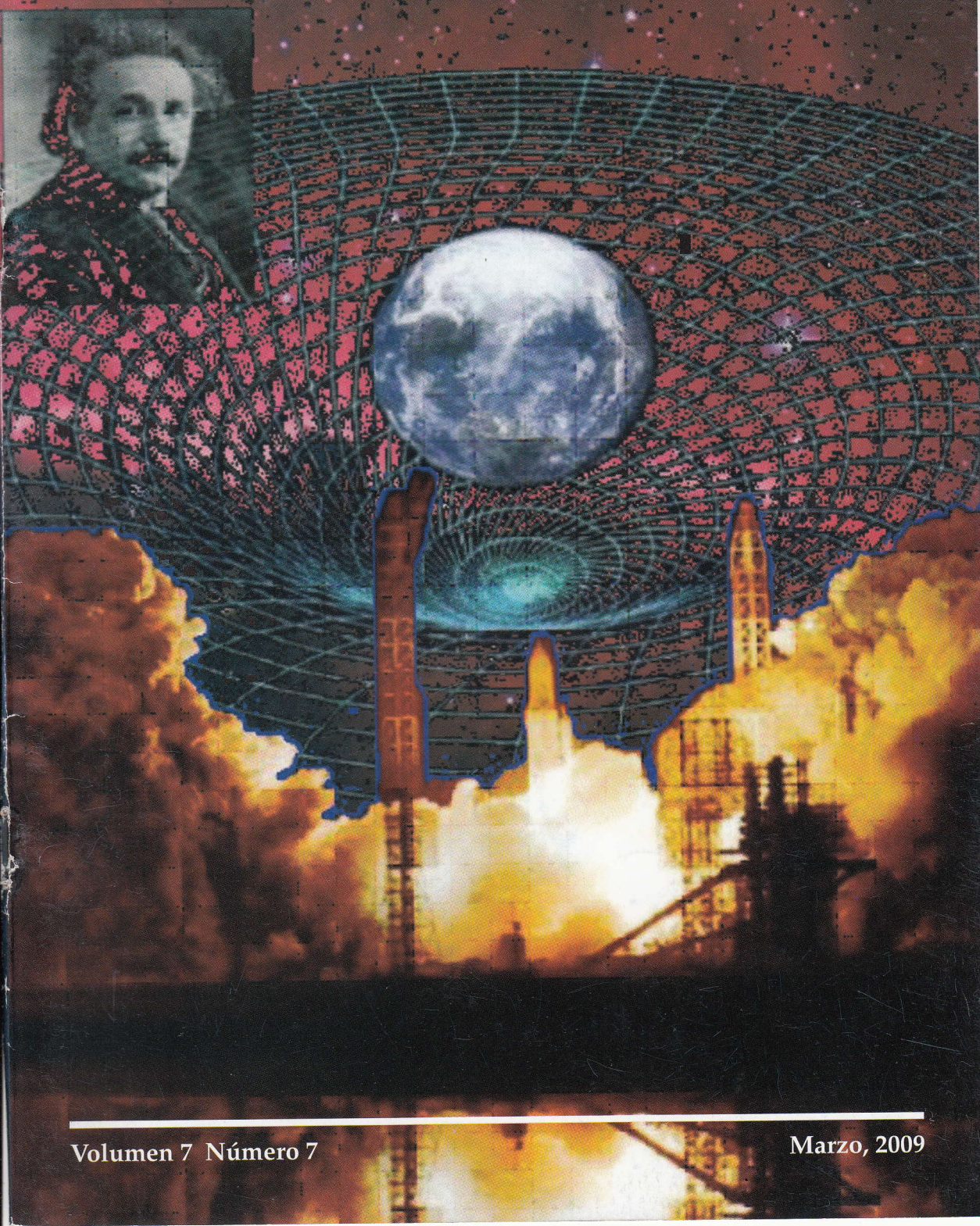


EDUCACIÓN en FÍSICA

ISSN: 0797-9045

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay



Asociación de
Profesores
de Física



del Uruguay

EDUCACIÓN EN FÍSICA

Volumen 7 N° 7

Marzo 2009

Depósito Legal:

299222/09

Redactor Responsable:

Sandry Ramírez

Consejo de Redacción:

Pablo García

Alejandro Villamil

Cecilia Cabeza

Ismael Núñez

Guzmán Trinidad

Educación en Física es una revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay, que se distribuye gratuitamente entre sus socios. Precio: \$U 100,00.

Comisión Directiva de A.P.F.U:

Pablo García

Alejandra Delgado

Patricia Irigaray

Mauricio Rodríguez

Diego Viera

Milko Prado

Dirección de la Revista:

Gaboto 1435 / Of. 002

Montevideo CP 11200

Telefax: (598 2) 400 1258

E-mail: revistaapfu@gmail.com

apfu@adinet.com.uy

Publica: Ediciones IDEAS

Mercedes 1786

11200 Montevideo-Uruguay

Telefax: 408 6985

E-mail: edideas@adinet.com.uy

M.E.C: Ed. amparada por Decreto 218/996



Portada:

Composición libre - "Universos y Destinos"

EDITORIAL

Estimados colegas, lectores y amigos, es al fin una nueva entrega de esta, nuestra publicación luego de algunos traspiés ajenos a nuestras intenciones.

Esta edición fue preparada a fines de setiembre de 2008, pero debió pasar por algunos inconvenientes antes de imprimirse por lo que debieron adaptarse algunos materiales. Parafraseando a Don Max y a Don Albert, así como sabemos que aquel local de estudios al que fuimos no está en el mismo «lugar» aunque tenga aún la misma dirección y aquella persona que besamos hace un pequeño tiempo ya no es la «misma», este ejemplar ha sufrido los cambios correspondientes a su tránsito espacio-temporal.

Estamos asistiendo a un gran número de cambios, adaptaciones y «reformulaciones» en nuestro ámbito académico y curricular, lo que nos hace replantear estrategias, contenidos y formas en nuestra labor pedagógica. No ajenos a esa realidad, seguimos buscando, obteniendo y nuevamente buscando aportes que contribuyan a nuestra formación permanente, «refresque» y actualice nuestro acervo disciplinar.

Sabemos de muchos compañeros, colegas y estudiantes que poseen buenos e interesantes trabajos para compartir, pero por una razón u otra (respetables todas ellas por supuesto) no lo hacen. A todos los invitamos desde aquí a que se animen, envíen sus trabajos; pueden ser y serán un disparador importante para que otros lo hagan, desarrollen una idea, compartan algo que vienen haciendo y sumen, sumen a este «repositorio» que llega a todos y contribuye a difundir y a compartir nuestras experiencias, ideas y prácticas.

Por lo que hemos prometido en anteriores ediciones es claro que algunos trabajos están aún por editarse, auditarse y actualizarse, esperando ser publicados previo paso por el consejo de redacción correspondiente. Este, así como los anteriores y los que vengan, tiene entre sus prácticas el interactuar con autores/as, cuando es necesario, para que el trabajo que finalmente se publique se estructure de la mejor manera posible; siendo una instancia muy positiva de intercambio previo.

Nuestro pasado encuentro fue una instancia vivida, energizante y vital para seguir adelante en nuestro camino, así como descontamos lo será el XIX Encuentro Nacional en Piriápolis. Mientras y hasta entonces que la Física los acompañe.

Prof. Sandry Ramírez

Redactor Responsable

CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN

«Big Bang»; expansión, «corrimientos», contracción, «big crunch»; ¿será cíclico?; ¿la singularidad es ilusoria?; ese «pequeño puntito azul» tal vez nos de una idea de lo que significamos. Bueno, filosófica o no, la existencia, sea lo que sea, nos da tránsito por la vida y a los que nos gusta esa «cosa» de la Física también nos gusta hacernos idea de dónde y hacia donde va el universo como metáfora de nuestras vidas. ¿Tratará de eso algún artículo de la presente edición, o todos lo hacen?

Mezclados entre expansiones y corrimientos previos a la gran contracción, se caen puentes, se registran vaivenes angulares y se extraen «secretos» del aire, por si fuera poco, tal vez, se registran sonrisas y se «navega» en busca de conceptos conocidos, y no tanto, en sus nuevas formas y sabores.

Gracias por el aporte del «Big O» que no pretendió ser un aporte a la Física del Humor pero despertó sonrisas y curiosidad e incentivó a la investigación, dejando muy claro que la Física es un campo muy amplio y holístico.

CÓMO ENVIAR SUS TRABAJOS

Pueden ser enviados para su publicación, contribuciones de diversos tipos: trabajos prácticos, teóricos, divulgación, tesis de doctorado, notas, comentarios de libros, sugerencias «web», software, consejos prácticos y todo artículo, original o no, que nuestros lectores crean conveniente.

1. Los trabajos deben enviarse por duplicado, archivos de computadora e impresos. En ambas debe figurar el nombre de el o los autores, dirección, lugar de trabajo, un breve currículum, correo electrónico para contactarse, y de ser posible, un resumen temático.
2. Las citas bibliográficas se relacionarán al final del trabajo por orden alfabético, indicando:
 - a) Para artículos de revista: apellido del autor(es), año, título del artículo encomillado, título completo de la revista, volumen, número y páginas.
 - b) Para libros: apellido del autor(es), año, título del libro subrayado, editorial, lugar, número de páginas y número de edición, en caso de que el libro sea traducción, indicar entre paréntesis autor de la traducción, nombre origi-

nal de la obra subrayado, editorial y año; dentro del texto las referencias se indicarán dando apellido(s) y año entre paréntesis.

3. Los archivos pueden ser enviados por correo electrónico a la dirección de la revista o a la de la Asociación; enviando el texto con los objetos incrustados y los objetos por separado, mapa de bits (8 bits) o 256 tonos de gris, en lo posible se respetarán los formatos originales, pudiendo variar a criterio editorial y en función de necesidades de compaginación, los tamaños de las ilustraciones.
4. Para simplificar el proceso de armado, sería conveniente que los trabajos llegaran por la vía mencionada en 3.-, enviados por correo común o alcanzados a la Revista acompañados del archivo informático correspondiente, debidamente etiquetado.

Esperamos sus trabajos, consejos, críticas y sugerencias en:

La dirección de A.P.F.U.:

apfu@adinet.com.uy

La dirección de la revista:

revistaapfu@gmail.com



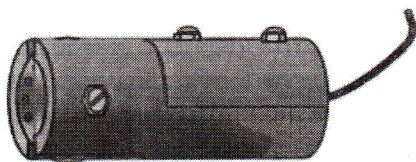
CONSTRUYENDO UN BMW

(Sensor de movimiento angular)

Gabriel Bonomi¹ - Elisa Santos²

Introducción

Este artículo está diseñado sobre el informe presentado para el proyecto de Taller II de la carrera Ayudante preparador de Física en el Instituto de Profesores Artigas (I.P.A.). En el mismo se consiguió construir un sensor de movimientos angulares con materiales de bajo costo.



Este proyecto está ideado para que, con materiales de bajo costo, se pueda construir un sensor de movimientos angulares, conocido como BMW, para conectar a la interfaz CASSY. Este sensor ya está diseñado por Leybold, aunque no se encuentra actualmente en los liceos de Secundaria; con este trabajo pretendemos que sea accesible a todos.

La característica fundamental de este dispositivo es su capacidad para medir arcos, mediante optoacopladores, detectando el sentido de giro. Esto nos permite obtener relaciones entre magnitudes angulares y lineales para un cuerpo o un sistema rígido que gira con respecto a un eje.

También deberemos ajustar el programa BMW original para calibrar a este nuevo sensor. Para ello mostraremos un posible programa para registrar el sentido de giro de la polea.

Funcionamiento del sensor

Interfase Cassy

Como toda interfaz es un sistema que logra vincular un sensor a una PC, logrando de esta manera obtener un registro de datos para luego analizarlos. Este sistema posee varias partes entre las que se encuentran la caja de sensor, el hardware (caja conectora y tarjeta) y el software. La caja de sensor es lo que se construye en este proyecto y la caja conectora es en donde se conectan dichos sensores, pudiéndose hacer esto mediante distintos tipos de conexión (DB15, DIN, etc.). El software que utilizaremos es el mismo que acompaña al sensor BMW original.

Es importante aclarar que la interfaz utiliza para su funcionamiento un archivo de configuración llamado «LH.CFG», el que reconoce al sensor conectado a la misma (BMW en este caso).

¹ Profesor y Ay. Preparador en Liceo de Tala, josegabo@adinet.com.uy.

² CES, Liceo de Atlántida. pachamama@adinet.com.uy.

Archivo LH.CFG

Este archivo es el de configuración de la Interfaz para las cajas de sensores. En él está toda la información que el programa necesita para comunicarse con las mismas.

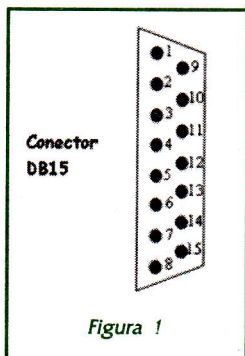
En la caja de sensor utilizada en este proyecto, se elige como número de caja el ya existente en el BMW original, correspondiente al número 2 en decimales, que en base binaria se escribe 000010. Este número es importante porque en la ficha DB15 de la interfaz se necesitan conectar algunos pines para que se reconozca automáticamente como si fuese la original.

Conector DB15

Las cajas de sensores se conectan a la interfaz por medio de un conector de quince pines, tipo DB15 (figura 1). La Interfaz posee dos de estos conectores hembra, situados arriba de las entradas de voltaje A y D de la interfaz.

Los pines 1, 2 y 10 sirven como fuente de voltaje para las cajas de sensores, correspondiendo el 1 a la tierra común, el 2 a +12V y el 10 a -12V. En el caso de nuestro circuito recurriremos al 1 y 2, utilizando además las dos entradas digitales (pines 11 y 12) para que la Interfaz mida los tiempos entre impulsos generados por los optoacopladores del circuito diseñado.

