

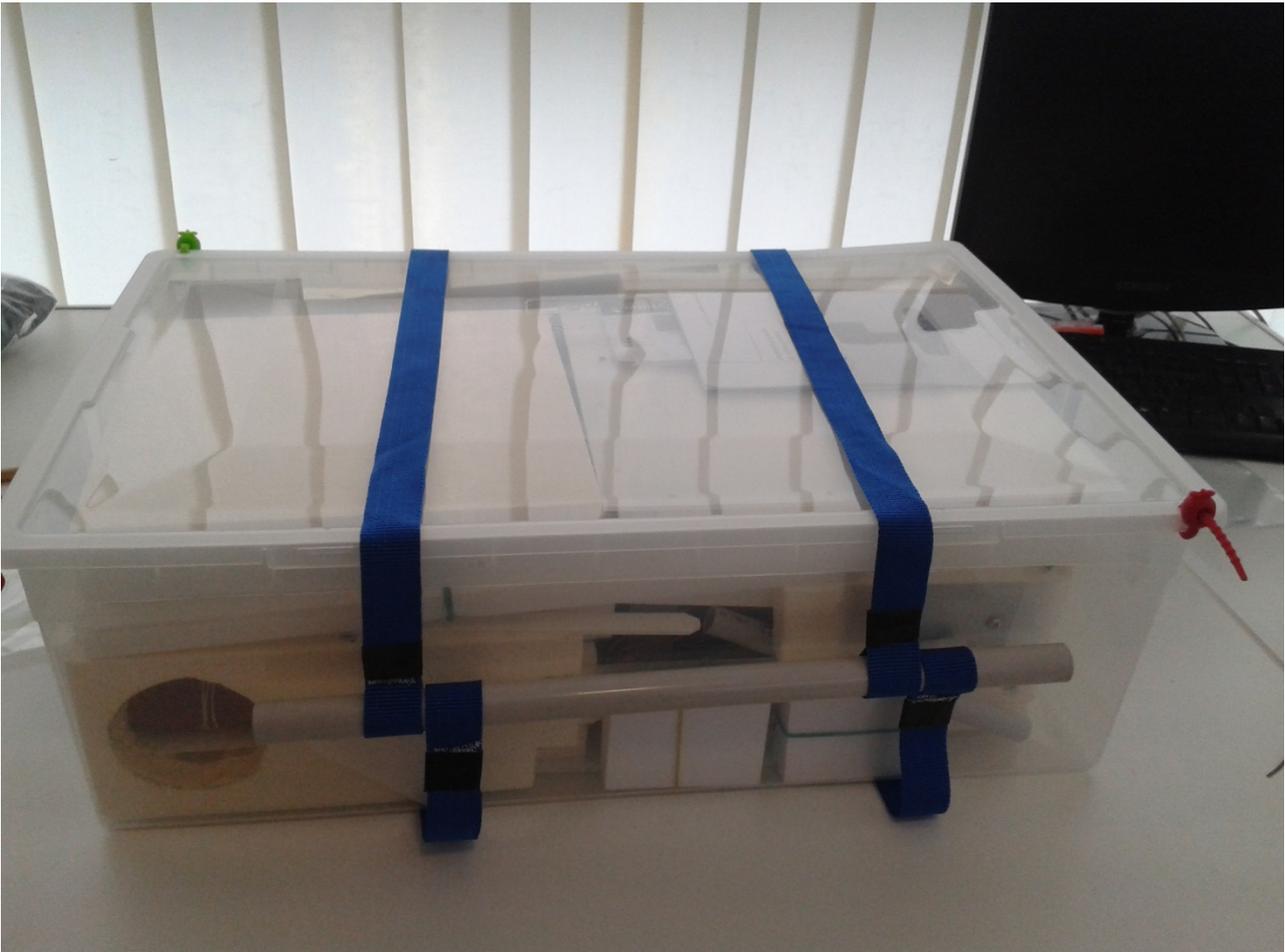
EARTHQUAKES STUDIES in CLASSROOM

“SEISMO-BOX: DO IT YOURSELF”

François Tilquin¹ and Francesca Cifelli²

¹Lycée Marie Curie, Echirolles, France

²Università degli Studi Roma TRE



**Geosciences Information for Teachers GIFT Workshop
October 5, 6 and 7, 2016
“Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications”**



**European Geosciences Union
GIFT – Geosciences Information For Teachers**

PRESENTACIÓN KIT Y SOFTWARE

El 'Committee on Education' (CoE) de la European Geosciences Union (EGU) promueve la planificación y coordinación de las actividades de formación de los profesores, incluyendo en su programa general el workshop GIFT (Geosciences Information for Teachers), destinado a los profesores de Ciencias y articulado en seminarios y actividades de laboratorio (<http://www.egu.eu/outreach/gift/>).

Entre las actividades de laboratorio propuestas, el Kit de Educación 'The Seismo-box: do it yourself' es, sin duda, la que ha tenido un mayor éxito entre los profesores de Ciencias.

El creador de esta curiosa 'caja sísmica' es un profesor francés, Francois Tilquin, profesor de Ciencias ahora retirado, que fue recientemente nombrado 'embajador de Educación' de la European Geosciences Union (EGU). Este kit también se utiliza en las escuelas italianas a través del proyecto LS-OSA en el que participan el Ministerio de Educación (MIUR) y la Universidad de Roma Tre (coordinado por Francesca Cifelli). El proyecto LS-OSA está dedicado a promover la ciencia en la escuela, y tiene como objetivo principal el desarrollo de laboratorios experimentales y actividades prácticas en las escuelas como una herramienta para desarrollar las habilidades de los estudiantes.

El kit '**SEISMO-BOX: DO IT YOURSELF**' contiene una serie de equipos y elementos para ser montado con el fin de obtener el aparato para la realización de los experimentos. Para instalar el software SISMO-LOGIC se puede utilizar el link http://www.ac-grenoble.fr/webcurie/sismo/web_patin/. La primera vez que se instala el software, éste se instala automáticamente en una carpeta nueva llamada Tilquin (c: / Tilquin). Una vez que todo está instalado, se podrá cambiar el nombre de esta carpeta.

