

Magia resonante

W. Luis Mochán
Instituto de Ciencias Físicas, UNAM
Academia de Ciencias de Morelos
mochan@fis.unam.mx

1. Magia

Los buenos magos no lo hacen. Sin embargo, dado que nunca me he distinguido como mago, sí lo haré: le voy a enseñar una *magia*, la única que me sé.

Materiales

Una escoba, un trapeador, un palo o cualquier objeto que se le parezca del cual se puedan amarrar varias cuerdas.

Dos o más zapatos viejos, o nuevos, de preferencia botas o tenis con agujetas largas. Podría usar cualquier otro objeto con una masa similar y que pueda colgarse de alguna cuerda.

Preparación

Construya un *oscilatrón*.

Para ello, amarre los zapatos u objetos similares al palo de escoba con las agujetas u otras cuerdas, de forma que cuelguen a distintas alturas, como ilustra la figura 1.

Acto

Convoque a su familia, amigos, conocidos, vecinos, compañeros de trabajo y pídale que se sienten cómodamente a su alrededor.

Tome con ambas manos el palo de la escoba o lo que sea que haya empleado como soporte, de manera que quede horizontal y con los objetos colgando libremente sin chocar con el piso ni con obstáculo alguno.

Anuncie a su audiencia que demostrará cómo la *mente* domina a la *materia*.

Pida a su público que se concentren en uno solo de los péndulos que cuelgan del soporte y que no se distraigan con los otros.

Todos deben concentrarse en el mismo objeto, para lo cual deberá identificarlo adecuadamente, ya sea por su color, estilo, o por la altura a la que cuelga. Por ejemplo, podrá pedir a la audiencia que se concentren en aquel zapato que cuelga a la mayor altura.

Ud. mismo concéntrese en el mismo péndulo que todos los demás.

Mágicamente, el objeto elegido empezará a moverse cada vez con mayor amplitud mientras que los demás péndulos se mantendrán prácticamente en reposo.

Pida ahora a su audiencia que se concentre en algún otro de los objetos. Por ejemplo, en el que cuelga a menor altura.

El péndulo recién elegido empezará a oscilar cada vez con mayor amplitud mientras que el previamente elegido disminuirá poco a poco su movimiento hasta prácticamente detenerse.

Repita el truco con cada uno de los objetos.

Agradezca al público su participación y felicítelo por su gran poder de concentración. Dígales que el poder colectivo de sus mentes logró poner en movimiento a los objetos en los que se concentraron.

Disfrute los aplausos.

Discuta el resultado.

2. Truco

Quizás no me crea, pero no es imposible que muchos de quienes observen su acto queden convencidos de que en verdad fue su mente la que puso en movimiento a los objetos. Recientemente presenté este acto frente a un grupo de estudiantes de preparatoria y cuando les dije que no era así, que yo los había engañado y que los objetos no se habían movido gracias a su *fuerza mental*, entonces propusieron que el movimiento fue producido por la *energía visual* enfocada sobre el objeto que deseábamos mover, como si la energía emanara de los ojos de todo el público y empujara al objeto designado poniéndolo en movimiento.

Sin embargo, todo es un truco. Los péndulos oscilarán, sí, pero no por la fuerza mental ni por la energía visual, sino porque usted los moverá con sus manos y brazos. El *chiste* es que lo haga con movimientos tan pequeños e insignificantes que el público no se dé cuenta. ¿Cómo hacer, sin embargo, para que un movimiento minúsculo de sus manos produzca un gran movimiento de uno de los objetos, y *solamente de uno de ellos*?

Para lograrlo, note antes que nada que si da un solo impulso abrupto al soporte, todos los objetos colgantes se mecerán, pero cada uno de manera distinta. Cada uno de ellos tardará un tiempo distinto en su ir y venir repetidamente. Aquel que cuelgue de la cuerda más corta es el que oscilará con el *período* más pequeño y la *frecuencia* más alta, mientras que el que cuelgue de la más extendida tendrá el período más largo y la frecuencia más baja. Le recuerdo al lector que el período de un movimiento repetitivo es el tiempo transcurrido entre una y otra repetición, mientras que la frecuencia es el número de repeticiones que se llevan a cabo durante una unidad de tiempo. Ahora haga el siguiente ejercicio preparatorio antes de su triunfal presentación en público.