Para que se reconozca la caja de sensor conectada se utilizan los pines del 3 hasta el 6 (en código binario). La interfaz reconoce este código binario utilizando una fuente interna y midiendo los voltajes de los pines 3 a 8: si está conectado a tierra (0V) lo reconoce como un 0 o estado bajo, y si está abierto (5V) lo reconoce un 1 o estado alto. De esta manera determina el código de cada caja conectada a la interfaz.

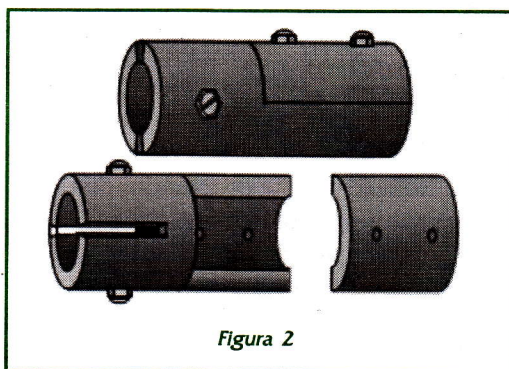


En este caso el pin 4 quedará libre y se conectan a tierra los pines 3, 5, 6, 7 y 8 para formar el número 2 (000010 en código binario) que es el correspondiente a esta caja.

Una vez conectada la ficha DB15 a la interfaz se entra al menú del BMW original para ajustar los valores y verificar si se reconoce la caja de sensor.

Construcción de la estructura del sensor

En la figura 2 se muestra la estructura o partes mecánicas del dispositivo. A un caño



de PVC de 4,0 cm de diámetro se le realizan dos cortes: un corte longitudinal para colocar la electrónica que necesitan los optoacopladores y otro transversal para insertar la polea logrando que gire libremente. El corte transversal tiene una profundidad de 8,5 cm y ancho 0,5 cm aproximadamente. El corte longitudinal para el circuito (sirve como tapa) tiene un corte de 10,0 cm de largo y 2,0 cm de profundidad transversal³.

Luego se realizan los agujeros para colocar los tornillos y las tuercas, para sostener la polea y para tapar la plaqueta con el circuito.

Los tornillos para sostener la polea tienen que poseer un hueco cónico en su extre-

³ Estas medidas no tienen que ser necesariamente las indicadas aquí ya que fueron contempladas basándonos en el tamaño del BMW original.

mo, para que con el eje de la polea (también cónica) cumplan una doble función: sostener la polea y disminuir el rozamiento entre ésta y los tornillos de sujeción. Esto se muestra en la figura 3.

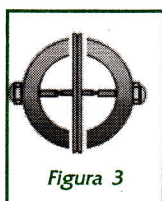


Figura 3

Construcción de la polea

Para la construcción de la polea se utilizaron dos métodos diferentes. En uno se le realizaron agujeros a la propia polea (figura 4), que deben estar a la misma distancia del centro y a intervalos regulares en un margen aceptable de incertidumbre; en el otro se pega a la polea una hoja de acetato con franjas angulares, alternando negras y transparentes (método fotográfico, figura 5).



Figura 4

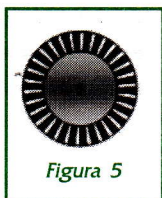


Figura 5

La perforación de la polea no fue fácil, ya que la separación entre los agujeros es crítica para el buen funcionamiento del sensor.

Para el segundo método se deben dibujar en una lámina de acetato rayas negras radiales equidistantes y luego pegarla a la polea, como se ve en la figura 5. Esto puede realizarse con un software apropiado y una impresora.

Con este último método el sensor funciona midiendo el tiempo entre el comienzo de una zona transparente y la siguiente, mientras que en el método anterior lo hace cuando la luz atraviesa los agujeros.

Funcionamiento del sensor

El sensor registra el tiempo entre un pulso de luz infrarroja y el siguiente a través de los agujeros que posee la polea o las zonas transparentes. Para esto se utilizan optoacopladores CNY 37

que básicamente son pequeñas barreras ópticas (figura 6a). La interfaz reconoce cada pulso y captura los datos de posición y tiempo. La cantidad de pulsos indica el tiempo transcurrido entre los optoacopladores y además permite obtener una medida del giro de la polea.

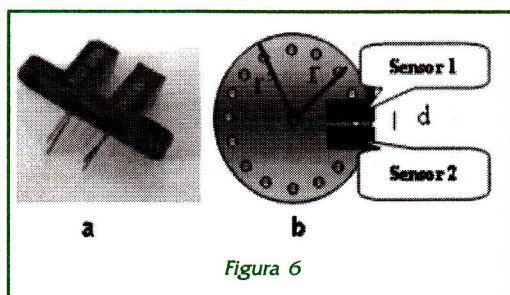


Figura 6

Se necesitan dos optoacopladores porque se debe reconocer el sentido de giro de la polea: mientras que con uno de ellos se registran los datos (figura 6b).

Optoacoplador CNY 37

Los optoacopladores se compran en las casas de electrónica y en su interior poseen un emisor y un fototransistor al igual que una barrera de los cronómetros digitales de los laboratorios.

En la figura 7a se observan simbólicamente sus componentes internos, un fotodiodo y un fototransistor, y en la figura 7b su estructura externa.

Según las especificaciones del fabricante el diodo emisor infrarrojo (entradas 1 y 2) tiene como característica una corriente máxima directa de 60 mA, y el fototransistor de unión NPN (entradas 3 y 4), presenta potencia máxima de 250

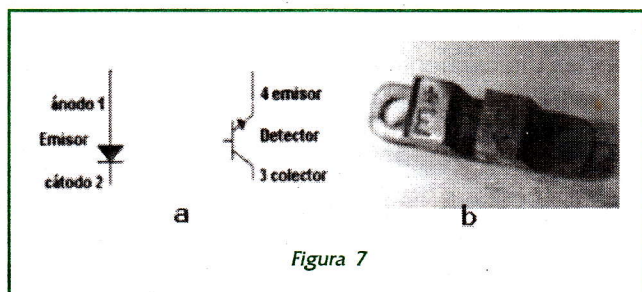
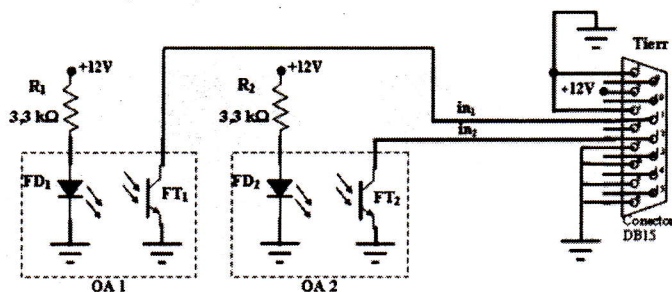


Figura 7

mW, VCE = 55 V máximo y corriente directa máxima de 100 mA.

Circuito utilizado

El esquema del circuito diseñado es el siguiente:



El circuito funciona con dos optoacopladores (OA 1 y OA 2) que como se observa en la figura 7b vienen en una estructura plástica, lo que permite trabajar con ellos en forma cómoda. Esto facilita la separación correcta entre ambos optoacopladores para su buen funcionamiento.

Cada optoacoplador posee un par emisor - fototransistor que emite una señal digital a la interfaz permitiendo registrar tiempos entre una abertura y la siguiente o una transparencia y la otra. Con ello se consigue vincular el tiempo que transcurre entre aberturas y el arco de circunferencia que describe la polea para un determinado radio preestablecido (el radio que entiende el programa BMW es el que utiliza el sensor original, pero luego se ajustará para el que estamos construyendo).

El led emisor se alimenta a través de la interfaz mediante el conector DB15 a +12 V con un resistor en serie de 3,3 KW (R_1 y R_2) para su protección y los fototransistores se conectan directamente a tierra y a las entradas digitales (11 y 12) de la interfaz. Ésta posee internamente en sus entradas digitales una fuente de 5,0 V y un resistor de 47 KW. Cuando llega al fototransistor la luz emitida por el led queda en corto, cerrando el circuito interno de la CASSY y for-

mándose el pulso de 5,0 V necesario para registrarlo en la memoria como un valor obtenido.

Luego, previo ajuste, se utiliza el programa del BMW para construir un gráfico $s=f(t)$ o $\theta=f(t)$ y observar la relación funcional entre estas variables. Se pueden guardar los datos obtenidos para su utilización en algún otro programa que permita su procesamiento (Curve Expert, Matlab, Matcad, etc).

Para utilizarlo en otro programa es necesario transcribirlo a ASCII, mediante el programa ASCTRANS que viene con la interfaz: el archivo BMW guardado tiene extensión DTB y lo transcribimos a un archivo ASCII con extensión DAT utilizando la sentencia «asctrans nombredelarchivo.DTB nombredelarchivo.DAT».

Observaciones sobre el funcionamiento del sensor

Para verificar el funcionamiento del sensor, se analiza su funcionamiento con la misma interfaz en su función osciloscopio. Cuando se conecta un optoacoplador al canal del osciloscopio se espera obtener un resultado como el de la figura 9a, en donde cada pico de voltaje indica la abertura de la polea o zona transparente y es lo que la interfaz reconoce como dígito o pulso. Luego mide el tiempo transcurrido entre los pulsos y de esta manera se obtiene los valores de posición y tiempo.

Al conectar los dos canales a la vez con un optoacoplador en cada uno, el resultado esperado se muestra en la figura 9b. En ella se observa que ambas entradas tienen que estar lo más desfasadas posible, para mantener este desfase dentro de la incertidumbre de construcción es imprescindible que la distancia entre aberturas sea constante. Dicho desfase depende de la separa-

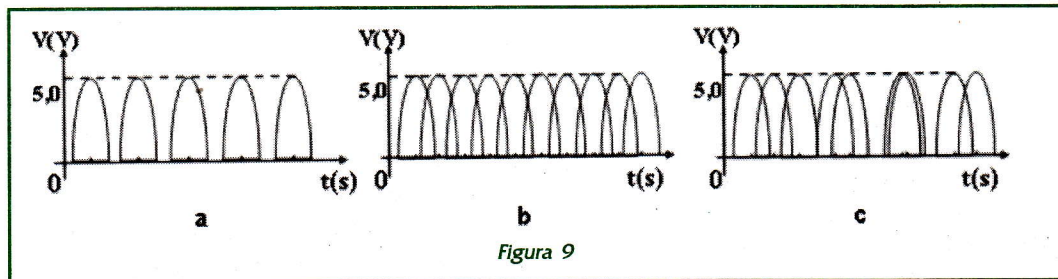


Figura 9

ción de los optoacopladores y pude regularse con un tornillo adherido a los mismos.

En la figura 9c se muestra lo que no debe suceder (desfasaje entre los pulsos), ya que ello produce errores en el orden de aparición de los pulsos y conduce a un mal funcionamiento del sensor. Esta situación tiende a presentarse con el método de la polea con agujeros ya que es sumamente difícil su construcción sin maquinaria específica.

Calibración del Sensor

Dado que se va a sustituir un sensor por otro con dimensiones diferentes y que se utiliza el mismo programa que posee el sensor original, se realizarán ajustes en el programa BMW que trae la interfaz.

El tiempo que marcan ambos sensores es el mismo, ya que el programa mide el tiempo entre pulsos, por lo que no es necesario realizar ningún ajuste; ambos indican el tiempo real transcurrido.

Con respecto al arco de circunferencia que es otra magnitud involucrada en las mediciones del sensor, sí es necesario realizar ajustes para que este nuevo sensor indique arcos de circunferencias correctos.

Para realizar el ajuste necesario se obtiene una relación entre los arcos de circunferencias de ambos sensores, el original y el nuevo.

Cuando un objeto fijo a un eje gira, como las poleas que poseen ambos sensores; el ángulo ($\Delta\theta$) que describe la polea está relacionado con los arcos (Δs y $\Delta s'$) para dos

puntos de radios diferentes (r y r') según figura 10; si se considera a las magnitudes con primas para la nueva polea y sin primas para las del sensor original. Para ello se recurre a la ecuación que vincula el radio, el ángulo y el arco en una circunferencia, considerando la igualdad entre los ángulos al girar se puede obtener la constante de proporcionalidad entre ambas magnitudes.

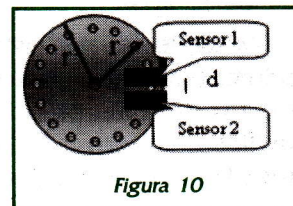


Figura 10

$$\left. \begin{aligned} \Delta s &= \Delta\theta \cdot r \Rightarrow \Delta\theta = \frac{\Delta s}{r} \\ \Delta s' &= \Delta\theta \cdot r' \Rightarrow \Delta\theta = \frac{\Delta s'}{r'} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\Delta s'}{r'} = \frac{\Delta s}{r} \Rightarrow \Delta s' = \left(\frac{r'}{r} \right) \Delta s$$

$$\Delta s'(t) = \underbrace{\left(\frac{r'}{r} \right)}_k \Delta s(t) \Rightarrow \Delta s'(t) = k \cdot \Delta s(t)$$

Esta ecuación relaciona los arcos del nuevo sensor ($\Delta s'$) y el del programa (Δs), la constante de ajuste es el valor necesario para que este nuevo sensor indique valores adecuados a las nuevas dimensiones del sensor construido. Esta ecuación es una relación directamente proporcional en donde la constante es r'/r . Como el programa BMW ya posee en su menú una opción para ajustar las magnitudes, basta con indicar correctamente este valor.

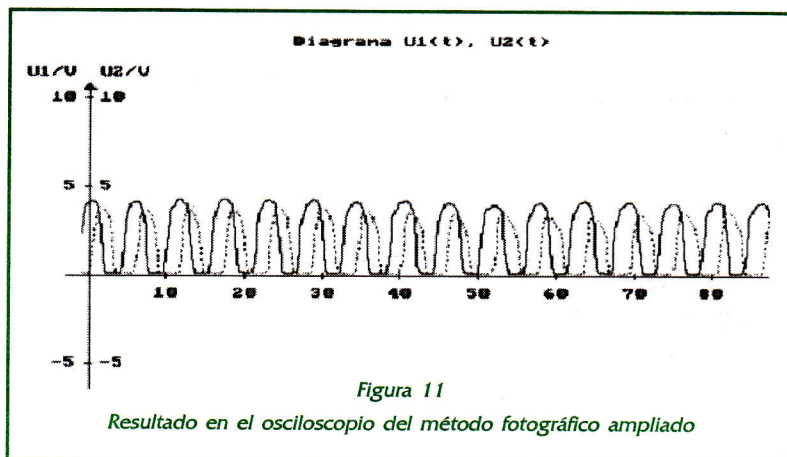
La forma en que se obtendrá la calibración del sensor es realizando una medición de una distancia conocida y compararla con la que indica el programa.

