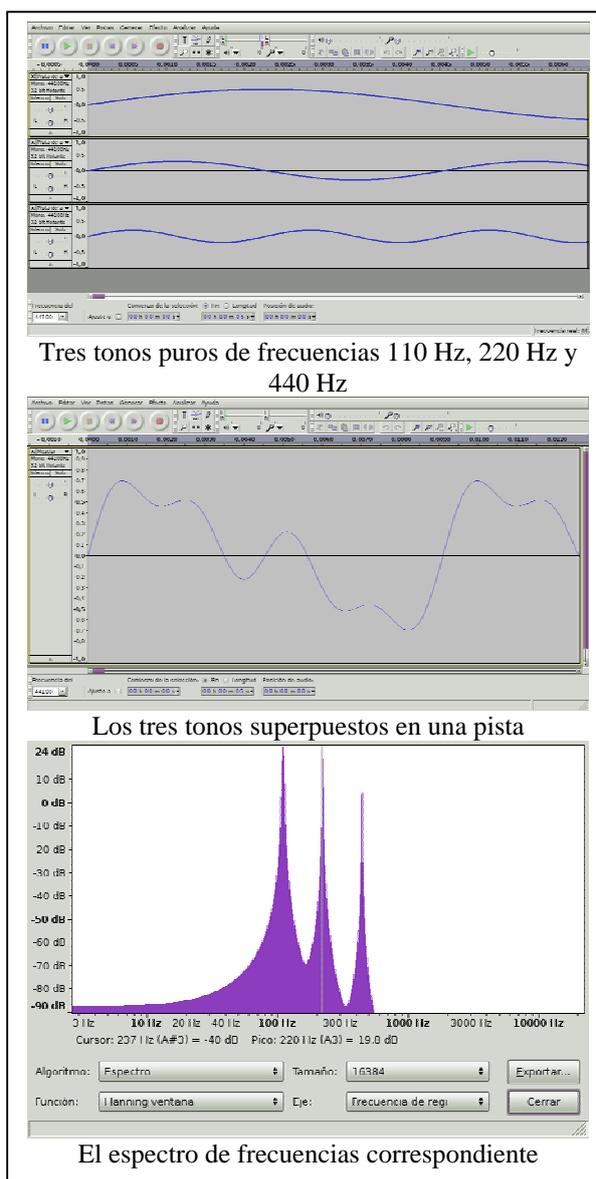
En el segundo gráfico se puede chequear que el período del sonido complejo coincide con el período mayor de los sonidos puros: $9,0 \text{ ms} \approx (1/110) \text{ Hz}$.

En el último gráfico se visualizan los picos para las tres frecuencias, que dependiendo del tamaño que se le quiera asignar al análisis genera separaciones no superiores a los 2 Hz respecto de lo esperado.

Introducir tonos puros generados de esta forma puede ayudar hacer plausible una herramienta que es muy útil para analizar sonidos complejos: *el espectro de frecuencias*.

El paso siguiente podría ser analizar sonidos grabados. Probablemente el sonido más elemental para analizar sea el generado por un diapasón. Luego se puede analizar sonidos de instrumentos musicales, emitidos por animales, etc.

NOTAS



UN ENFOQUE DE ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

La experiencia de este año parece confirmar que la actividad experimental puede ser un buen motivador para los estudiantes, sin importar el enfoque que se plantee para realizarla. Además de lo que uno puede intuir e intercambiar oralmente, en un cuestionario que les presenté al final del curso a mis alumnos, uno de los elementos que mayoritariamente consideraron deficitario y que podría haberlos ayudado a motivarse mejor, es el trabajo experimental.

En principio, el planteo puede ser similar al que realizamos en cursos donde tenemos un tiempo especialmente destinado para trabajar en el laboratorio.

Sin embargo es posible presentar, en algunas situaciones elegidas convenientemente, un enfoque de las actividades que permita que el estudiante participe “en la cocina, elaborando la receta”.

En el programa de la asignatura²¹, específicamente en el apartado “orientaciones para las actividades de laboratorio”, aparece el texto: “algunos elementos que deberían considerarse son los siguientes:

- Diseño de actividades experimentales
- Elaboración de informes
- Manejo de instrumentos, adquisición y tratamiento de datos
- Expresión y contrastación de resultados
- Obtención de conclusiones”

Observamos allí, que los últimos cuatro puntos son “de conocimiento público”. Es decir que, al menos para quienes trabajamos en el segundo ciclo del nivel secundario, son elementos usuales o conocidos asociados con la actividad experimental (incluso aunque el docente no los utilice todos en su práctica)

En cambio, el punto “Diseño de actividades experimentales” es un elemento que no se encuentra usualmente en nuestros cursos.