GUÍA PRÁCTICA PARA HACER EXPERIMENTOS

Los experimentos que se proponen en el Kit de Educación 'Seismo-box: do it yourself' son de dos tipos. Una primera serie de experimentos se dedica a la comprensión física del terremoto o sismo.

Las experiencias propuestas en relación a esta primera serie de experimentos son, por ejemplo: el origen de los terremotos (como el registro de las ondas sísmicas producidas por la rotura de una roca), la construcción de un sismómetro, la medida de las ondas sísmicas, el fenómeno stick-slip (la energía acumulada durante el movimiento sísmico y el tiempo de ocurrencia de un terremoto). El segundo grupo de experimentos se dedica a los efectos de un terremoto en función del tipo de construcciones o edificios y el terreno sobre el que éstos se asientan. En particular, se ilustra la

resonancia en edificios de diferentes alturas, ya que el efecto del terremoto varía dependiendo del tipo de edificio, el fenómeno de la licuefacción de suelos, la respuesta sísmica local en función del tipo de suelo de fundación (efecto de sitio).

Cada experimento se acompaña de información sobre el material requerido y el procedimiento a seguir, y una parte que explica el fenómeno físico que se quiere observar. Para aquellos que deseen explorar el potencial del kit puede consultar la siguiente página web http://www.ac-grenoble.fr/webcurie/sismo/web_patin o contactar con Francois Tilquin (francois.tilquin.38@gmail.com) y Francesca Cifelli (francesca.cifelli@uniroma3.it).

1. ¡FAMILIARÍZAMOS CON LOS TERREMOTOS!

1A. Construimos un sismómetro

Principios básicos

El terremoto o sismo es un temblor de la superficie libre de la Tierra generado por una discontinuidad del campo elástico localizada en un volumen de la corteza terrestre en un momento dado. Dicha discontinuidad se asocia con la formación de una nueva superficie denominada "fractura"; la energía liberada por estas fracturas durante un sismo se propaga por la superficie de la Tierra en forma de ondas elásticas y movimiento. Las herramientas que registran este movimiento son los sismómetros. Un sismómetro es un aparato electro-mecánico adaptado para medir en el dominio de tiempo el desplazamiento, la velocidad o la aceleración de un punto de la Tierra. El sistema consta de un sistema de resorte-masa magnética, oscilando en una bobina que consta de un número n de vueltas.

Si el movimiento del terreno en el que se apoya el sismómetro es lo suficientemente rápido, la masa permanecerá estacionaria, proporcionando un punto de referencia fijo en el espacio con relación al que se pueden medir los desplazamientos generados por el movimiento de la Tierra. El movimiento de la masa magnética (movimiento relativo) en la bobina genera una corriente en sus espiras (corriente inducida); esta corriente se puede detectar en los extremos de la bobina.

Este fenómeno se conoce como inducción electromagnética. Los sismómetros son de dos tipos, dependiendo del movimiento relativo de la masa magnética: si el movimiento es vertical el sismómetro se define como vertical y la señal proporcionada describe la dinámica de la componente vertical del movimiento del suelo. Si el movimiento de la masa es horizontal, el sismómetro es horizontal y la señal proporcionada describe la dinámica de la componente horizontal del movimiento del suelo. El curso temporal del movimiento del suelo describe el sismograma.

Objetivo de la experiencia

Entender un sismómetro y cómo registra las ondas sísmicas.

¿Qué es lo que tomamos de la caja?

El kit contiene todas las piezas necesarias para la construcción de un sismómetro. Para realizar el experimento se utiliza (los números se refieren a la Fig. 1):

- 1-2) soportes del sismómetro que deben ser fijados con los tornillos suministrados;
- 3) apoyo para la fijación de la bobina;

- 4) recipiente para el agua que sirve como un sistema de amortiguamiento del movimiento (en el kit es el frasco que contiene los componentes del sismómetro);
- 5) tubo de plástico perforado que se fija en el soporte 1;
- 6) tarjeta de sonido externa (no es necesario si está utilizando una computadora de escritorio y no un ordenador portátil)
- 7) vara de madera que se fija en el tubo de plástico;
- 8) Masa que se une con el imán
- 9) cintas elásticas
- 10) imanes
- 11) bobina;
- 12) tornillo para ser aplicado a los imanes;
- 13) arandela de plástico que debe aplicarse a 12);
- 14) cinta elástica que sujetará el sistema de masa magnética-resorte

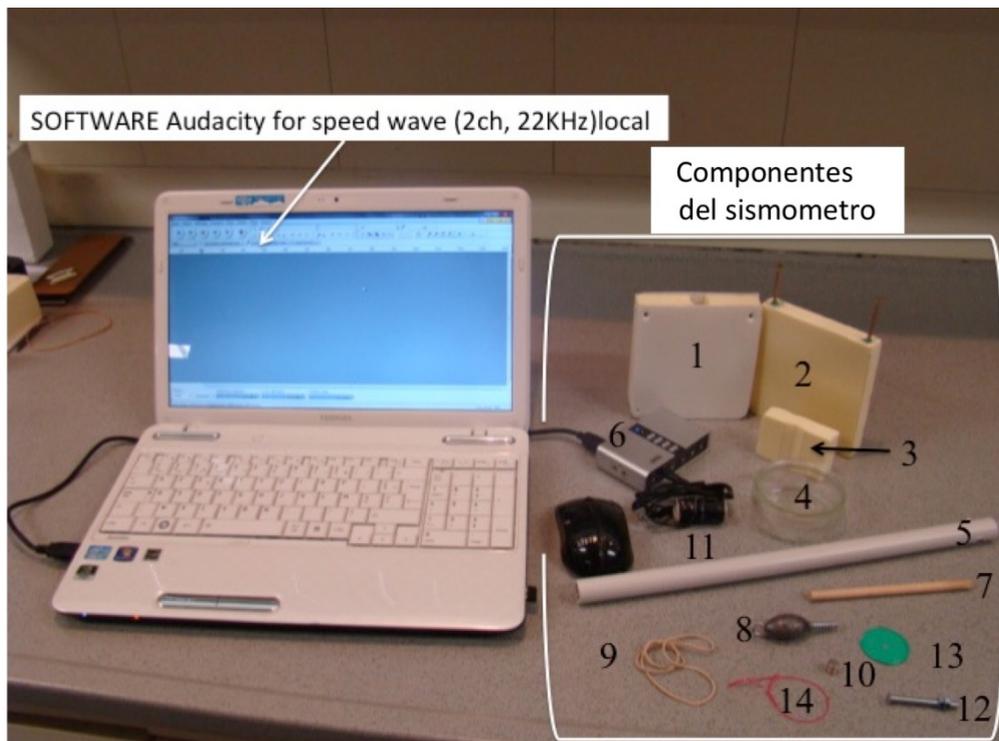


Fig. 1 – Componentes usados en el experimento.