Elija uno de los péndulos y desamarre todos los demás. Tome el soporte y mézalo con movimientos pequeños hasta lograr que el objeto restante se mueva significativamente. ¿Cómo lograrlo? Simplemente, muévelo en sincronía con su movimiento natural. Imagine que está mediendo a un niño en un columpio, dándole un pequeño empujón cada vez que transcurre un período. Practique hasta lograrlo fácilmente.

Ahora amarre de regreso todos los péndulos que había removido y vuelva a mecer el soporte *igual que como había hecho* durante el ejercicio anterior, *haciendo caso omiso* de todos los péndulos excepto del seleccionado. Notará que el objeto seleccionado se moverá con gran amplitud mientras que los demás objetos permanecerán prácticamente inmóviles.

Ahora repita los dos pasos anteriores, pero para cada uno de los otros péndulos.



Oscilatrón, formado por algunos zapatos que cuelgan a distintas alturas de un palo de escoba.

3. Resonancia

Hay algunas lecciones simples que podemos aprender del truco de magia anterior.

La primera de ellas es que cada péndulo tiene un *modo propio* de oscilar, con su propia frecuencia, la cual depende de su longitud. De hecho, la frecuencia es aproximadamente proporcional al inverso de la raíz cuadrada de su longitud, y la constante de proporcionalidad está relacionada de forma sencilla con la aceleración de la gravedad g , de forma que podría emplear este equipo para *medir* la gravedad [vea la referencia 1]. Observaciones similares se aplican a un sinnúmero de objetos capaces de oscilar. Por ejemplo, las cuerdas de una guitarra oscilan al ser pulsadas con una frecuencia que también depende inversamente de su longitud, aunque sin tomarle raíz cuadrada. Mientras más corta o más delgada sea la cuerda, más alta es su frecuencia natural de oscilación y más *agudo* el sonido que produce. Como la cuerda es un objeto extendido, tiene más de un modo propio de oscilación. Si Ud. es músico seguramente conocerá los *armónicos* que puede producir una cuerda, los cuales no son más que modos propios adicionales al modo *fundamental*. Si no, pida a algún músico conocido que se los presente. Además de las cuerdas de guitarra, el aire en el tubo de un instrumento de viento, el cuero en un tambor, el vidrio de una copa, la tapa metálica de una olla, la madera de una puerta, los átomos en una molécula, los electrones en un átomo, el campo electromagnético en una cavidad metálica, y hasta las casas habitación y los edificios, todos estos son sistemas con sus propios conjuntos de frecuencias propias de oscilación.

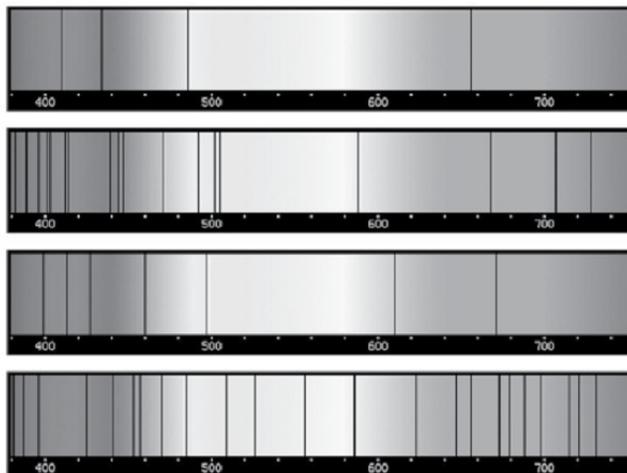
Si perturbamos a un sistema mediante una pequeñísima excitación periódica, que se repite una y otra vez, podemos producir una respuesta enorme siempre y cuando la frecuencia de la excitación coincida con la frecuencia natural de oscilación correspondiente a alguno de los modos propios del sistema, es decir, siempre y cuando la excitación se halle en *resonancia* con alguno de los modos propios. Un sistema absorbe energía del sistema que lo excita cuando éste se halla en resonancia. Si, en cambio, la excitación no se halla en resonancia con los modos propios, el movimiento que produce y la energía que transfiere son insignificantes.