Si la afirmación anterior fuera válida, es probable que nos resulte más dificultoso implementar esa forma de enfocar el trabajo experimental.

En los casos que conozco, donde se implementa esta tarea, no se la realiza de forma generalizada (no se hacen todas las actividades de esa manera)

Una forma posible de encararla es “abrir una discusión sobre”, al menos alguno de los siguientes puntos, que se anotan sin un orden:

- Modelado de “objetos cotidianos”, como instrumentos musicales, mediante “objetos de laboratorio”.
- Selección de materiales a utilizar, sujeta a disponibilidad.
- Armado y puesta a punto del dispositivo experimental.
- Identificación de las magnitudes físicas relevantes.
- Elección de cual se variará de forma “independiente”, cual de forma “dependiente”, y si hubiere otras potenciales variables, “controlarlas”.

²¹ Referencia (10), agregado al CD que se les entregará en este sala.

Se podría partir de una pregunta vinculada con la acústica musical y de ser posible cercana al conocimiento cotidiano del estudiante.

A partir de allí plantear un intercambio (docente-estudiante y entre pares) que permita desarrollar un trabajo "de laboratorio", poniéndose en juego puntos como los anotados más arriba u otros.

A modo de ejemplo y vinculados en general con propuestas de la sección anterior van los ítems siguientes:

RESONANCIA EN TUBOS

Vimos antes algunas "actividades clásicas" que pueden hacerse con tubos.

Una pregunta posible para plantear como punto de partida es:

Una flauta travesa y un clarinete de la misma longitud, emiten sonidos que están separados por una octava musical²², ¿porqué?²³

MEDIDAS DE LONGITUD EN UNA GUITARRA

La escala igualmente temperada se caracteriza porque el intervalo de una octava se divide en doce intervalos iguales llamados semitonos. Los trastes de una guitarra no están igualmente separados en el espacio.

¿Es la guitarra acústica actual un instrumento que responde a la escala igualmente temperada?

VELOCIDAD DEL SONIDO

La medida de la velocidad del sonido en el aire parece una de las actividades ineludibles en esta unidad. Un planteo, quizás abierto en exceso podría ser el siguiente, que puede vincularse con aspectos históricos, que pueden ser de interés para algunos estudiantes:

Describe como podríamos proceder para medir, de forma sencilla, la velocidad del sonido en el aire.

AFINACIÓN DE UNA GUITARRA

Los ejecutantes de guitarras acústicas usualmente prefieren chequear la afinación de sus instrumentos, cuando lo hacen "a oído", mediante lo que ellos llaman la ejecución de "armónicos". Apunta a la comparación del espectro de sonidos de igual altura musical y diferente timbre.

¿Qué diferencia lo que los músicos llaman "armónico", de pulsar la cuerda apretada detrás del traste correspondiente?

Este enfoque puede también plantearse para realizar otro tipo de actividades, no necesariamente de corte experimental. A modo de ejemplo:

COMPRA DE PARLANTES Y SISTEMA AUDITIVO

Supongamos que definimos relevante analizar las "curvas de Fletcher y Munson"²⁴, porque aparecen allí:

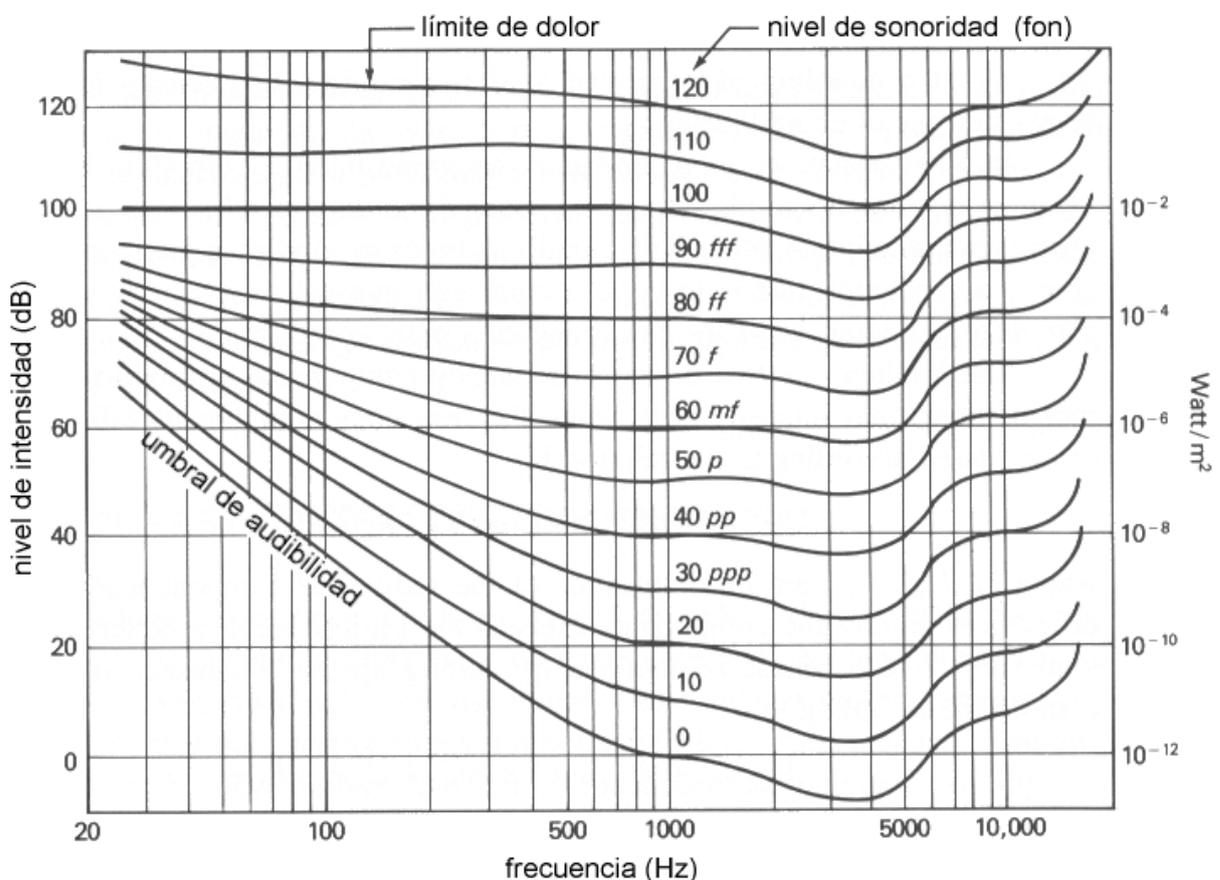
²² Una octava es un intervalo musical en el que las frecuencias fundamentales de los sonidos están en relación 2 a 1, una es el doble de la otra.

²³ Por fundamentos ver, por ejemplo, las referencias: (6) pág. 104 y siguientes, o (9) pág. 147.

- El umbral de audición, y el de dolor.
- Una escala logarítmica gráfica en el eje de frecuencias.
- Una escala lineal en el eje de nivel de intensidad.
- La “forma del umbral de audición”, muestra que nuestro sistema auditivo “promedio” parece más sensible a las frecuencias del centro del rango que en los extremos²⁵.

Una pregunta vinculada con lo cotidiano que puede plantearse a modo de “introducción - motivación” es:

¿Porqué tenemos que pagar más por los equipos de audio de alta fidelidad, especialmente por los parlantes, si queremos graves bien balanceados²⁶?



La imagen de las curvas de Fletcher y Munson fue tomada de:

<http://ie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gmm/audio/seminario/seminariosviejos/2003/charlas/psicoacustica/sonoridadI.html>

²⁴ Una forma usual de presentarlos es mediante curvas de igual sonoridad construidas sobre diagramas “Nivel de intensidad - frecuencia” o “Nivel de presión sonora – frecuencia”. Ver referencia (9) pag. 98 y siguientes.

²⁵ Me pregunto se tendrá esta vinculación con un fenómeno similar que ocurre con la percepción de la luz visible.

²⁶ (9) pág. 103 y (7) pág. 22.