Experimento

Se prepara el equipo como se muestra en la Fig. 2. Durante la preparación recuerde:

- asegurar el apoyo del sismómetro sobre la mesa con cinta adhesiva para sujetarlo.

- Centrar los imanes con respecto a la bobina de tal manera que éstos queden en medio de la bobina. Para hacerlo, enrollar o desenrollar la cinta elástica (14) alrededor de la vara de madera (Fig. 2e.) con el fin de obtener la altura correcta
- centrar el imán con respecto al diámetro interior de la bobina, de modo que se puede mover verticalmente sin obstáculos;
- Conectar la bobina a la tarjeta de sonido externa (la primera vez que utilice la tarjeta de sonido externa tiene que instalarla previamente en su ordenador) y la tarjeta al ordenador (Fig. 2i.);
- Abrir en el menú emergente de SISMO-LOGIC *'Audacity for speed wave'* (Fig. 3).

El experimento consiste en iniciar la grabación (figura 4) golpeando la mesa con el puño (Fig. 5) y observar la pista de grabación que se produce (Fig. 10).

Cuando se golpea la mesa (simulando un terremoto), el sistema masa-imán permanece inmóvil (por el principio de inercia), mientras que la carcasa del sismómetro se mueve junto con el suelo que se ha movido (Fig. 5). Esta variación del movimiento relativo entre el imán y la bobina genera una corriente registrada por el ordenador. Trate de realizar el experimento con y sin agua en el recipiente en la base del sismómetro y describa lo que sucede. Para ver el video haga clic [aquí](#).

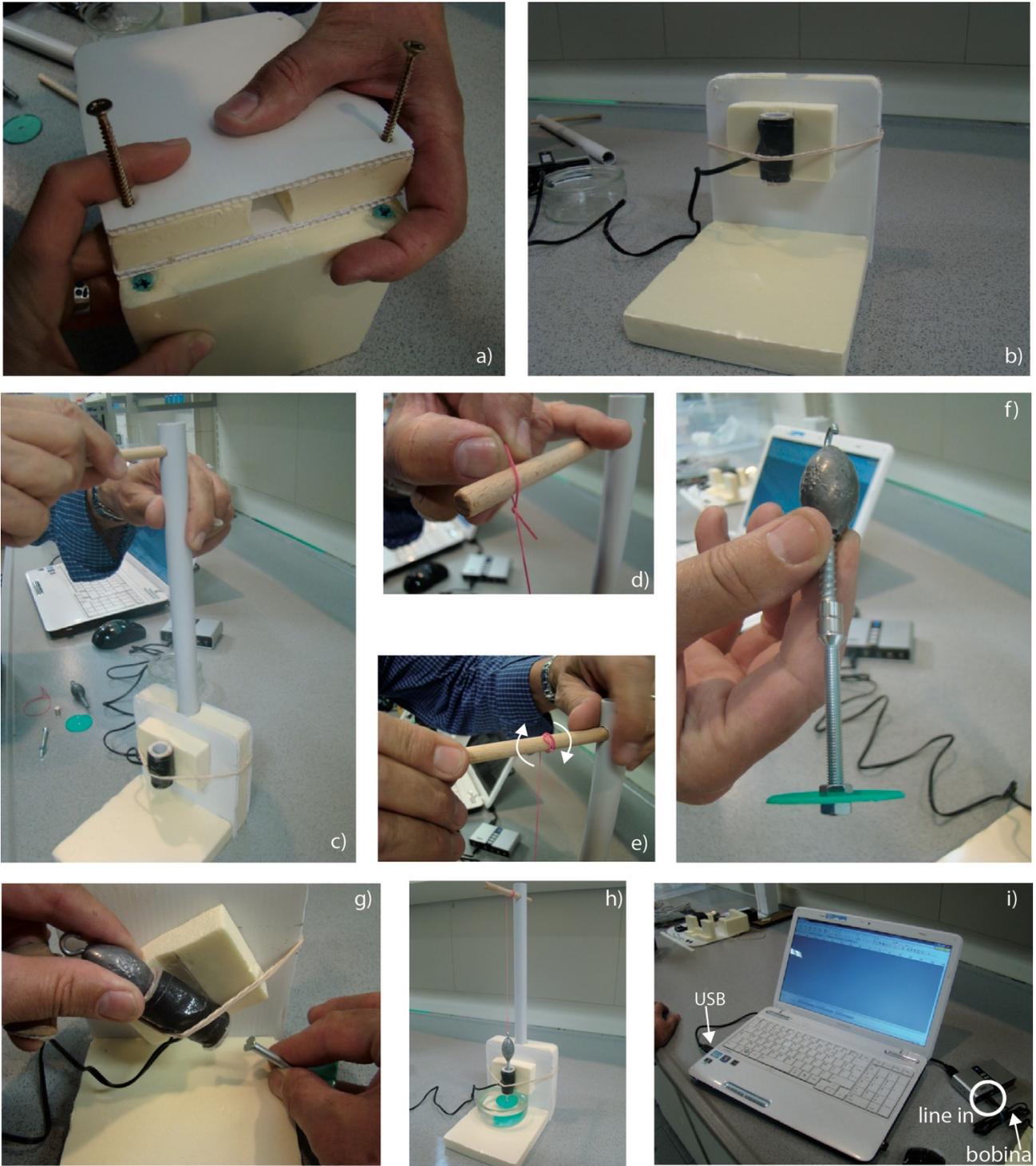


Fig. 2. Preparación del sismómetro.