¿Qué puede hacerse con este sensor?

Permite obtener directamente datos de posición en función del tiempo, reconociendo el sentido de movimiento, es ideal para estudiar oscilaciones de cualquier tipo como péndulos, cuerpos unidos a resortes, así como también para obtener gráficas de movimientos, etc.

Desarrollo

Luego de haber construido el sensor, el primer paso fue verificar el funcionamiento de los optoacopladores mediante el osciloscopio utilizando la polea con agujeros y la lámina de acetato. Se tuvo el inconveniente que la polea se comportaba como en la figura 9c y por lo tanto se descartó; mientras que con la lámina de acetato se obtuvieron resultados muy favorables como muestra la figura 11.



El hecho de descartar la polea con agujeros no quiere decir que no funcione, se descartó porque ya se tenía el otro método alternativo.

En esta gráfica se observa el desfase para que el sensor mida adecuadamente. Cuando el desfase no se logra el programa de la interfaz obtiene muchos valores e inmediatamente completa

$$\Delta s' = 0,500m$$

$$\Delta s = 0,197m$$

las 2500 medidas que el programa tiene como máximo.

A partir de esta gráfica se puede concluir que la polea puede ser utilizada para el sensor, ya que se mantiene el desfase entre los pulsos al girar la misma.

Ajustes para el sensor

Como se aclaró en el desarrollo, debido a que las dimensiones del sensor realizado son diferentes al sensor original de la interfaz, se debe ajustar el programa para que indique valores adecuados. A continuación se muestran los ajustes realizados.

Ajuste para el arco o longitudes

Para ajustar Δs o s se gira la polea una distancia conocida con un sistema similar a una máquina de Atwood. Luego se divide este valor medido con el que indica el programa BMW, y de esta manera se obtiene la constante de ajuste necesaria.

Se corre el hilo por la polea, previo a ello se ejecuta el programa BMW para «fijar la posición a cero» y luego se obtienen las medidas. Una vez conocido el Δs que indica el programa BMW se determina la constante de proporcionalidad entre ambas

magnitudes. Por último, se ingresa esta constante de ajuste en el programa BMW y se guarda esta medición como un archivo. Los datos obtenidos fueron:

s' : Arco conocido.

s : Arco medido por el programa BMW.

k : Constante de ajuste.

$$\Delta s' = k \cdot \Delta s \Rightarrow k = \frac{\Delta s'}{\Delta s} \Rightarrow k = \frac{0,500m}{0,197m} \Rightarrow k = 2,54$$

Luego esta constante se agrega en el «calibrado libre» que tiene incorporado el programa. Para ello se entra en el programa a: «CALIBRAR MAGNITUDES», «CALIBRADO LIBRE», «CALIBRAR s» y por último en «FACTOR» se coloca el valor, en este caso 2,54.

Ajuste para ángulo en radianes o grados

Para ajustar el ángulo se utilizó la polea del sensor, un marcador y un hilo. Se ata a ella en forma solidaria para determinar el giro de la polea. Luego se realizan tres giros a la polea y en la pantalla de la computadora se observa el valor obtenido en radianes. Por último se determina la constante de proporcionalidad.

$$\Delta\theta = 4\pi \text{ rad} \quad \Delta s = R \cdot \Delta\theta \Rightarrow R = \frac{\Delta s}{\Delta\theta} \Rightarrow R = \frac{0,325 \text{ m}}{4\pi} \Rightarrow R = 0,026 \text{ m}$$

Radio de la polea

Para verificar si los resultados obtenidos son coherentes con la construcción se utilizó

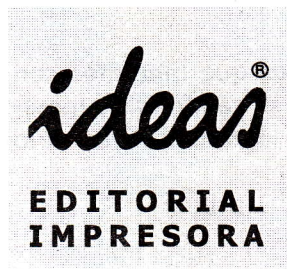
un hilo para girar la polea dos vueltas, y con el arco de circunferencia medido se determina el radio de la polea.

$$\Delta\theta' = k \cdot \Delta\theta \Rightarrow k = \frac{\Delta\theta'}{\Delta\theta} \Rightarrow k = \frac{18,85 \text{ rad}}{0,193 \text{ rad}} \Rightarrow k = 97,7$$

El resultado obtenido es el esperado ya que el diámetro de la polea medido con un calibre fue de 2,55 cm, lo que indica seguridad y confianza en las medidas del sensor creado.

Bibliografía

- «Hoja de datos del sensor optoacoplador CNY37 o TCST2000»; Internet: www.datasheetcatalog.net/es/catalogo/p929680.shtml.
- «Construcción de cajas de sensor para Interfaz Cassy»; Pablo García; Revista: Educación en física, n° 3, año 1996/8.
- «Cassy pack - E»; interfaz Cassy, 524007.
- «Medir y evaluar»; interfaz Cassy, 524116.
- «BMW»; interfaz Cassy.



Un proyecto editorial al servicio de estudiantes y autores uruguayos.

HISTORIA - MATEMÁTICA
LITERATURA - FILOSOFÍA
CIENCIAS SOCIALES - ECOLOGÍA
ADMINISTRACIÓN - DERECHO
FÍSICA - QUÍMICA

Descuentos especiales para docentes

Mercedes 1786 CP 11200 - Telefax: 408 6985 - Montevideo, Uruguay
edideas@adinet.com.uy / www.editorialideas.com.uy



FÍSICA DEL HUMOR

Estaban los científicos jugando a las escondidas.

Al realizar el sorteo le correspondió contar a Mendel, lo cual empezó a hacer de inmediato:

– Mendel: 100, 99, 98, 97 ...

Todos los científicos corrieron a esconderse, excepto Newton; éste dibujó un cuadrado, cuyos lados medían 1 metro y se colocó en medio.

Cuando Mendel terminó de contar se volvió y vio a Newton inmediatamente gritó: Newton no se escondió.

A lo cual el ilustre descubridor de las leyes del movimiento y la gravitación universal replicó que no era correcto.

Su razonamiento:

1 Newton por metro cuadrado = 1 Pascal, por lo tanto el que no se escondió fue Pascal.

• • •

Una persona tiene un caballo de carreras que nunca gana. Lo lleva a un veterinario, y este no sabe que decirle pues no encuentra falla alguna en el animal y no tiene idea sobre cual puede ser la causa de su fracaso.

Así es que consulta muchísimos especialistas, hasta que, desesperado, consulta a un Físico especialista en Biomecánica. Después de esperar largo rato mientras el Físico deliberaba, este sale de su laboratorio y le dice: «ya encontré el problema que tiene su caballo».

– ¿Cuál es, cuál es?!

– El problema es que su caballo no es esférico.

Piropo («chamuyo») para conquistar chicas/os en el laboratorio de Física:

–¿¿Hacemos un Choque Plástico?!

• • •

Lba un Físico viajando en un taxi cuando, de repente, indignado, le grita al chofer:

–«¡Chofer! Vaya mas lento que me atrasa el reloj»

• • •

Entra un alumno a clase de Física con una vaca, y el «profe» le dice:

–¡Alumno! ¡Alumno! ¿Dónde cree que va?

–Pero profesor, es que esta vaca sabe Física

–Sí, hombre, sí, a ver, que diga una letra griega

– Mu, dice la vaca

El profesor monta en cólera y los echa a ambos con el rostro desencajado.

Al salir, la vaca se vuelve al alumno:

– Me parece que tendría que haber dicho alfa...

• • •

Excusa de alumnos/as cuando se olvidaron de traer/entregar el informe de práctico:

–Lo que pasa es que medimos con tanta precisión su cantidad de movimiento, que no logramos encontrarlo para traerlo.

• • •

Airlines f - Airlines i = Delta Airlines

• • •

Si siente que su vida es sólo una constante sin variables, no la derive, hay otras salidas.

Espacio de A.P.F.U.

Desde nuestra última edición han transcurrido instancias en donde la A.P.F.U. a través de sus socios o de los integrantes de la comisión directiva ha participado activamente.

Ejemplo de ellas son el «XVIII Encuentro Nacional de Profesores de Física» y «IX Encuentro Internacional de Educación en Física», realizado en la ciudad de Paysandú, los días 24 al 27 de setiembre de 2008. En esta ocasión participamos ciento ochenta docentes de Uruguay, Argentina y Chile, la que resultó una instancia de intercambio muy enriquecedora.



Piriápolis, en el mes de setiembre del año 2009, para ello se designó la comisión organizadora local, integrada por los profesores Francisco Figueredo, José Luis Chifflet, Julio Costa y Eduardo Vázquez. Desde ya auguramos el éxito de este encuentro y convocamos a los docentes a la participación en el mismo.

En dicha asamblea se dispuso la integración de la comisión electoral, por los profesores Gustavo Mango, Jean de Felippo y Gabriela Baccino, la misma ofició en las elecciones del día 13 de diciembre de 2008, para determinar la integración de la comisión directiva.

Olimpiada Iberoamericana de Física 2008 (Oaxaca, México)



Nuevamente, como hace ya varios años la A.P.F.U. participa del comité organizador de las pruebas y la preparación de las delegaciones de estudiantes.

Representación de Uruguay en las OlbF 2008 (México): estudiantes: Andrés Varga (medalla de bronce), Emiliano Sequeira (mención especial), Danilo Carro (participante), Lucas Langwagen (participante), La Profesora Cristina Araujo y el Profesor Pablo García, acompañaron a la delegación.

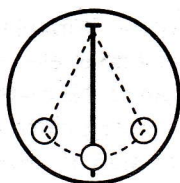
Algunos de los integrantes de la comisión Directiva culminamos un ciclo de mucho trabajo realizado. Nos fue muy grato haber cumplido con esta actividad.

No queríamos terminar el año sin la edición de esta revista, que tan requerida es, por nuestros Asociados y obra como referente en muchos casos, a la hora de preparar clases, innovar o mejorar la realización de actividades experimentales.

Imponderables de último momento hicieron que su impresión quedase para marzo de 2009.

*Comisión Directiva Saliente
Feliz 2009*

Asociación de Profesores de Física



del Uruguay

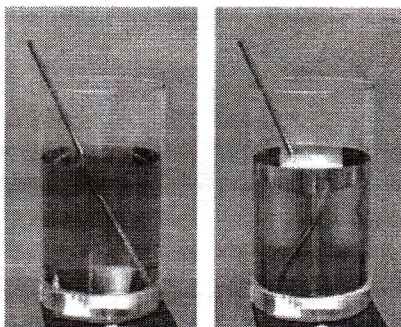
La Asamblea General Anual Ordinaria, resolvió la realización del «XIX Encuentro Nacional de Profesores de Física» en el Balneario de

CURIOSOS CASOS, COSAS CURIOSAS

Los «Zurdos» «¿no se ven?»

En 1967(68) el físico ruso V. G. Veselago especuló sobre el comportamiento de la luz y otras ondas electromagnéticas en un medio hipotético cuyo índice de refracción fuera negativo. Tal material lo denominó zurdo en alusión a la orientación de los campos eléctrico y magnético respecto de la propagación de la onda luminosa. Esta situación no existe en ningún material natural conocido.

Esta idea «durmió» hasta que en 1999 el físico británico J. B. Pendry ideó un metamaterial que se comportaría como zurdo para las microondas. Además, propuso que una lámina de ese material, con índice de refracción inverso al del aire, sería una lente perfecta que enfocaría la luz proveniente de un objeto, formando su imagen al otro lado de la misma con detalle en principio ilimitado, y como si dicho objeto estuviera situado en su interior. Esta precisión, resolución, de un instrumento óptico convencional, está limitada por la longitud de onda de la luz; de ahí que la sugerencia de hacer tales superlentes realidad por medio del mecanismo de refracción negativa, se convirtiera en una idea revolucionaria de gran interés por su potencial impacto en microscopía entre otras. (Prohibido hablar de invisibilidad).



Sin embargo entre 2001 y 2002 se demuestra la enorme absorción y dispersión de las microondas en esos metamateriales concebidos hasta entonces, lo que los dejaría sin esa utilidad y se establece entonces que las propuestas superlentes o bien violan el principio de conservación de la energía o su efecto es fácilmente destruido por la absorción.

En 2003, un equipo de Boeing Corporation, e independientemente, físicos de la Universidad de Harvard y del Instituto Tecnológico de Massachussets han realizado nuevos experimentos, confirmando para convencimiento de muchos, aunque no de todos, el efecto de refracción negativa, a pesar de la absorción.

¿Cómo sigue?

Algunos científicos los han fabricado y algunos creen haber demostrado que, además de existir refracción negativa, al menos en el rango de las microondas, también pueden ser lentes perfectas. A su vez, varios físicos han puesto en duda las sorprendentes propiedades ópticas de los materiales llamados zurdos, según artículos publicados por ejemplo en la revista *Physical Review Letters* y otros físicos agregan, por su parte, que la refracción negativa en estos materiales significaría sobrepasar el límite fundamental de la velocidad de la luz.

En 2008 'Science' y 'Nature' en algunos artículos afirman que investigadores de la Universidad de Berkeley, en California, y del Lawrence Berkeley Laboratory dirigidos por Xiang Zhang y apoyados por la Fundación Nacional de la Ciencia y las Fuerzas Armadas de Estados Unidos han logrado 2 nuevos materiales en tal sentido y especulan acerca de sus aplicaciones potenciales. (<http://xlab.me.berkeley.edu/research/Metamaterials.htm>; http://xlab.me.berkeley.edu/publications/pdfs/87.Nature2008_Jason.pdf)

¿Y en Uruguay?