COMENTARIOS FINALES

Algunas actividades que me hubiera gustado realizar previamente a este encuentro y que por motivos diversos no se concretaron:

- Medir el ancho de una puerta utilizando la difracción de sonido.
- Verificar la ley "del inverso del cuadrado", para la intensidad de un sonido.
- Medir de la velocidad del sonido mediante filmación digital.
- Analizar la velocidad del sonido en el aire controlando la temperatura.
- Dado un sonido complejo, por ejemplo generado por un instrumento musical, utilizar un editor de audio para crear un sonido que sea auditivamente similar al anterior. Partiendo de sonidos simples y su superposición, controlar su envolvente y extensión temporal de modo que se emule la estructura típica (ataque, sostén, decaimiento)
- Sintetizar material de revistas que puedan utilizarse en este curso.
- Mostrar algunos "trabajos especiales" que sean parte de la evaluación durante el curso. Podrían incluir por ejemplo: ampliación de algunos tópicos de interés para los estudiantes, construcción de instrumentos musicales sencillos, realización de "actividades experimentales abiertas".
- Explorar el trabajo interdisciplinario en el ámbito de la coordinación de profesores.

Formas de mantenernos comunicados:

Lista de correo de asistentes. Tenemos una del 2008

Crear un grupo soportado, por ejemplo, en google.

Otras?

Algunas cuestiones anecdóticas de los estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

Funcionarios del laboratorio de física del Instituto Francisco Bauzá.

Liceo N°10, Dr. Carlos Vaz Ferreira.

COMUNICACIÓN

Correo electrónico: dbaccisi@gmail.com

Sitio web: <http://sites.google.com/site/fisicaensecundariapuntouy/>

REFERENCIAS

- (1) Aristegui, R, y otros. Física I (Polimodal). Santillana. 1999.
- (2) Gil, S., Rodríguez, E. Ondas acústicas. Sonido. Física re-Creativa. Disponible en: http://www.fisicarecreativa.com/libro/indice_exp.htm#optica
- (3) Gil, S., Rodríguez, E. Ondas en cuerdas. Física re-Creativa. Disponible en: http://www.fisicarecreativa.com/libro/indice_exp.htm#optica
- (4) Hecht, E. Física. Álgebra y Trigonometría (I). Thomson. México. 2001.
- (5) Luzuriaga, J., Pérez, R. La física de los instrumentos musicales. Eudeba. Buenos Aires. 2006.
- (6) Massman, H., Ferrer, R. Instrumentos Musicales: artesanía y ciencia. Dolmen. Santiago. 1993.
- (7) Miyara, Federico. Acústica y sistemas de audio. 3ª edición. UNR. Rosario. 2004?.
- (8) Resnick, R., Halliday, D. Física (Parte 1). CECSA. Méjico. 1980.
- (9) Roederer, J. Acústica y Psicoacústica de la música. Ricordi. Buenos Aires. 1997.
- (10) Programa física. Segundo año opción arte y expresión.

APÉNDICE: ALGUNOS SITIOS WEB

Grupo Multimedia (GMM) del Instituto de Ingeniería eléctrica de la Universidad de la República. Se recomienda especialmente el profuso material que se puede encontrar en el enlace *Seminario de Audio*.

<http://ie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gmm/index.php>

Seminario de audio 2009

<http://ie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gmm/audio/seminario/>

Proyecto Tararira

<http://ie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gmm/proyectos/tararira/>

Escuela universitaria de música

<http://www.eumus.edu.uy/>

Apuntes de Acústica Musical para el curso de Daniel Maggiolo. Escuela Universitaria de Música.

<http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/>

Sitios de apoyo en línea. Una cantidad importante sobre; Acústica. Psicoacústica. Afinaciones, escalas, intervalos. Acústica arquitectónica. Ecología acústica.

<http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acu/acuvin.html>

Estudio de música electroacústica

<http://www.eumus.edu.uy/eme/>

Csound

<http://www.csounds.com/>

Csound en Sourceforge

<http://csound.sourceforge.net/>

Introducción a Csound en la Escuela Universitaria de Música. Luis Jure.

<http://www.eumus.edu.uy/eme/cursos/csound.html>

Especialmente las páginas:

“materiales del curso”: <http://www.eumus.edu.uy/eme/cursos/csound/orcsco/>

y “vínculos a recursos de Csound”: <http://www.eumus.edu.uy/eme/vinculos.html#csd>

Eum. Acústica. Rocamora

<http://www.eumus.edu.uy/eme/cursos/acustica/>

EUM. Curso Teoría musical. Luis Jure.

Intervalos, Escalas, afinaciones.

<http://www.eumus.edu.uy/docentes/jure/teoria/burns/burns.html>

La percepción de los sonidos musicales.