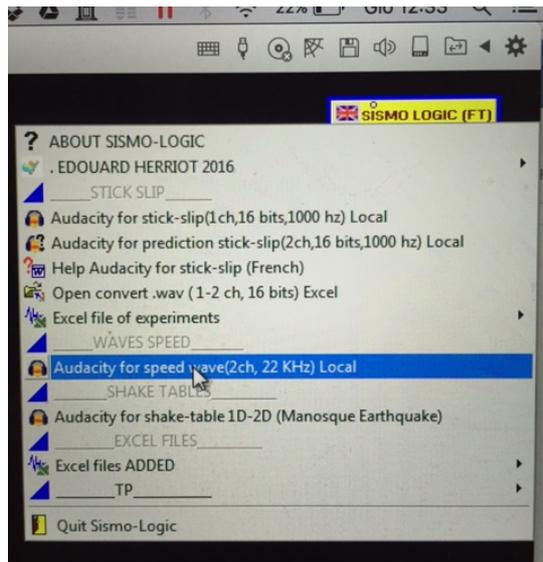


Fig. 3 – Audacity for speed wave.

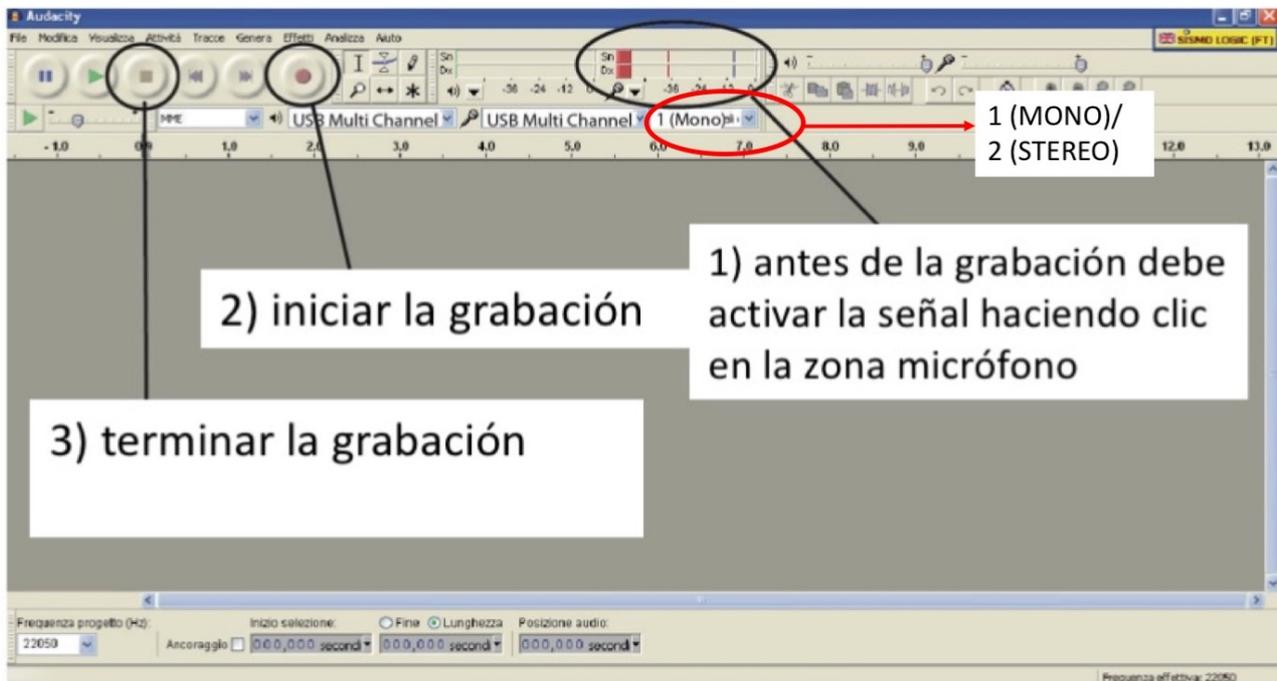


Fig. 4 – Cómo utilizar el software. 1) Si usted tiene ordenador portátil, el micrófono interno tiene que ser excluidos. Para asegurarse de que el sistema funciona, al mover el imán dentro de la bobina tiene que producirse la señal.

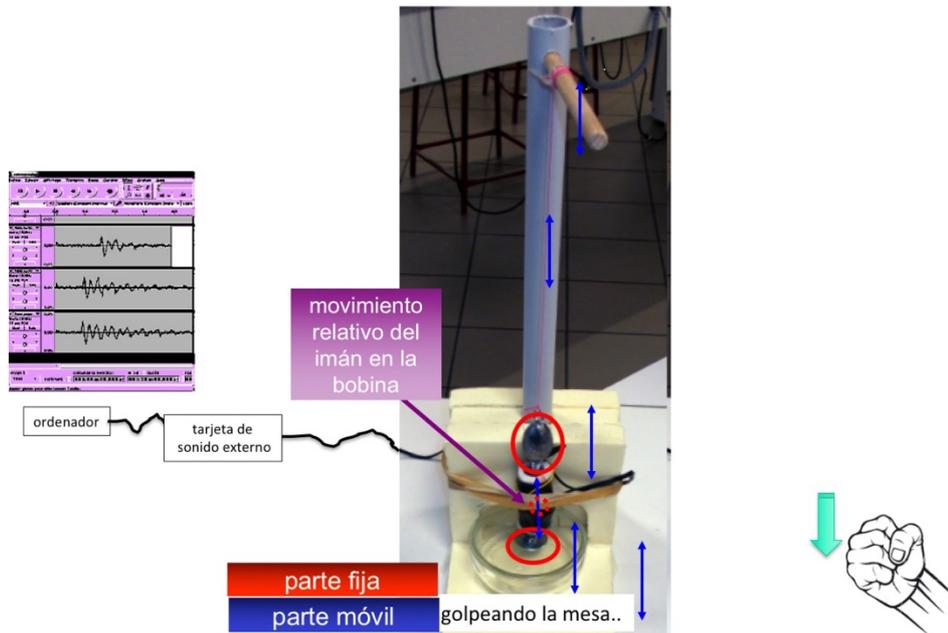


Fig. 5 – Cuando golpee la mesa (simulando un terremoto), el sistema masa-imán permanece inmóvil (por el principio de inercia), mientras que la carcasa del sismómetro se mueve junto con el suelo que se ha movido.