En 2005 en la IX reunión de la Sociedad Uruguaya de Física se trata el tema relacionado directamente: «Propiedades Ópticas de Materiales Nanoestructurados» y actualmente pare-

cen no existir líneas de investigación sobre el tema en Pedeciba y Facultad de Ingeniería (<http://www.fisica.edu.uy/pedeciba/fisica/archivos/grupos.htm>;

Fuentes: Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) Manuel Nieto Vesperinas; Investigaciones realizadas para la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) y la Air Force Office of Scientific Research (AFOSR). (<http://www-physics.ucsd.edu/lhmedia/>); <http://arxiv.org/abs/math.AP/0611185>; <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/1133628>; http://people.ee.duke.edu/~drsmith/neg_ref_home.htm; la imagen es de 2006 Optical Society of America publicada en Optics Express (obviamente simulada; <http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?URI=oe-14-5-1842> con los «pdf»)

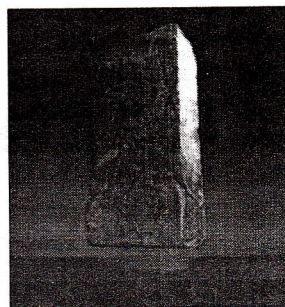
En la línea de los nuevos materiales: AEROGEL



El **aerogel** es una sustancia coloidal similar al gel, en el cual el componente líquido es cambiado por un gas, obteniendo como resultado un sólido de muy baja densidad (3 mg/cm^3 ó 3 kg/m^3) y altamente poroso, con ciertas propiedades muy sorprendentes, como su enorme capacidad de aislante térmico. Creada por Samuel S. Kistler en 1931; está generalmente compuesto por un 90% a un 99,8% de aire, mil veces menos denso que el vidrio y unas tres veces más denso que el aire. Familiarmente se le denomina **humo helado**, **humo sólido**, **humo azul** o **niebla de San Francisco** debido a su naturaleza semi-transparente, sin embargo,

tiene al tacto una consistencia similar a la espuma, o foamy; posee un índice de refracción de 1,0, muy bajo para un sólido y la velocidad del sonido a través de él es muy baja, 100 m/s; amortigua los golpes en un 89% de intensidad entre otras características importantes (de Wikipedia, New World Encyclopedia y <http://stardust.jpl.nasa.gov/photo/aerogel.html>)

En las fotos: la flor no se consume bajo el fuego de la antorcha, un ladrillo de 2,5 Kg soportado por 2 g de aerogel.



Los invitamos a conocer más sobre el tema y en qué se relaciona con nuestra disciplina.

NANOFOAM (Nanoespuma de carbono)



¿Puede un material completamente hecho de átomos de carbono comportarse como un material ferromagnético y además ser semiconductor? Parece que un imán de nanofoam sí.

En 1997 científicos de Australia, Rusia y Grecia produjeron una nueva forma de partículas nanométricas de carbón. Este material es la nanoespuma de carbono (**carbon nanofoam**), compuesta por una red de nanotubos de carbono de forma esponjosa.

La nanoespuma de carbono está considerada como una nueva forma alotrópica del carbono. A escala atómica cada unidad posee unos 6 nm de anchura y presenta aproximadamente unos 4.000 átomos de carbono que se combinan en hexágonos y heptágonos dando lugar, al contrario de los fullerenos, a una curvatura inversa; densidad de aproximadamente 2 mg/cm^3 ; semiconductor, por lo que puede tener aplicaciones en el cam-

po de la electrónica, su propiedad más destacable, y que hace de este material único entre los materiales de carbón, es que posee propiedades magnéticas, actuando como un imán aunque pierde dicha propiedad después de unas horas a temperatura ambiente. (<http://www.mkt-intl.com/aerogels/carbon.html>)

Estudiado en Uruguay por el Pedeciba (PEDECIBA Química - URUGUAY - Proyecto CvLac)

Para los amantes del tenis, revisar *Raqueta de tenis Wilson n5 Force 110* (las «Wilson» son utilizadas entre otros, por Roger Federer, Feliciano López, Gastón Gaudio, Justin Henin, Novak Djokovic, Gastao Elías, Serena Williams y Venus Williams).

Nota Final: la presente exposición solo tiene fines de «disparador» de interés hacia estos temas y las líneas de investigación actuales en Física. «A veces uno no sabe qué buscar al curiosear».

MISCELÁNEA I

La Física, Princeton y el 22 de diciembre

«El Proyecto Conciencia Global o GCP (siglas en inglés de Global Consciousness Project) es un proyecto llevado a cabo desde 1998 por la Universidad de Princeton, en Estados Unidos, a lo largo de todo el mundo. Se pretende detectar mediante una red mundial informática la relación que pueda haber entre la consciencia colectiva (o inconsciente colectivo) y la realidad física. Fue concebido en 1979 por el decano de la Escuela de Ingeniería y Ciencia Aplicada de la Universidad de Princeton, Robert G. Jahn, con la finalidad de estudiar científicamente la interacción entre la consciencia humana y los instrumentos mecánicos y físicos. Es un proyecto que ha recibido diversas críticas, pero en el que colaboran muchas universidades de países de todos los continentes». De Wikipedia.

El proyecto, las investigaciones registradas y en proceso, los resultados y los análisis de eventos en <http://noosphere.princeton.edu/>

Tal vez una de las líneas más «interesantes» de la investigación se encuentre en <http://www.globalorgasm.org/> y sus referentes donde se incluyen 12 «razones» Químicas y 12 Físicas (de nuestra disciplina) que se afirma avalan, con el respaldo de la Universidad de Princeton, la propuesta para los días 22 de diciembre de cada año. Falta saber si esto tiene relación con la finalización de los 3 calendarios Mayas y la profecía correspondiente para el 22 de diciembre de 2012.

La resonante caída del Tacoma Narrows Bridge

Álvaro Suárez - Marcelo Vachetta - Gabriel Glisenti

Introducción

Habitualmente, cuando pensamos en el fenómeno de la resonancia, aparecen en nuestras mentes imágenes de la famosa catástrofe del puente de Tacoma. Dichas imágenes nos recuerdan la capacidad destructora de dicho fenómeno cuando ocurre en estructuras civiles flexibles, como un puente colgante de acero.

El Tacoma Narrows abierto al público el 1º de Julio de 1940, fue diseñado para el cruce de 60.000 autos por día, tenía unos 2,5km de longitud aproximadamente y era el tercer puente más largo del mundo en el momento de la construcción. Rápidamente fue bautizado «Gertrudis galopante» debido a su temprana tendencia a oscilar, oscilación que apareció durante su construcción. *«El día de su caída sufrió oscilaciones verticales de flexión de amplitud entre 0.5 y 1.0 metros, repitiéndose alrededor de 12 veces cada minuto, seguidas de movimientos de torsión cuya amplitud fue aumentando hasta alcanzar 8.5 metros, lo que suponía que el tablero se situaba con una inclinación de 45º respecto de su posición horizontal. Esta oscilación de repitió aproximadamente 14 veces por minuto hasta que finalmente se produjo el colapso.»* (Hernández; Fernández y Irigoyen, Marzo 2005).

La explicación de la caída del Tacoma la podemos encontrar en muchos textos de Física, por ejemplo el Resnick – Halliday (tercera edición, 1977):

«El primero de Julio de 1940 se terminó el Tacoma Narrows Bridge en Puget Sound, Washington, y se abrió al tráfico. Tan solo cuatro meses después, un ventarrón moderado puso al puente en oscilación, hasta romper al tramo principal que se desprendió de los cables y cayó al agua. El viento

produjo una fuerza resultante cuyas fluctuaciones entraron en resonancia con la frecuencia natural de la estructura. Esto provocó un aumento continuo en la amplitud hasta destruir el puente.» (Resnick – Halliday, 1977).

Curiosamente, los mismos autores en la siguiente edición de su libro plantean una explicación diferente:

«Otro ejemplo de resonancia ocurrió en el puente sobre el estrecho de Tacoma en el estado de Washington en 1940. El viento que soplaba en el estrecho de Tacoma se dividió en torbellinos, suministrando así golpes de viento que sacudieron al puente con una frecuencia que igualó a una de sus frecuencias de vibración naturales. El resultado fue un suave movimiento de balanceo vertical, parecido a una montaña rusa, que le valió al puente el sobrenombre de «Galloping Gertie». Unos cinco meses después de haberse inaugurado el puente, el suave balanceo oscilatorio se convirtió en violentas oscilaciones torsionantes, que no tardaron en provocar el colapso del puente. Estas oscilaciones no fueron consecuencia de la resonancia sino de los efectos no lineales de ráfagas de viento particularmente fuertes.» (Resnick-Halliday, 1996).

¿Qué inconvenientes presentaba la explicación original de éste fenómeno?

Esta pregunta es la que nos guiará a través del presente ensayo.

Algunas consideraciones sobre la resonancia

Si se aplica una fuerza impulsora armónica sobre un bloque vinculado a un resorte, la ecuación de movimiento está dada por:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = -b \cdot \frac{dx}{dt} - K \cdot x + F_0 \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

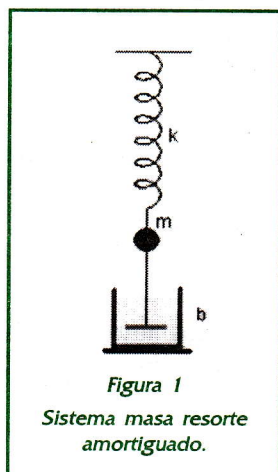


Figura 1

Sistema masa resorte amortiguado.

Donde b es el amortiguamiento mecánico, y ω la frecuencia angular de la fuerza externa.

La solución estacionaria es de la forma:

$$x(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$$

Donde la amplitud del movimiento esta dada por:

$$A = \frac{F_0 / m}{((\omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\omega^2 \gamma)^{1/2}} \quad \gamma = b / m$$

Como puede observarse en el gráfico de la figura 2, la amplitud del movimiento será mucho mayor para cierto valor de ω .

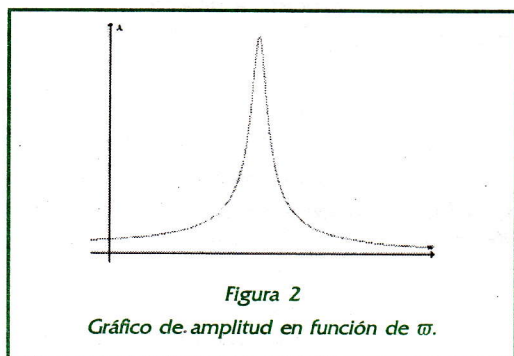


Figura 2

Gráfico de amplitud en función de ω .

En busca de la fuerza periódica

En primera instancia uno podría suponer que actuó un viento arrachado con cierta frecuencia asociada sobre el puente, frecuencia que coincidiría con una de las frecuencias naturales de oscilación del puente; pero realmente es poco probable que un viento pudiera tener una frecuencia constante durante un tiempo lo suficientemente largo como para generar las oscilaciones tan violentas del puente.

Un viento constante, ¿puede producir una fuerza periódica sobre el puente?

Supongamos que incide un flujo de aire sobre un cilindro; para determinados valores del número de Reynolds¹, el flujo de aire detrás de un cilindro situado perpendicularmente a una corriente se caracteriza por el desprendimiento alternado periódico de remolinos. Esta circunstancia genera sobre el cilindro fuerzas laterales periódicas que son la causa de las vibraciones en un plano perpendicular al flujo de aire incidente.

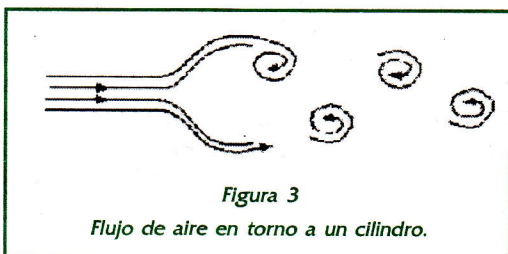


Figura 3

Flujo de aire en torno a un cilindro.

Este modelo se puede generalizar a otros tipos de estructuras no cilíndricas, como el puente de Tacoma, por lo que podríamos hablar de la existencia de una acción periódica sobre el puente.

«Esta frecuencia de desprendimiento de remolinos se obtendría por medio de la siguiente expresión (Strouhal, 1878):

$$f = \frac{S \cdot v_m}{D}$$

siendo v_m la velocidad media de incidencia del viento, D la altura del canto del puente, en este caso 2,5 metros, y S una constante adimensional dependiente de la forma de la estructura, denominada «número de Strouhal», que toma el valor de 0,14 en este caso. Cuando se produjo el colapso, la velocidad del viento era del orden de 65km/h,

¹ En el caso descrito (conocidas y fijas las dimensiones del objeto y la viscosidad del viento) el «número de Reynolds» depende sólo de la velocidad del viento.

con lo que la frecuencia de desprendimiento de remolinos sería aproximadamente 1.0Hz». (Hernández; Fernández y Irigoyen, Marzo 2005).

Si antes de desplomarse el Tacoma hubiera estado oscilando con una frecuencia de 1.0Hz, tendríamos una prueba contundente de cómo afectó el viento al Tacoma, el problema es que el puente antes del colapso estaba vibrando a una frecuencia de 0.2Hz, por lo tanto, al no coincidir ambas frecuencias, el desprendimiento de vórtices no explica satisfactoriamente la caída del puente.

Ensayos en túneles de viento

A partir de la caída del Tacoma se realizaron varios modelos a escala del puente, tratando de reproducir la catástrofe. En los mismos se identificaron muchos modos para los cuales las amplitudes estaban autolimitadas, *excepto para un modo de torsión en particular cuya frecuencia era de 0.2Hz*, precisamente la frecuencia de oscilación del puente en el momento del colapso. En los ensayos en túneles de viento se comprobó que la frecuencia de oscilación del puente era independiente de la velocidad del viento (fuente de la fuerza excitadora). Además, a partir de cierta velocidad del viento crítica, el flujo de aire comienza a entregarle energía al puente en forma creciente.