<http://www.eumus.edu.uy/docentes/jure/teoria/plomp/plomp.html>

Introducción a la estructura rítmica.

http://www.eumus.edu.uy/docentes/jure/teoria/lerdahl/estructura_ritmica.html

Emulación de la percepción humana del ritmo.

<http://www.eumus.edu.uy/docentes/jure/teoria/rosenthal/rosenthal.html>

Laboratorio de acústica y electroacústica.

Universidad Nacional de Rosario. Federico Miyara. Biblioteca Virtual

<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/biblio/biblio.htm>

CANAL ENCUESTRO. Programa Entornos invisibles.

Descargas: <http://descargas.encuentro.gov.ar/>

Programa: [Entornos invisibles](#)

Física con ordenador

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>

Física con ordenador-Acústica

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/acustica/tubos/tubos.htm>

Determinación del volumen de líquido en una botella.

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/acustica/resonador/resonador.htm>

Ondas estacionarias en tubos abiertos o cerrados

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/acustica/tubos/tubos.htm>

Análisis de Fourier

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/fourier/Fourier.html>

Efecto Doppler acústico

Sugerencia: ver "... una animación que muestra el procedimiento geométrico para dibujar los sucesivos frentes de ondas del sonido emitido por un vehículo en movimiento." Al final de la página.

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/doppler/doppler.html>

Medida de la velocidad del sonido

Una experiencia simulada

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/acustica/veloc_sonido/veloc_sonido.htm

La web de Física – Software

Una página dentro del sitio donde se describen sintéticamente las características de varios programas comerciales y de código abierto que pueden ser útiles en el procesamiento, análisis y representación de información experimental:

<http://www.lawebdefisica.com/contenidos/software.php>

Paul Falstad's Home Page!

<http://www.falstad.com/>

Oscillations and Waves

<http://www.falstad.com/mathphysics.html>

Fourier series Applet

<http://www.falstad.com/fourier/>

Ondas estacionarias en una placa cuadrada:

Figuras de Chladni

Video

http://www.dfists.ua.es/experiencias_de_fisica/index08.html

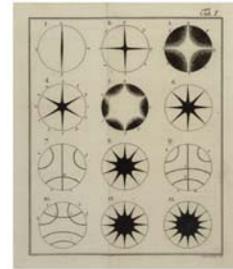
Chladni Figures

La imagen adjunta aparece promoviendo un libro.

http://greg.org/archive/2008/05/28/chladni_figures.html

Chladni patterns for violin plates

<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/chladni.html>



Ley de la reflexión con un diapasón y un micrófono, capacidad reflectora de los materiales:

http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_04_05/io9/public_html/experimento.html

Construcción de un osciloscopio para ver sonido

<http://www.explora.cl/otros/librofisica/osciloscopio.html>

física recreativa

<http://www.fisicarecreativa.com/>

física recreativa-proyectos experimentales

http://www.fisicarecreativa.com/libro/exper_propuest.html

física recreativa-proyectos experimentales_experimentos de óptica y ondas

http://www.fisicarecreativa.com/libro/indice_exp.htm#optica

... Ondas sonoras - Longitud de ondas acústicas y resonadores de Helmholtz.

<http://www.fisicarecreativa.com/guias/sonido1.pdf>

Publicaciones de proyectos realizados

<http://www.fisicarecreativa.com/informes/informes.htm>

Acústica Musical

Proyecto para la asignatura: Ingeniería de las Ondas I - Curso 2005/06

ETS. Ing. de Telecomunicaciones (Universidad de Valladolid)

http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_05_06/io2/public_html/introduccion.html

Desde ese sitio se puede acceder al archivo que se menciona en la referencia siguiente, entre otros muchos artículos.

Una línea del tiempo sobre Acústica

Desde 550 AC hasta el presente, de Acoustical Society of America's.

<http://asa.aip.org/physical/patimeline.pdf>

Acoustical Society of America

<http://asa.aip.org/>

Matemática y Música. D. Benson

<http://www.maths.abdn.ac.uk/~bensondj/html/maths-music.html>

Curso de Acústica

<http://www.ehu.es/acustica/>

La caja de música

http://www.xtec.es/centres/a8019411/caixa/index_es.htm

Acústica musical

http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_05_06/io2/public_html/introduccion.html

Interactive Simulations

<http://phet.colorado.edu/index.php>