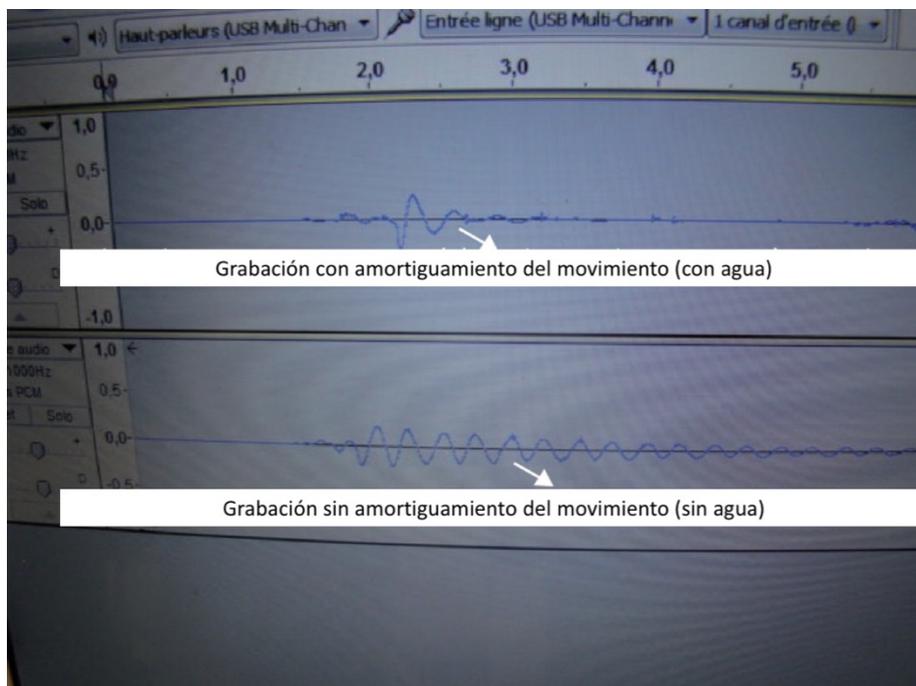


Fig. 6 – Grabación del movimiento de tierra (sismogramas). El agua actúa como un "sistema de amortiguamiento" reduciendo la amplitud de las señales. Para ampliar los sismogramas debe hacer clic situando el cursor sobre lo que desee ampliar y utilizar los símbolos de la lente en la parte superior derecha de la pantalla del programa.

1B. ¿Cómo se originan los terremotos?

Principios básicos

Como se observa en el experimento anterior, el terremoto es una vibración más o menos fuerte de la tierra causado por una liberación rápida de la energía mecánica en profundidad. El terremoto se genera cuando las rocas que son sometidas a un esfuerzo (ligado al movimiento de las placas litosféricas) se rompen repentinamente. Esta ruptura ocurre a lo largo de un plano (llamado plano de falla), nuevo o existente (que está temporalmente 'bloqueado' por las fuerzas de fricción). La ruptura genera vibraciones (ondas sísmicas) que se propagan desde el punto de origen del sismo (hipocentro) y que se atenúan con la distancia.

Objetivo de la experiencia

La comprensión de cómo se origina un terremoto, registrarla en dos estaciones a diferente distancia del epicentro a fin de comprender cómo se propagan las ondas sísmicas en los medios.

¿Qué es lo que tomamos de la caja?

Materiales requeridos (Fig. 7):

- bloque de Syoporex
- papel de lija
- un trozo de lámina de lasaña rígido
- sensor piezoeléctrico
- tarjeta de sonido externa

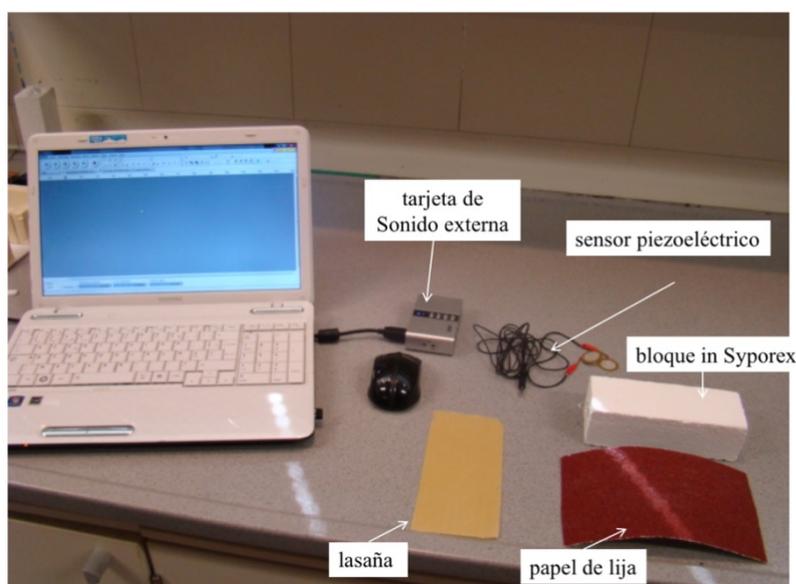


Fig. 7 – Material necesario para el experimento sobre terremotos.

Experimento

Se utiliza el mismo programa usado para la construcción del sismómetro. Abra en el menú desplegable SISMO-LOGIC 'Audacity for speed wave' (Fig. 3), pero seleccionar la configuración '2 (stereo) canales de ingreso' (Fig.4).

Iniciar la grabación con el botón rojo, y aplicar una fuerte presión en la lámina de lasaña de modo que se rompa (Fig. 8). Esta experiencia simula la formación de una nueva superficie de fractura (falla). Los dos sensores piezoeléctricos tienen la función de transformar la energía mecánica debido a la vibración de la mesa (tierra) en energía eléctrica. La señal así detectada se transmite al ordenador y se muestra como un sismograma. Obtenemos dos sismogramas, uno para cada sensor piezoeléctrico (Fig. 9).