Todas estas características definitivamente no concuerdan con el modelo clásico de resonancia.

La acción del viento sobre el puente no tiene asociada una fuerza excitadora de determinada frecuencia. Además si el puente hubiera entrado en resonancia a cierta velocidad del viento, en los ensayos se tendría que haber observado una disminución de la amplitud de oscilación del puente a medida que aumentaba la velocidad del viento, ya que una de las características de la resonancia es la presencia de un pico en la amplitud de la oscilación.

Modelos alternativos a la resonancia clásica:

1. «Negative damping»

En 1941 los ingenieros Ammann, Von Karman y Woodruff elaboraron un informe denominado «The failure of the Tacoma Narrows bridge» en el cual adjudicaron la caída del Tacoma a un fenómeno llamado «negative damping».

El amortiguamiento de una estructura que oscila inmersa en una corriente de aire es de dos tipos:

- Mecánico
- Aerodinámico

Mientras que el amortiguamiento mecánico es siempre positivo (tiende a reducir las oscilaciones), el aerodinámico puede ser positivo o negativo (negative damping). O sea podríamos tener un aumento de la amplitud debido al amortiguamiento.

El «negative damping» o amortiguamiento negativo está relacionado con un fenómeno denominado «flameo», el mismo ocurre cuando el viento incide sobre una estructura que ya oscilaba previamente. *«Puede definirse el flameo, como la inestabilidad aerodinámica que se desarrolla a partir de la mutua interacción entre las fuerzas elásticas, inerciales, amortiguadoras y aerodinámicas, de manera que, para una velocidad de viento crítica (velocidad de flameo) la estructura oscila divergentemente. Esta inestabilidad tiene lugar cuando las fuerzas aerodinámicas, en vez de disipar la energía del movimiento, la aumentan. Estas fuerzas se deben al viento y a la oscilación de la propia estructura, de ahí que se denominen fuerzas autoexcitadas».* (González Forastero, 2003).

Treinta años después de la caída del Tacoma, Scanlan y Tomko volvieron a realizar modelos a escala del puente demostrando en forma «concluyente» que la caída se debió a un tipo de flameo en especial, denominado «flameo torsional con un grado de libertad».

El flameo torsional y el Tacoma Narrows

El modelo del flameo torsional aplicado al Tacoma supone previamente que las oscilaciones por flexión son despreciables. Las oscilaciones por torsión comenzaron cuando se rompió un cable de suspensión el cual generó la asimetría necesaria para excitar las mismas. Las oscilaciones por torsión de una sección transversal del puente son descritas por: (expresión general de un movimiento oscilatorio forzado por un torque excitador)

$$I \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} = -b \cdot \frac{d\theta}{dt} - (\omega_0^2 \cdot I) \cdot \theta + \tau \left(\frac{d\theta}{dt}, \theta \right)$$

Donde b es el amortiguamiento mecánico, I el momento de inercia, ω_0 la frecuencia natural de oscilación del puente y $\tau(d\theta/dt, \theta)$ una función que describe el torque excitador.

Se postula que el torque excitador es de la forma:

$$\tau \left(\frac{d\theta}{dt}, \theta \right) = \rho \cdot D^4 \cdot \omega \left(A_1 \cdot \frac{d\theta}{dt} + \omega \cdot A_2 \cdot \theta \right)$$

Donde ρ es la densidad del aire, ω la frecuencia angular de oscilación y D el ancho del puente. A_1 y A_2 son los coeficientes de

flameo, los cuales dependen fuertemente de la velocidad del viento. El torque excitador depende tanto del movimiento del puente como de la velocidad del viento, por eso el movimiento es llamado habitualmente autoexcitación aerodinámica. Los coeficientes de flameo (A_1 y A_2) son determinados en forma experimental.

Sustituyendo la expresión del torque excitador en la ecuación del movimiento de una sección transversal del puente obtenemos:

$$I \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \cdot \frac{d\theta}{dt} + (\omega_0^2 \cdot I) \cdot \theta = \rho \cdot D^4 \cdot \omega \left(A_1 \cdot \frac{d\theta}{dt} + \omega \cdot A_2 \cdot \theta \right)$$

Si igualamos a cero:

$$I \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + (b - \rho \cdot D^4 \cdot \omega \cdot A_1) \frac{d\theta}{dt} + (\omega_0^2 \cdot I - \rho \cdot D^4 \cdot \omega^2 \cdot A_2) \cdot \theta = 0$$

Donde $b - \rho \cdot D^4 \cdot \omega \cdot A_1$ es el coeficiente de amortiguamiento total del sistema (mecánico y aerodinámico).

La ecuación del movimiento es una ecuación diferencial de segundo orden, la solución de la misma depende de los valores de los coeficientes, por lo tanto el movimiento del puente lo podemos describir en función del signo del coeficiente de amortiguamiento total.

Si $b - \rho \cdot D^4 \cdot \omega \cdot A_1 > 0$ las oscilaciones son amortiguadas.

Si $b - \rho \cdot D^4 \cdot \omega \cdot A_1 = 0$ la amplitud de las oscilaciones es constante, la energía entregada por el viento se iguala a la perdida por el amortiguamiento mecánico, el flujo de aire se mueve a la velocidad crítica de flameo.

Si $b - \rho \cdot D^4 \cdot \omega \cdot A_1 < 0$ el viento imparte al sistema características de «negative damping» (amortiguamiento negativo), la

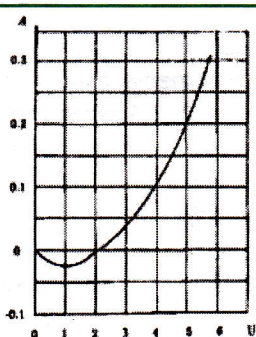


Figura 4

Gráfica de A_1 en función de un número adimensional proporcional a la velocidad del viento para el modelo a escala realizado por Scanlan y Tomko. A partir de cierta velocidad crítica el coeficiente experimenta un cambio de signo. Tomado de Ref. 2.

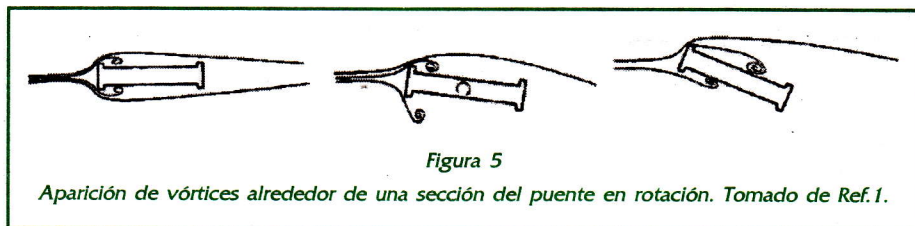
energía entregada por el viento es mayor a la disipada y la estructura oscila divergentemente.

La gran carencia del modelo descrito es la incapacidad de explicar «físicamente» cómo la interacción del viento con el puente aumentó su energía. Billah y Scanlan en el artículo «Resonance, Tacoma Narrows bridge failure, and undergraduate physics textbooks» simplemente *sugieren* que el movimiento del puente en conjunto con su forma de H provocaron la aparición de vórtices en el puente que amplificaron el movimiento hasta producir el desplome del mismo.

El efecto de los vórtices sobre el puente lo analiza en función del tiempo que tardan en recorrer la mitad del ancho del puente, hecho que depende de la velocidad del viento ($V_{\text{vórtices}} = V_{\text{viento}}/4$).

1. Si el tiempo que demoran los vórtices en recorrer la mitad del ancho del puente es *mayor* que medio período el trabajo neto realizado por los vórtices es negativo (le disipan energía al puente).
2. Si el tiempo que tardan los vórtices en recorrer la mitad del ancho del puente es *igual* a medio período, el trabajo neto realizado por los vórtices es nulo, lo cual

se puede inferir de los diagramas de los vórtices adjuntos.



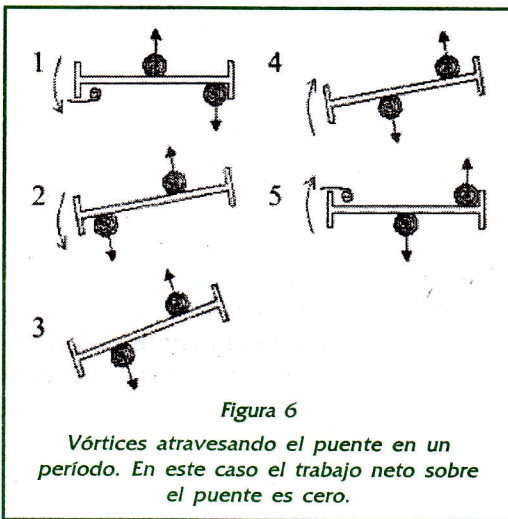
Una base «física» para el «negative damping» - Modelo de Larsen

En el año 2000 Larsen elabora el primer modelo físico que describe la interacción entre los vórtices y el puente para explicar el colapso del mismo.

Larsen asume como hipótesis que el puente se encuentra oscilando en un modo normal de torsión.

Sobre la base de lo anterior postula:

- a) Se generan vórtices en el extremo del puente cada vez que el mismo queda en posición horizontal.
- b) Los vórtices se desprenden y recorren el ancho del puente con velocidad constante, siendo esta $\frac{1}{4}$ de la velocidad del viento.
- c) Los vórtices son modelados como un punto de baja presión.
- d) Los vórtices ejercen una fuerza sobre el puente debido a la diferencia de presiones entre los lados del mismo. Esta fuerza es independiente del tiempo.



3. Si el tiempo que tardan los vórtices en recorrer la mitad del ancho del puente es *menor* a medio período, el trabajo neto realizado por los vórtices es positivo (le entregan energía al puente). Para aclarar un poco más este último caso realizamos dos diagramas para visualizar la interacción entre los vórtices y el puente, uno en el que los vórtices recorren $\frac{3}{4}$

del ancho del puente en medio período (a) y otro en el que recorren el ancho del puente en medio período (b).

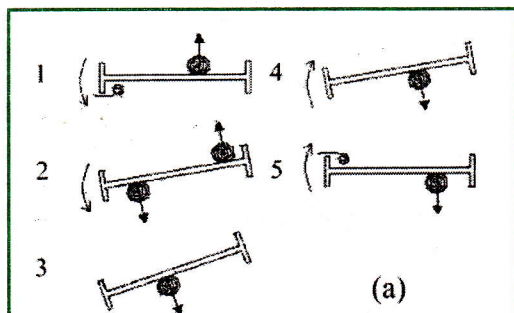


Fig. 7 (a) Los vórtices recorren $\frac{1}{4}$ del ancho del puente en medio período.

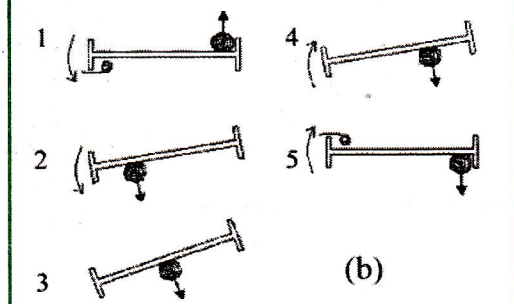


Figura 7(b)

Los vórtices recorren el ancho del puente en medio período.

Tanto en (a) como en (b) los vórtices realizan trabajo positivo durante *toda* su recorrido, por lo tanto todas las secuencias analizadas estarían acordes con el comportamiento del puente en los ensayos con túneles de viento, ya que a medida que aumenta la velocidad del viento, el coeficiente de amortiguamiento debido a la interacción entre los vórtices y el puente cambia de signo. Pero si comparamos los diagramas (a) y (b) veremos que dada la rapidez de los vórtices, en (b), cuando se genera un vórtice, el anterior se está escapando del puente, mientras que en (a) el anterior sigue realizando trabajo positivo sobre el puente, lo que implicaría que el trabajo neto en (a) es mayor que en (b). Si siguiera aumentando la velocidad del

viento, el trabajo seguiría siendo positivo, pero menor incluso que en (b), lo que es una de las fallas de este modelo.

En el modelo de Larsen, el trabajo realizado por los vórtices tiene un máximo para cierta velocidad del viento, lo que está más acorde a un modelo de resonancia, cosa que sabemos que es incorrecta porque en los ensayos con túneles de viento, a partir de cierta velocidad crítica el viento entregaba energía en forma creciente al puente, tal como muestra la figura 8.

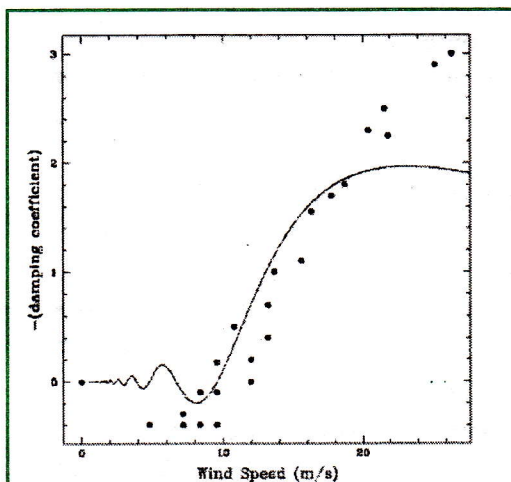


Figura 8

Gráfico de negative damping en función de la velocidad del viento, los puntos corresponden a valores obtenidos en los túneles de viento y la línea continua al modelo de Larsen. El modelo de Larsen se ajusta bastante bien a bajas velocidades del viento, pero falla a velocidades altas. Tomado de Ref.5.

El modelo de Larsen deja varias preguntas sin contestar:

- ¿Cómo se forman los vórtices?
- ¿Por qué se desprenden?
- ¿Por qué se mueven a $\frac{1}{4}$ de la velocidad del viento?
- ¿Ejercen una fuerza constante?