4. Transferencia resonante

El fenómeno de resonancia permite explicar un sinnúmero de fenómenos que observamos en

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: editorial@acmor.org.mx



Espectro de absorción del hidrógeno, helio, litio y berilio (de arriba hacia abajo). Los números indican la longitud de onda expresada en nanómetros. (Tomado de <http://bit.ly/2hff634>.) (Nota del editor: en la versión en PDF de La Unión de Morelos ésta y el resto de las ilustraciones aparecen en color.)

el mundo a nuestro alrededor, y ha conducido a gran variedad de aplicaciones. Tome, por ejemplo, una guitarra bien afinada y pulse la sexta cuerda (la más gorda) con el dedo índice de su mano derecha e inmediatamente después detenga su movimiento colocando el mismo dedo sobre la cuerda. Notará que el sonido desaparece. Ahora presione firmemente la cuerda en el primer traste con el dedo índice de su mano izquierda y repita el experimento. Escuchará un sonido un poco más agudo que abruptamente desaparecerá. Repita esta operación con otros trastes. Notará un resultado peculiar al llegar al quinto traste de la sexta cuerda: después de detener su movimiento notará que el sonido persiste, no se detiene. ¿Por qué? Porque la sexta cuerda en el quinto traste oscila con la misma frecuencia que la quinta cuerda al aire, a la cual le transfiere parte de su energía resonantemente [ref. 2]. Al detener a la sexta cuerda, el sonido no se extingue debido al movimiento que fue transferido a la quinta cuerda. Experimente con todos los trastes de todas las cuerdas y cuando note que el sonido persiste, identifique a cuál cuerda se transmitió la energía.

Considere ahora la luz blanca que emite una estrella como el Sol. Dicha luz se compone de oscilaciones del campo electromagnético con muchísimas frecuencias situadas entre 400 y 800 millones de millones de oscilaciones por segundo. Cuando alguna de dichas frecuencias iguala a la frecuencia natural de oscilación de los electrones en los átomos de alguno de los elementos que forman la atmósfera externa de dicha estrella, entonces esos átomos absorben la energía luminosa de manera resonante, la cual no llega a nuestros ojos. De esta manera, *midiendo el color de la luz que nos llega de una estrella, observando su espectro de absorción*, podemos averiguar qué tipo de átomos forman su atmósfera. En la figura 2 se muestran los espectros de absorción de los primeros elementos de la tabla periódica: hidrógeno, helio, litio y berilio. Curiosamente, fue de esta forma que el elemento helio fue hallado en el Sol ¡antes que en la Tierra [ref. 3]!

Las fibras individuales que forman una hoja de papel son transparentes, como se puede comprobar mojóndola con una gota de aceite, pero desvían la trayectoria de los rayos de luz cada vez que éstos pasan del aire al papel y del papel al aire. Hay tantas fibras, tan pequeñas y orientadas en tantas direcciones al azar, que la luz que incide sobre una hoja emerge en todas las direcciones. Por eso el papel se ve blanco. Si cubrimos el papel con una sustancia formada de moléculas grandes que tengan muchas frecuencias de resonancia que cubran una banda correspondiente a la de ciertos colores, por ejemplo, los verdes y azules, absorberá resonantemente la luz de dichos colores pero dejará pasar la luz de los colores restantes, por ejemplo, los rojos. Entonces, dicho papel se verá rojo. El fenómeno de resonancia explica entonces el color de las tintas. De manera más general, explica el color de las cosas [ref. 4].

La transferencia resonante de energía nos permite, por ejemplo, diseñar circuitos electrónicos que pueden entonarse para absorber energía de campos electromagnéticos que oscilen 106.1 millones de veces por segundo, pero que no se vean perturbados cuando la frecuencia sea de 106.9 o cuando sea de 105.3 millones de oscilaciones por segundo. Este circuito nos permitiría escuchar la programación de la estación de radio FM de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, sin la interferencia de Radio Fórmula ni de Radio Capital [ref. 5]. Cuando se rompe la corteza terrestre, o cuando se desplaza una parte de una placa tectónica con respecto a otra, se generan ondas elásticas de varios tipos, ondas primarias y secundarias que se propagan a través del seno de la corteza y ondas de Rayleigh y de Love que se propagan a través de la superficie, y que sentimos como sismos o terremotos. Las ondas primarias son las que más rápidamente se propagan, y corresponden a movimientos longitudinales, en la dirección de propagación de la onda, como las ondas de sonido. Las ondas secundarias llegan poco después y corresponden a movimientos transversales, perpendiculares a la dirección de propagación de las ondas. Las ondas de Rayleigh son movimientos hacia arriba y abajo en la superficie, mientras que las ondas de Love son movimientos hacia un lado y hacia otro [ref. 6]. Todas estas