Si se mide la distancia entre los dos sensores piezoeléctricos Δs y la diferencia de tiempo entre la llegada de la señal detectada por cada uno de los dos sensores Δt , es posible evaluar la velocidad v de propagación de las ondas elásticas en el medio del estudio:

$$v = \Delta s / \Delta t$$

(en el experimento de la foto, la mesa de trabajo).

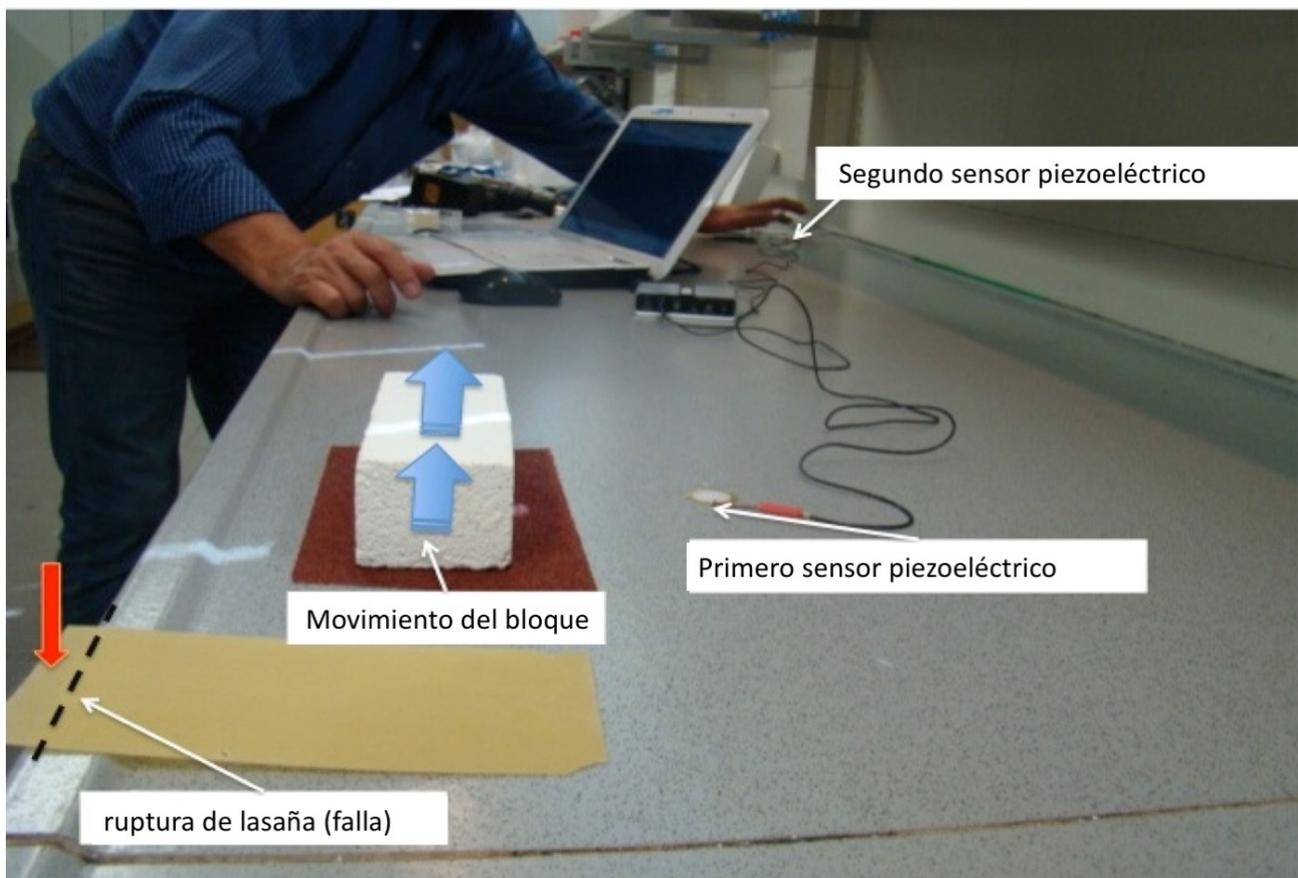


Fig. 8 – Configuración y ejecución del experimento. Para ver el video haz clic [aquí](#).

Notas

Para calcular la velocidad de propagación de las ondas en el medio, se debe conocer el tiempo entre la llegada de las ondas en los dos sismogramas. Seleccione en el monitor (Fig. 9) el intervalo de tiempo entre los dos sensores piezoeléctricos (clicando en la primera llegada de la primera onda del sismograma y arrastrando el cursor a la primera llegada de la segunda onda del sismograma). A continuación, se lee en la parte inferior izquierda de la pantalla el número de diferencia y se multiplica $\times 1/22050$ (velocidad de adquisición establecida para el proyecto). El resultado es el valor del tiempo en segundos. Puesto que la velocidad de las ondas sísmicas varía en función del medio, se puede repetir el experimento usando diferentes superficies de apoyo (mesa de madera, poliestireno, hormigón, etc.) para apreciar cómo la velocidad varía en función del medio.



Fig. 9 – a) Sismogramas producidos por la ruptura de una lámina de lasaña. Los dos sensores piezoeléctricos registran la llegada de las ondas. Se puede medir la diferencia de tiempo entre las dos llegadas de las ondas desde los sensores piezoeléctricos (el superior más cerca del hipocentro). b) Si se conoce la diferencia t y la distancia entre los dos sensores piezoeléctricos es posible calcular la velocidad de propagación de las ondas en el medio.

1C. La dinámica "stick-slip" en el proceso sismogénico: ¿'se pueden predecir los terremotos'?

Principios básicos

La fricción es un "ingrediente" esencial de nuestra vida diaria. Si únicamente nos centramos en la fricción de contacto, su función es obvia cuando queremos empujar o arrastrar un objeto pesado.

Es bien sabido que es mucho más difícil mover un objeto a partir de su posición de reposo (cuando actúa la fuerza de fricción estática) que mantenerlo en movimiento una vez que el movimiento ha comenzado (cuando actúa la fuerza de fricción dinámica).