Modelo de Green-Unruh

En agosto de 2006 se publica un nuevo artículo sobre la caída del Tacoma que profundiza el modelo de Larsen. Este modelo ahonda en los siguientes aspectos:

- Realiza un análisis de cómo se forman los vórtices.
- Considera que el movimiento del vórtice no es uniforme (depende del movimiento del puente).
- Considera variable el tamaño del vórtice y la fuerza que ejerce sobre el puente. Este modelo se ajusta mejor a los datos experimentales incluso para altas velocidades.
- Oscilaciones verticales por flexión que duraron varios meses debidas a la coincidencia de la frecuencia de desprendimiento de vórtices con una de las frecuencias naturales del puente.
- Oscilaciones torsionales debidas a la compleja interacción del viento con el puente oscilando, siendo estas últimas la causa de la caída del puente.

Intentar explicar la caída del Tacoma exclusivamente como un problema de resonancia lineal, es a nuestro juicio, una sobre simplificación exagerada.

2. El oscilador no-lineal, Modelo de McKenna

En 1999 McKenna propone un modelo de un oscilador no-lineal para describir la catástrofe. Considera que el modelo del flameo torsional aplicado al puente es incompleto, ya que no se deben despreciar las oscilaciones por flexión del puente, ni aproximar las fuerzas a modelos lineales.

Las teorías de oscilaciones pequeñas son generalmente acertadas en el sentido práctico debido a que los puentes se construyen de manera que cualquier tipo de oscilación que sufran sea pequeña, pero las mismas eliminan un conjunto de soluciones que pueden aparecer de no ocurrir lo anterior, tal como pasó en el Tacoma según McKenna.

En su modelo asume que existe una fuerza externa sinusoidal de frecuencia y amplitud constante sobre el puente. Al describir el movimiento del puente por ecuaciones diferenciales no lineales, podría explicar el cambio abrupto de la amplitud de las oscilaciones torsionales, debido a la inestabilidad de las soluciones, las cuales dependen fuertemente de las condiciones iniciales, pero no coincide con los datos experimentales obtenidos en túneles de viento y **no explica cómo se generaba una fuerza externa sinusoidal de frecuencia y amplitud constantes sobre el puente.**

¿Qué se podría comentar del Tacoma en cursos de educación media?

Existieron dos fenómenos físicos relacionados con la caída del Tacoma:

Habiendo discutido el modelo de Larsen y descrito el de McKenna queda claro que la caída del Tacoma Narrows Bridge en 1940 sigue siendo al día de hoy un tema de debate y controversia entre quienes defienden un modelo de resonancia no lineal (sin haber encontrado aún la causa de la fuerza periódica) y quienes defienden un modelo de flameo torsional.

Bibliografía consultada

1. Billah, K. y Scanlan, R. (1991) «Resonance, Tacoma Narrows bridge failure and undergraduate physics textbooks», American Journal of Physics. Vol. 59, N° 8, 118-124.
2. Feldman, B. (2003) «What to say about the Tacoma Narrows Bridge to your introductory physics class», The Physics Teacher, Vol. 41, 92-96.
3. Forastero, A. (Octubre 2003) «Análisis de la inestabilidad aeroelástica de puentes de grandes luces».
4. Hernández, J. ; Fernández, M. y Irigoyen, J. (Marzo 2005) «Estructuras y efectos dinámicos del viento», DYNA, 9-12.
5. Green, D y Unruh, W. (2006) «The failure of the Tacoma Bridge: A physical model», American Journal of Physics. Vol. 74, No. 8, 706-716.
6. Resnick, R y Halliday, (1996), Física. Vol. 1. Editorial CECSA, México, 4a edición.
7. Resnick, R y Halliday, (1977), Física. Vol. 1. Editorial CECSA, México, 3ra edición.

MISCELÁNEA II

Desde Münchausen, por Asimov y hasta el «Trekker» Hawking

La Física de la Ciencia Ficción viene «derramando» tinta desde hace un buen tiempo así como la Física del Superhéroe. Desde un lejano 1818 (¿año de la primera obra de ciencia ficción? – El moderno Prometeo de Mary Shelley) que la «violación» o no de los caros principios de nuestra ciencia viene siendo tema de controversias.



«Carl Sagan e Isaac Asimov coinciden en que Somnium, de Johannes Kepler es el primer relato de ciencia ficción. Somnium describe a un aventurero que viaja a la Luna y muestra la preocupación de Kepler por el tema de cómo se verían los movimientos de la Tierra desde la Luna».¹

Estemos de acuerdo o no, se mencionan en las noticias de ciencia de prestigiosas publicaciones, referentes en la comunidad científica global, los notables avances logrados por científicos que manifiestan en muchos casos verse motivados en sus trabajos por cosas que han visto en sus obras de sci-fi predilectas. Para «mostrar» una anécdota: *«Stephen Hawking, físico teórico (reconocido Trekker). Hizo un cameo interpretándose a sí mismo en el episodio 6x26 Descenso (I). Una vez, paseando por los decorados de Star Trek, señaló al motor de curvatura y dijo: «Estoy trabajando en eso».*



¿Para que nos serviría el saber estas cosas? Pues cada cual decide, pero opinamos que puede ser introducido, con los debidos recaudos, en nuestras clases como elemento disparador para introducir, desarrollar o cerrar un tema. (Recomendación: «<http://fisicacf.blogspot.com/>)

Stephen Hawking dice en el prefacio del libro «La física de Star Trek (The Physics of Star Trek del Prof. Lawrence M. Krauss): *«La ciencia ficción como Star Trek no es sólo una buena diversión, sino que también sirve para un propósito serio, el de expandir la imaginación humana».*

Y ¿qué mejor agregado que los famosos **«super héroes»**?

«Imagine que Superman y Hulk están sujetando el uno contra el otro unas básculas de baño (que son simplemente aparatos para medir una fuerza, es decir su peso debido a la gravedad). Cuando empujan contra la báscula del otro,

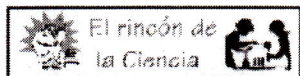


...continúa en página 32

¹ «Somnium (El Sueño) es una novela de ficción escrita por Johannes Kepler en 1623, pero publicada póstumamente en 1634. Es considerada para muchos la primera obra de ciencia-ficción de la historia. En la novela se narra la historia de Duracotus, un joven islandés. Gracias a su madre, Fiolxhilda, y mediante un conjuro mágico, ambos irán en un viaje onírico a la Luna, durante un eclipse solar. Pocos años más tarde, dado que el personaje de Duracotus tiene ciertos tintes autobiográficos, el argumento de la novela fue usado para acusar a la madre de Kepler de brujería. <http://es.wikipedia.org/wiki/Somnium>

WEB

<http://centros5.pntic.mec.es/les.victoria.kent/Rincon-C/Practica/practica.html>
(<http://centros5.pntic.mec.es/les.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid2/rc-100/rc-100j.htm>)



El rincón de los Experimentos

«En esta página queremos recoger actividades prácticas y experimentos que puedan realizarse con pocos medios, sin necesidad de recurrir a un equipamiento de laboratorio.

La mayoría de los experimentos pueden realizarse en casa con utensilios caseros».

Webquest

«Un Webquest es una actividad de búsqueda informativa guiada en la cual la información usada por los alumnos es obtenida de Internet, es decir, usamos Internet como recurso educativo. Los WebQuest se diseñan para rentabilizar el tiempo del alumno, centrandolo en el uso de la información, más que en su búsqueda, y para apoyar la reflexión del alumno en los niveles de análisis, síntesis y evaluación. Se construye alrededor de una tarea atractiva y realizable que involucra desde la adquisición y organización del conocimiento, hasta la extensión y procesamiento del mismo.

La idea de WebQuest fue desarrollada en 1995, en la Universidad Estatal de San Diego por Bernie Dodge junto con Tom March y la describió en «Some Thoughts About WebQuests» (<http://club.telepolis.com/anaclavero/Paginas/Webquest.htm>).

<http://club.telepolis.com/anaclavero/> Unidades didácticas; actividades TIC; webquest; applets; simulaciones; mapas conceptuales; etc. Es lo ofrecido por esta «web» dirigida por Ana Clavero.



Recursos Física y Química

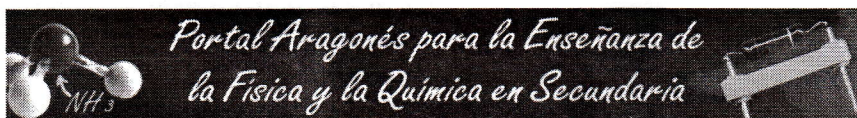
Es lo ofrecido por esta «web» dirigida por Ana Clavero.

<http://www.cienciaenaccion.org/indice.html>



Dirigida por la Doctora María Rosa Ferré donde participan: el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC); la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT); la Real Sociedad Española de Física (RSEF); la Real Sociedad Matemática Española (RSME), y la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED); es un lugar imposible de no visitar y tal vez... participar.

http://www.catedu.es/cienciaragon/index.php?option=com_content&task=view&id=48&Itemid=136



«Somos un grupo de profesores de Física y Química que trabajamos en diferentes centros de Huesca, Teruel y Zaragoza...»

«...Nuestro objetivo es crear un portal con recursos para el profesorado. Recursos de todo tipo para el aula, para preparar las clases, para incluir informaciones recientes, para tratar

temas de actualidad, vídeos... Pero crear un portal no sólo con nuestros contenidos sino con los que aporte los visitantes».

Otras Recomendaciones

www.fisica-basica.net
Fisica-Basica©

Portal E/A Física!

www.meet-physics.net
MEET-Physics©

<http://www.meet-physics.net/>

<http://www.fisica-basica.net/>

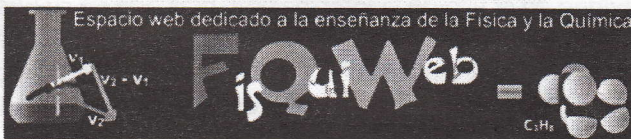
<http://www.meet-physics.net/David-Harrison/index.html>



FisLab.net

Laboratorio Virtual de Física

Espacio web dedicado a la enseñanza de la Física y la Química



http://www.udistrital.edu.co/comunidad/profesores/portal_fisica/portal_ingind/portal_fisica/txtpp_pf.htm

<http://www.fislab.net/>

<http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/index.htm>



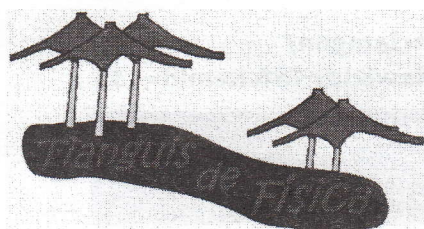
Grupo de Acústica

Curso de Acústica en Bachillerato

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



<http://www.tianguisdefisica.com/index.htm>



«Tianguis de la Física: un ambiente en el que se puede deambular observando muchas cosas diferentes, y es movable; hoy está aquí y otro día allá. Al igual que en el **tianguiztli**, en este hay trueque, los asistentes se llevan preguntas no respondidas pero también una curiosidad acrecentada que los empujará a la búsqueda y los presentadores se quedan con nuevas ideas que han surgido de su encuentro con los visitantes. A su vez: El Tianguis de Física contiene una colección de experimentos de diversos temas de física de interés para niños y jóvenes de nivel escolar medio. Hay instrucciones para su realización por estudiantes y maestros».



Termodinámica:

Determinación del coeficiente γ (gamma) del aire por el método de Rüchhardt¹

Guzmán Trinidad²

Fundamento teórico

Dada una muestra de n cantidad de moles cualquier gas en estado de equilibrio térmico, podemos medir su presión p , su temperatura absoluta T y su volumen V . Cuando su densidad es lo bastante pequeña los experimentos demuestran que:

1. a temperatura constante, su presión es inversamente proporcional a su volumen (ley de Boyle), y
2. a presión constante, su volumen es directamente proporcional a su temperatura (ley de Charles y Gay-Lussac).

Definimos entonces como **gas ideal**, aquel que cumpla en todas las circunstancias la relación:

$$pV = nRT \dots\dots\dots (ec.1)$$

Llamada **ecuación de estado del gas ideal**. La constante R se conoce como *constante universal de los gases*³.

Si bien el gas ideal no existe, resulta una abstracción útil ya que a densidades bajas todos los gases tienen un comportamiento similar al de este modelo.

Los calores específicos de un gas ideal

El calor específico de una sustancia es el calor que la unidad de masa requiere para

sufrir un cambio de su temperatura en una unidad. Si se utiliza como cantidad de sustancia el mol, el calor específico correspondiente recibe el nombre de Capacidad calorífica molar y se escribe C . En los gases se distinguen dos tipos:

- a. la Capacidad calorífica molar a presión constante C_p y
- b. la Capacidad calorífica molar a volumen constante C_v

El valor de C_p es siempre mayor que el de

C_v , y se define el coeficiente $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$.

Exclusivamente para los **gases ideales**, se demuestra que:

$C_p - C_v = R$, y que $C_v = \frac{3}{2}R$ y el coeficien-

$$te \gamma = \frac{5}{3} \cong 1.67$$

¹ Puede encontrarse también como Rüchhardt, Rüchardt, Rüchhard, Ruchardt, o Ruchard.

² Profesor de Física y Ayudante Preparador de Física egresado del IPA. Liceo Solymar 1, Enseñanza Secundaria.

³ Los experimentos demuestran que, cuando la densidad es lo bastante pequeña, R tiene el mismo valor para todos los gases, $R = 8.314 \text{ J/mol.K}$.

Si bien este resultado es muy aproximado para gases monoatómicos, está en serio desacuerdo para gases diatómicos y poliatómicos; esto sugiere que deba revisarse el modelo si queremos que la teoría cinética sobreviva como aproximación útil al comportamiento de los gases reales.

La equipartición de la energía

En 1857 Clausius sugirió por primera vez una modificación a la teoría cinética para explicar los calores específicos de los gases. El modelo de gas ideal suponía una molécula como una esfera elástica dura donde su energía era puramente traslacional. Nos tenemos que preguntar si la molécula, ya no imaginada como una esfera sino como un cuerpo extenso, podría almacenar energía en otras formas que no sea puramente la traslacional; por ejemplo, que pudiese rotar y/o vibrar. En las colisiones podrían excitarse estos nuevos modos, lo cual contribuiría a aumentar la energía interna del gas.