Amortiguador con capacidad de 25 toneladas para abatir daños en edificios durante terremotos.

ondas tienen frecuencias de unas pocas oscilaciones por segundo, las cuales pueden entrar en resonancia con los modos propios de oscilación de los edificios. Edificios suficientemente altos tendrían modos propios con frecuencias de oscilación menores a las del movimiento telúrico, corriendo por ello poco peligro. Lo mismo sucedería con edificios suficientemente pequeños, cuyos modos propios podrían tener frecuencias de oscilación más altas que las del sismo. Serían entonces aquellos edificios con tamaños intermedios, cuyas frecuencias de oscilación resuenen con las frecuencias presentes en las ondas sísmicas, los que más riesgo correrían de entrar en resonancia, absorbiendo tanta energía que podrían ocasionar el colapso de la construcción.

5. Disipación

Invito ahora al lector a reconfigurar su oscilatrón, de manera que tenga únicamente dos péndulos idénticos. Al excitarlo resonantemente observará que ambos péndulos reaccionan moviéndose con la misma amplitud. Ahora amarre a uno de ellos una hoja de papel arrugada. Cuando vuelva a excitar al sistema notará que el péndulo que no tiene el papel oscilará con mucha mayor amplitud que el que sí lo tiene, y que, a diferencia del truco de magia descrito anteriormente, no hallará manera de invertir el grado de excitación entre ambos péndulos. El papel arrugado funciona como un *amortiguador* que disipa la energía del péndulo y evita que adquiera un movimiento amplio aún en resonancia.

Como cada sismo contiene un rango de frecuencias distinto, no es posible saber si alguna estructura estará o no en resonancia con algún sismo futuro. Por ello, cuando se calcula una edificación es importante hacer un análisis *dinámico*, además de un análisis *estático* para averiguar cómo vibra el edificio, además de cómo se sostiene [ref. 7]. Añadiendo elementos que disipen la energía asociada a sus modos normales de oscilación, quizás permitiendo cierto nivel de deformación *plástica*, empleando amortiguadores similares a los que emplea un auto en su suspensión (ver figura 3) o transfiriendo la energía hacia los cimientos, se puede impedir que el edificio sea sujeto a grandes esfuerzos debido a excitaciones resonantes, disminuyendo significativamente su riesgo de colapso.

6. Conclusiones

En resumen, un sencillo truco de magia nos enseñó el concepto de modos propios de oscilación y de excitación resonante, el cual nos permite entender fenómenos diversos como la acústica musical, la observación de la composición de las estrellas, el color de las cosas, las radiocomunicaciones y el colapso de algunos edificios durante los terremotos.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por DGAPA-UNAM mediante el proyecto IN113016.

Referencias

- Péndulo simple: determinación de la aceleración de la gravedad*, Universidad de Alicante, <http://bit.ly/2hD7ngz>.
- Tarpafar, *Resonancia acústica en cuerda de guitarra*, <http://bit.ly/2zgKdpS>.
- Helio - Wikipedia en español, <http://bit.ly/2IOYVPO>.
- Color - Absorción y reflexión, en el portal Históptica, <http://bit.ly/2zcyNkR>.
- Sintonizador (radio), Wikipedia en español, <http://bit.ly/2hDFgQc>.
- Onda sísmica, Wikipedia en español, <http://bit.ly/2itkmRB>.
- Camelot Huesca Catalayud, *Resonancia estructural*, <http://bit.ly/2zi3lKu>.
- José Antonio Agudelo Zapata, *Aisladores y disipadores sísmicos*, Estructurando, Aisladores y disipadores sísmicos, <http://bit.ly/2yupsmz>.

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar:
www.acmor.org.mx