La alternancia de etapas de fricción estáticas y dinámicas caracteriza a una gran cantidad de fenómenos naturales, en los que la interacción de contacto entre dos materiales es mediada por las propiedades elásticas del sistema.

En estos fenómenos, durante el dominio de la fricción estática se acumula energía potencial elástica que es seguido por una fase en la que la energía almacenada se transforma en energía cinética, hasta que el sistema vuelve a la fase de reposo y comienza un nuevo ciclo. Esta peculiar dinámica, que se llama stick-slip (es decir, tracción-antideslizante), también caracteriza a las fallas sísmicas, fracturas en la roca que muestran evidencias de un rápido movimiento relativo que resulta en la liberación de energía.

A lo largo de una falla sismogénica, solo cuando la acumulación de energía elástica producida por esfuerzos tectónicos es suficientemente grande para superar las fuerzas de fricción estática, las masas de roca en contacto a lo largo de la falla se movilizan y se produce liberación de energía cinética y térmica.

La energía total liberada, E , es dada por la relación

$$E = \sigma A \delta$$

donde σ es la tensión media liberada durante el movimiento de la falla, A es el área de la falla y δ es el desplazamiento producido a lo largo de la falla.

El ejemplo más claro para representar la dinámica de stick-slip se conoce como '*spring block*' y se propone en esta experiencia donde se realizarán las especulaciones específicas sobre la dinámica del terremoto.

Objetivo de la experiencia

- ilustrar los principios fundamentales de la dinámica stick-slip
- verificar experimentalmente si hay una proporcionalidad entre la energía almacenada por el resorte (elástico) durante su alargamiento y la energía liberada desde el bloque durante el paso de deslizamiento que simula el terremoto;

- comprobar la proporcionalidad entre el tiempo intersísmico y la energía liberada por el terremoto e identificar si la secuencia de eventos se caracteriza por la periodicidad.

Basado en los resultados obtenidos, será posible verificar si es posible predecir terremotos.

¿Qué es lo que tomamos de la caja?

De la caja es necesario tomar (Fig. 10):

- Taladro inalámbrico y su soporte
- papel de lija
- bloque de syporex;
- sensor piezoeléctrico
- tarjeta de sonido externa
- clavo (8 cm);
- hilo y elástico. El elástico es el equivalente al resorte elástico.



Fig. 10 – Configuración del experimento stick-slip.

Experimento

La experiencia consiste en la grabación de datos en relación con la energía acumulada en el elástico (resorte) y la energía liberada por el sismo.

Antes de iniciar el experimento verificar que:

- el sensor piezoeléctrico se fija en el bloque con un peso para fijar el sensor (en el [video](#) el operador pone dos);
- el ordenador portátil se ha desconectado de la corriente eléctrica (ya que vías de corrientes parásitas pueden interferir con el registro).
- En el menú desplegable Sismo Logic hace clic ‘Audacity for stick-slip (1ch, 16bits; 1000Hz) Local (Fig. 11)

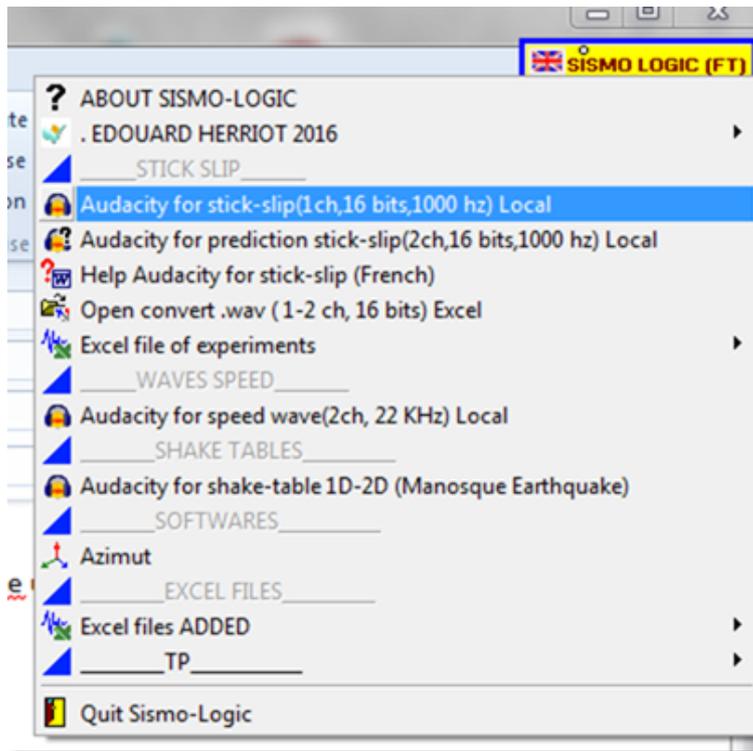


Fig. 11 – Audacity for stick-slip (1ch, 16bits; 1000Hz) Local

Se pone en marcha el taladro atornillador inalámbrico de tal manera que el sistema hilo-elástico (en línea con el bloque) comienza a expandirse. Superado un umbral de fricción estática, el bloque se moverá de un tirón (fricción dinámica) y luego volverá al estado de reposo. Si se continúa estirando el sistema hilo-elástico comenzará un nuevo ciclo. El resultado final de la adquisición stick-slip se muestra en la Fig. 12.