Ahora determinaremos la energía que almacena una molécula que se traslade, vibre y rote. La energía constará de tres com-

ponentes del tipo $\frac{1}{2} m \cdot v_x^2$ (cinética de tras-

lación), tres del tipo $\frac{1}{2} I \cdot \omega_x^2$ (cinética de rotación) y de componentes asociadas a la energía potenciales de la molécula.

Mediante la mecánica estadística se demuestra que **cuando el número de partículas es grande y puede aplicarse la mecánica Newtoniana, todos estos términos tienen el mismo valor promedio y este valor solo depende de la temperatura**. Este teorema se conoce como de equipartición de la energía y fue enunciado por James Clerk Maxwell. Cada modo independiente de absorción de energía se conoce como **grado de libertad** (ν).

El coeficiente $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$, que vincula los

valores de capacidades caloríficas, depende del gas de la siguiente forma:

$$\gamma = 1 + \frac{2}{\nu} \text{ (ec.2)}$$
 siendo ν el número de grados de libertad de la molécula.

Gases monoatómicos: en este caso la molécula puede considerarse una esfera por lo cual solo tiene tres grados de libertad (sus componentes traslacionales), por lo

$$\text{cual } \gamma = 1 + \frac{2}{3} = \frac{5}{3} \cong 1.67.$$

Gases diatómicos: la molécula puede considerarse como formada por dos esferas unidas por una varilla rígida (que no es capaz de vibrar), por lo cual puede trasladarse y rotar en torno a los tres ejes posibles. Sin embargo, el modo de rotación en torno a un eje que coincide con la varilla no aporta energía, teniendo que considerarse, entonces **cinco** grados de libertad para esta molécula. De lo anterior, $\gamma = 1 + 2/5 = 1.40$.

El aire, una mezcla de gases, está compuesto fundamentalmente de Nitrógeno un gas diatómico, por lo cual se espera obtener un valor de gamma como este⁴.

Métodos experimentales de determinación del coeficiente γ

El método más primitivo y sencillo que cita la bibliografía consultada⁵ es el método de **Clément y Desormes** (1819)⁶. En el mismo, una masa pequeña de gas a temperatura ambiente y sometida a una pequeña sobre presión con respecto a la ambiente se expande en forma adiabática para luego suministrarle calor a volumen constante hasta que alcance la temperatura ambiente

⁴ Extraído de: R. Resnick, D. Halliday, «Física» Parte 1, Ed. CECSA, México, 1980 y de F. Blatt, «Fundamentos de Física», Ed. Prentice Hall, México, 1991.

⁵ Zemansky, M.W., «Calor y Termodinámica», Ed. Aguilar, España, 1961.

⁶ J. de phys. (de la Metherie) 89, 321, 428 (1819), citado en G. Henry, «A Simple Form of the Clément and Desormes Apparatus», Am. J. Phys. 12 (5), October, 1944.

inicial. Suponiendo que la expansión adiabática sea aproximadamente cuasi-estática, podrá aplicarse la ecuación de Poisson $PV^\gamma = \text{cte}$ y de la medida de presiones se obtendrá el valor del coeficiente γ .

Rüchhardt⁷ puso en práctica en 1929 un método ingenioso para la medida de γ que, si bien no es más preciso que el anterior, hace uso de la mecánica elemental.

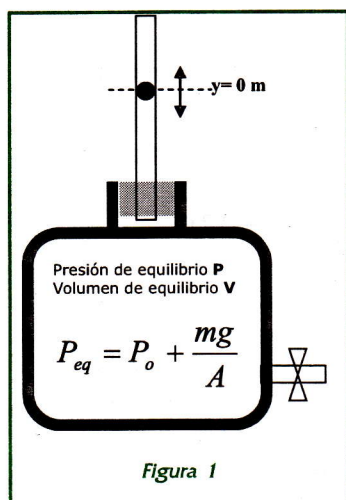


Figura 1

con una perforación en su pared lateral que puede comunicarse con el exterior a través de una válvula). Ajustado a él verticalmente a través de un tapón fijo a su boca hay un tubo de vidrio exactamente calibrado⁸, de sección A , dentro del cual una esfera metálica de masa m ajusta perfectamente como un pistón. El gas está ligeramente comprimido por la esfera en equilibrio y, por ello, su presión P es muy poco superior a la presión atmosférica P_o . Así, despreciando el rozamiento,

$$P_{eq} = P_o + \frac{mg}{A} \dots (ec.3)$$

Si se da a la esfera un ligero desplazamiento hacia abajo y después se la libera, oscilará con un período τ ; el movimiento será oscilatorio amortiguado. Si notamos con y a la posición de la esfera en un instante dado con respecto a la posición de equilibrio, un pequeño desplazamiento positivo produce un pequeño aumento de

volumen dV y se tiene:

$$dV = y \cdot A \dots (ec.5)$$

Análogamente, dicho desplazamiento provoca una disminución dP en la presión, siendo por tanto, negativa. La fuerza neta sobre la esfera es $F = A \cdot dP$, si despreciamos el rozamiento; o sea:

$$dP = \frac{F}{A} \dots (ec.6)$$

Puede observarse que los signos de dP y F son opuestos a los de y , lo cual define a la fuerza como restauradora.

Si la frecuencia de oscilación de la esfera es grande, podemos considerar las variaciones de P y de V como adiabáticas⁹; si sus variaciones dP y dV son pequeñas, podemos, además, considerar que el gas pasa por sucesivos estados de equilibrio, y por tanto, que el proceso es aproximadamente cuasi-estático¹⁰. Bajo estos supuestos se aplica:

⁷ E. Rüchhardt, «Eine einfache methode zur bestimmung von C_p/C_v », Phys. Z. 30, 58-59 (1929) citado en O. L. de Lange, J. Pierrus, «Measurement of bulk moduli and ratio of pefic heats of gases using Rüchardt's experiment», Am. J. Phys. 68 (3), March 2000.

⁸ El equipo se vende en catálogos de empresas de venta de material didáctico, como por ejemplo: «Apparatus of determining the ratio of specific heat capaties C_p/C_v » (37105), pag. 121, General Catalogue Physics, LEYBOLD DIDACTIC GMBH, Germany, 1992. El experimento está descrito en «Instrucciones de servicio 371 05, «Tubo de oscilación para determinar C_p/C_v , LEYBOLD DIDACTIC GMBH, Leyboldstrasse 1, Germany».

⁹ Este supuesto está justificado para oscilaciones donde la presión y el volumen experimentan pequeñas variaciones porcentuales y cuando la frecuencia es de algunos Hertz.

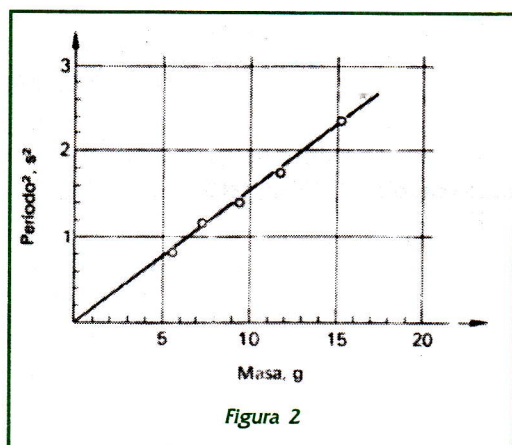
¹⁰ Una transformación termodinámica reversible es un proceso ideal que supone una sucesión de estados de equilibrio, donde las derivadas temporales de la presión y el volumen deben ser pequeñas. Pueden considerarse reversibles, con buena aproximación, aquellos procesos reales que involucren grandes cambios de Presión y Volumen que sucedan muy lentamente o muy pequeños cambios de P y V que sucedan muy rápidamente (G. Torzo, G. Delfitto, B. Pecori, P. Scatturin, «A new microcomputer-based laboratory version of the Rüchardt experiment for measuring the ratio $\gamma = C_p/C_v$ in air», Am. J. Phys. 69 (11), November 2001).

$P.V^\gamma = \text{cte}$ y $P\gamma V^{\gamma-1}dV + V^\gamma dP = 0$ (ec.7) sustituyendo los valores de dV y dP ,

$F = -\frac{\gamma P A^2}{V} \cdot y$ (ec.8), lo cual indica que el volumen de gas actúa en forma cuasi elástica, como un resorte de constante¹¹

$$k = \gamma P A^2 / V \text{ (ec.9).}$$

La **figura 2** es una gráfica del cuadrado del período en función de la masa para la esfera oscilante según H.C. Jensen (1963) donde se ve que la recta pasa casi por el origen, lo cual indica que se trata de un sistema equivalente a un resorte casi sin masa¹².



Sometida a la acción de esta fuerza, la esfera metálica oscilará con un movimiento armónico simple que se amortiguará, en primera aproximación, debido a **rozamientos viscosos** de tal forma que las fuerzas de roce dependen de la velocidad en primer orden. La medida de esta amortiguación es el coeficiente b , y la ecuación diferencial que rige las oscilaciones es:

$$m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + b \cdot \frac{dy}{dt} + \left(\frac{\gamma P A^2}{m V} \right) \cdot y = 0 \dots (\text{ec.10})$$

cuya solución $y = f(t)$,

$$y = A_0 \cdot e^{\frac{-bt}{2}} \cdot \text{sen}(\omega t + \phi) \dots (\text{ec.11})$$

describe el movimiento de la esfera, y en la cual puede apreciarse que la amplitud

varía con el tiempo según una exponencial inversa.

En la ecuación 10, el coeficiente de y es

$$\omega_0^2 = \left(\frac{2\pi}{\tau_0} \right)^2 = \frac{\gamma P A^2}{m V}, \text{ correspondiente a}$$

la oscilación **no amortiguada**, donde ω_0 es el período de oscilación libre. Para calcular su valor a partir de los valores de b y τ , podremos aplicar¹³:

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \frac{b^2}{4}, \text{ y calcular el valor del coeficiente } \gamma \text{ a partir de:}$$

$$\tau_0^2 = \frac{4\pi^2 m V}{\gamma A^2 P} \dots (\text{ec.12})$$

NOTA: por lo general se asume que los rozamientos son pequeños ($b \rightarrow 0$) de donde $\tau \rightarrow \tau_0$, calculándose el valor de γ (en forma aproximada) a partir del valor de τ sin considerar los efectos del rozamiento. En nuestro caso lo tendremos en cuenta.

Algunas consideraciones acerca del método de Rüchhardt:

Los valores de coeficiente γ que se obtienen con este método para el aire y el CO_2 están de acuerdo con los obtenidos a partir de medidas calorimétricas. No obstante, el mismo implica errores debidos a tres hipótesis simplificadoras:

1. que el gas es ideal,
2. que no hay rozamiento y
3. que los cambios de volumen son rigurosamente adiabáticos.

¹¹ Estrictamente no se trata de una constante, ya que depende del cociente P/V que varía, pero para variaciones pequeñas, se trata de un aproximación razonable.

¹² Zemansky, M.W., Dittman, R.H., «Calor y Termodinámica», pág. 123, Ed. Mc Graw-Hill Inc., España, 1981.

¹³ A.P. French, «Vibraciones y Ondas», pág. 75, MIT, Ed. Reverté, España, 1974.

Se estima que la segunda hipótesis es la que origina el mayor error, que se valora aproximadamente en un 3% (ref. 10).

Modificaciones al método de

Rüchhardt:

En 1929 Rinkel sugiere la determinación del coeficiente γ soltando la esfera desde el reposo dentro del tubo y midiendo la distancia L que recorre la misma hasta detenerse instantáneamente. Este método tiene como ventaja que L puede medirse con mayor precisión que τ_0 . (R.Rinkel, «Die Bestimmung von C_p/C_v », Phys. Z., **30**, 805 (1929) citado en ref. 14).

En 1940 Clark y Katz sugieren una importante modificación que tenía en cuenta con gran precisión la ecuación de estado real del gas, el rozamiento y la desviación de las condiciones rigurosamente adiabáticas. Un pistón de acero se sitúa en el centro de un cilindro cerrado dividiendo una masa de gas en dos partes. Se lo monta en la horizontal y se lo suspende con un electroimán para minimizar los roces. Se hace oscilar el pistón mediante un par de bobinas alimentadas con corriente alterna de frecuencia ajustable y se obtiene la curva de resonancia del sistema pistón-masa de gas (ref. 14).

Para estos autores las correcciones al coeficiente g se obtenían de aplicar: $\gamma_{corr} = \gamma \Delta X G + \Delta \gamma$ donde Δ refiere a la influencia de la masa del gas oscilante, X a la fricción entre el pistón y el cilindro, G al apartamiento del gas con respecto al modelo de gas ideal y $\Delta \gamma$ a las desviaciones no adiabáticas de las oscilaciones del gas. Estas últimas eran las más importantes a presión normal¹⁴.

Nuestra variante al dispositivo experimental original:

El elemento fundamental en el dispositivo original de Rüchhardt es lo que se conoce como *tubo de precisión de vidrio*, un tubo que se fabrica con tolerancias en el valor de su diámetro del orden del 1% para toda su longitud. Con este tubo conectado al recipiente de vidrio, la esfera oscila con poca

amortiguación, grandes amplitudes y baja frecuencia, por lo cual el período de oscilación puede determinarse contando las oscilaciones por observación directa y accionando un cronómetro de mano.

Según las consultas realizadas, averiguamos que esta clase de tubo de vidrio no se consigue en plaza¹⁵, por la cual debimos desarrollar un dispositivo alternativo con los materiales de los cuales disponíamos.

Para poder desarrollar el experimento, ideamos sustituir el montaje original por una jeringa de vidrio¹⁶, donde el émbolo sustitúa a la esfera. Esta clase de jeringa ya no se vende debido a que prácticamente fueron sustituidas por las descartables fabricadas en plástico. No obstante, aún pueden conseguirse de segunda mano¹⁷.

Nuestro dispositivo producía, por el pequeño volumen de gas encerrado (utilizamos una jeringa de 20 ml), frecuencias mucho mayores que las del diseño original del orden de decenas de Hertz, lo cual nos obligaba a registrar las oscilaciones con métodos alternativos, optando por utilizar una interface para ello¹⁸.

La decisión siguiente consistió en elegir qué magnitud medir para registrar la oscilación y así determinar los valores del coefi-

¹⁴ A.L.Clark and L. Katz, Can. J. Res. A **18**, 23, (1940) citado en D.G.Smith, «Simple C_p/C_v resonance apparatus suitable for the physics teaching laboratory», Am.J.Phys. **47** (7), July 1979.

¹⁵ Agradecemos la colaboración del técnico en vidrio de la Facultad de Química (UdelaR) Daniel Acosta y Lara por la ayuda que nos brindó en la búsqueda del tubo.

¹⁶ También vaya nuestro agradecimiento al Prof. Eduardo Núñez del Liceo Solymar 1 por la sugerencia de utilizar una jeringa de vidrio como sustituto. Un equipo alternativo similar al adaptado por nosotros puede encontrarse en «Ruchhardt's method of measuring the ratio of specific heats», EX-9910, pág. 399, 2004 Physics worldwide Catalog and experiments guide, PASCO scientific, CA, USA. (www.pasco.com).

¹⁷ Se encuentran varias a la venta en el sitio de subasta virtual www.mercadolibre.com.uy. Las de 20 ml se ofrecen por precios que oscilan alrededor de los \$U 250.

¹⁸ Utilizamos la interface «Lab Pro» de Vernier Software & Technology (www.vernier.com)

ciente b y el período de oscilación amortiguada τ , para calcular el valor del período sin amortiguar τ_0 ; el sensor de posición por ultrasonido de la interface no podía utilizarse ya que las amplitudes eran del orden de magnitud de la apreciación del mismo. No se disponía de sensor de presión que aparece como el más apropiado luego del anterior¹⁹. Un artículo referido al tema²⁰ sugería el registro de las oscilaciones midiendo la aceleración en función del tiempo con un acelerómetro, por lo cual se optó por el sensor «Low-g Accelerometer» (figura 3), con el que sí contábamos en el Laboratorio.



Figura 3

A modo de procedimiento:

1. Se trabajará con una jeringa de vidrio de 20 ml limpia y seca con una válvula de tres pases en su salida, montada en un soporte. Se le adhiere al émbolo el sensor acelerómetro con adhesivo removible²¹ como se muestra en la figura 4.
2. Se determina la masa del conjunto émbolo-sensor, con las precauciones que haya discutido previamente.
3. Se selecciona el máximo volumen girando la válvula de tres pases y cerrando luego la entrada de gas.
4. Se gira el conjunto jeringa-sensor hasta apoyar la válvula en la base, de tal forma que no se permita oscilar a la estructura del soporte.
5. Conecte el sensor a la interface. Ejecute el programa Logger Pro. La frecuencia de muestreo mínima debe elegirse de acuerdo a que registraremos frecuencias del orden de las decenas de oscilaciones por segundo (la frecuencia máxima para este sensor es de 1000 muestras/s). Discuta la conveniencia de fijar un valor de disparo («trigger») a partir del cual comenzar el registro.

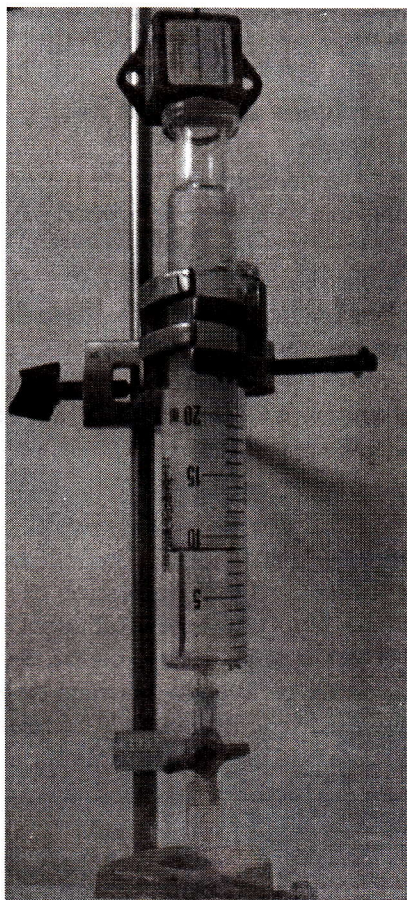


Figura 4

6. El émbolo puede girar. Elija la posición óptima de tal forma que al presionarlo y

¹⁹ Intentamos utilizar el «Sensor de presión sanguínea» (524050) de la interface CASSY (Leybold Didactic) con la modificación sugerida en el artículo «Proyecto para Termodinámica» de Collado, O., Prieto, O., Delgado, A., Ramírez, S. y Falcón, S. (Revista «Educación en Física», V. 6, N°1, Mayo de 2000, APFU), pero tenía un tiempo de respuesta excesivamente largo, no pudiendo medir presiones a la frecuencia requerida (1000 Hz).

²⁰ J.L. Hunt, «Accurate experiment for measuring the ratio of specific heats of gases using an accelerometer», Am.J.Phys. (7), July 1985. En este artículo se fotografiaba la pantalla del osciloscopio que registraba la señal del acelerómetro en función del tiempo, para luego digitalizarla.

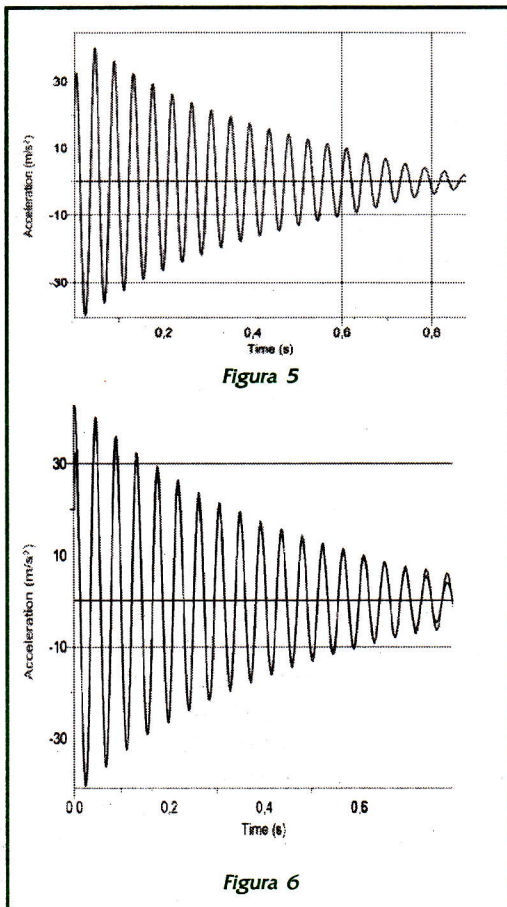
²¹ En nuestro caso utilizamos «TACK-IT™» de Faber-Castell®, pudiéndose utilizar cualquier equivalente.

liberarlo, se observen la mayor cantidad de oscilaciones posibles.

7. Seleccione la lectura cero en el sensor haciendo click en el botón «Zero» que aparece en la pantalla, comience la recolección de datos, presione el émbolo de la jeringa y libérela.
8. La gráfica $a = f(t)$ debe corresponder a un movimiento oscilatorio amortiguado donde la envolvente es una exponencial inversa.
9. Determine los valores de b , t , y calcule el valor de t_0 .
10. Repita el procedimiento para el conjunto de volúmenes que elija.
11. Calcule γ del gas utilizado.

Los resultados:

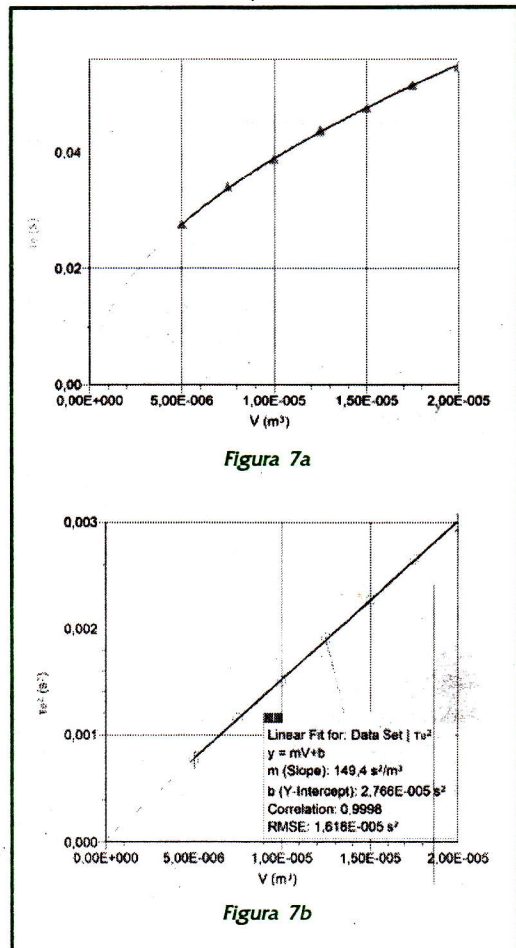
Las oscilaciones del émbolo para un volumen de 12.5 cm^3 se muestran en la figura 5 a modo de ejemplo.



El programa utilizado permite probar modelos de ajuste a los datos. En este caso, la curva $a = f(t)$ obtenida se puede ajustar mediante la expresión:

$a = a_0 \cdot e^{\left(-\frac{b}{2}t\right)} \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi)$ y obtener los valores de los parámetros. La sintaxis que se utilizó fue: $A \cdot \exp(-Bt/2) \cdot \sin(Ct+D)$ (ver ajuste superpuesto a los datos en figura 6), donde B y C son los parámetros b y ω , a partir de los cuales se obtienen ω_0 y τ .

Trabajando de igual modo para el conjunto de volúmenes elegido, se obtiene el cuadro de valores V - τ_0 - τ_0^2 y las gráficas $\tau_0 = f(V)$ y $\tau_0^2 = f(V)$ la cuales muestran la relación esperada (figuras 7a y 7b).



El valor obtenido para el equipo utilizado fue:

$$\gamma = (1.35 \pm 0.04)$$

Este resultado está de acuerdo a lo obtenido por los autores de la mayoría las referencias consultadas.

Nota: Debe tenerse especial cuidado en la precisión al medir el diámetro del émbolo, dato a partir del cual se calculará la sección del mismo (en nuestro caso utilizamos un tornillo de Palmer). También debe cuidarse la medida de la masa del conjunto (émbolo+sensor) que se ve afectada por la influencia del cable.

Agradecimientos

La presente práctica se adaptó y desarrolló en el Departamento de Física del Instituto de Profesores «Artigas» (IPA), en el marco de la coordinación de la materia **Física Experimental I** (Especialidad Física) junto a los Profesores Alejandra Delgado, Daniel Baccino y Gustavo Carbonell. A ellos y al resto de los colegas que aportaron a la concreción de la misma mi agradecimiento. También agradezco la colaboración de la Sra. Amelia Ferrari del Instituto de Física de Facultad de Ingeniería (UdelAR) por facilitarme el acceso a varios de los materiales utilizados como referencias.

...viene de página 22

no importa lo fuerte que Superman empuje por la izquierda, si permanece quieto, entonces la báscula de Hulk a la derecha indicará exactamente la misma fuerza» (extractado de «La Física de los Superhéroes» de James Kakalios. Pág.46)

¿Y si le agregamos algo de magia?

«El mago emplea métodos científicos que el público desconoce para crear efectos mágicos; y el científico emplea métodos que parecen mágicos (que el público también desconoce) para producir efectos reales.» <http://magiafísica.blogspot.com/>

«El objetivo del mago es desconcertar, asombrar y maravillar a su audiencia realizando algo en apariencia imposible, que parece violar las leyes de la física. Sin embargo, en muchos casos son las leyes de la física las que permiten hacer los trucos.» <http://física.mdp.edu.ar/mlhoyuelos/Fisicamagia.htm>



Houdin, en su obra póstuma, *Magia y física recreativa*, explica diferentes trucos basados en conocidos fenómenos físicos (ni pizca de sobrenatural) convenientemente aderezados para sorprender a la audiencia.

Si el contenido de esta miscelánea les despertó el «apetito»; esperamos vuestros aportes.

Referencias:

http://es.wikipedia.org/wiki/Ciencia_ficción | <http://es.wikipedia.org/wiki/Trekker> | <http://es.wikipedia.org/wiki/Somnium> | <http://lingobot.translated.net/site/spanish/en/wikipedia/org/wiki/Superman> | La física de Star Trek (The Physics of Star Trek - Prof. Lawrence M. Krauss) | <http://genesis1.phys.cwru.edu/~krauss/0804082.pdf> | «La Física de los Superhéroes» - James Kakalios | <http://magiafísica.blogspot.com/> | <http://física.mdp.edu.ar/mlhoyuelos/Fisicamagia.htm> | <http://www.proyectosalohogar.com/Magia/index.htm> | Porción traducida de «*Magia y física recreativa*» de Robert Houdin de quién tomó el nombre el famoso Harry Houdini (nombre artístico de Erich Weiss).

EDUCACIÓN en FÍSICA

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay

Volumen 7 Número 7

Marzo, 2009

SUMARIO

EDITORIAL	pág. 1
CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN CÓMO ENVIAR SUS TRABAJOS	pág. 2
LABORATORIO I Construyendo un BMW (Sensor de movimiento angular) Gabriel Bonomi - Elisa Santos	pág. 3
FÍSICA DEL HUMOR	pág. 10
ESPACIO DE A.P.F.U.	pág. 11
CURIOSOS CASOS, COSAS CURIOSAS	pág. 12
MISCELÁNEA I	pág. 14
LA RESONANTE CAÍDA DEL TACOMA NARROWA BRIDGE Álvaro Suárez - Marcelo Vachetta - Gabriel Glisenti	pág. 15
MISCELÁNEA II	pág. 22
WEB	pág. 23
LABORATORIO II Termodinámica: determinación del coeficiente γ (gamma) del aire por el método de Rüchhardt Guzmán Trinidad	pág. 25