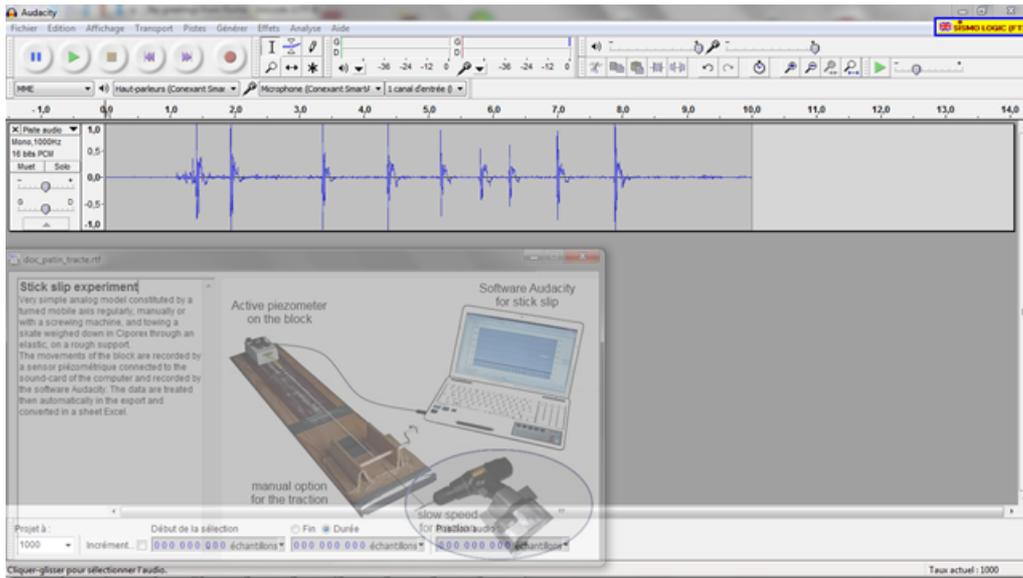


Fig. 12 – Resultado final de la adquisición. Cuando el bloque se mueve, el sensor piezoeléctrico detecta la aceleración vertical.

Al final del registro, exportar el archivo a través de Archivo / Exportar (Fig. 13). Después de haber dado el nombre al archivo .wav (el programa le pide que verifique alguna información antes de la exportación, ver detalle en la Fig. 14) el programa SISMO-LOGIC lee automáticamente el archivo (Fig. 15).

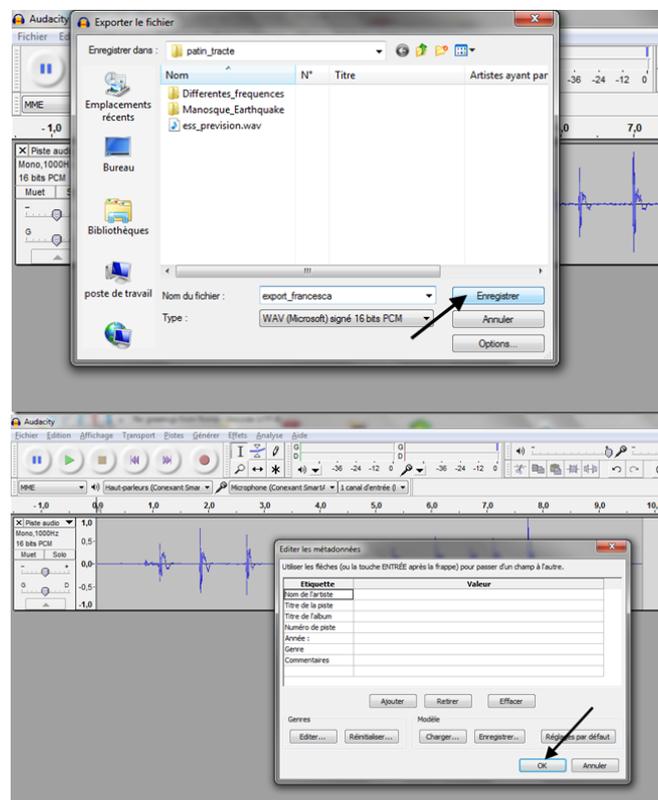


Fig. 13 – Exportación de archivos.

El gráfico permite visualizar la tendencia de la curva azul (Block energy). Esta curva describe las fases de almacenamiento de energía (fase ‘stick’) y las fases de liberación rápida (fase de slip, el terremoto). La energía liberada durante cada uno de los eventos se calcula como cuadrado del desplazamiento registrada durante los eventos de deslizamiento (proporcional a la energía cinética $\frac{1}{2} m v^2$). Es posible observar cómo la curva azul está muy lejos de la curva roja de equilibrio (energía teórica).

Si hace clic con el botón derecho se muestra un nuevo menú (Fig. 16). Si seleccionamos ‘See the correlations’.

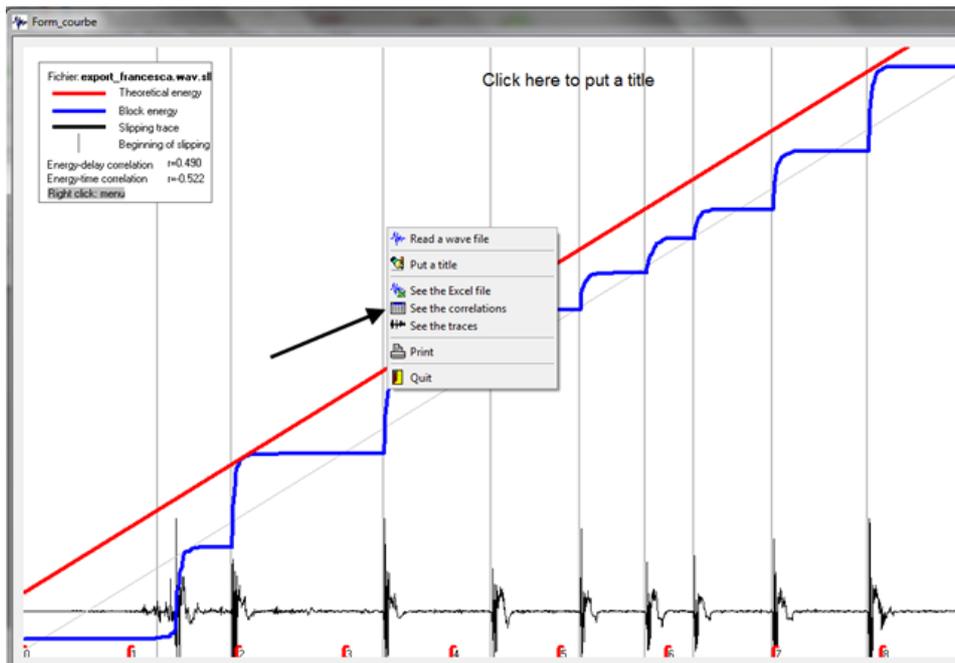


Fig. 16 – El comando para visualizar las correlaciones entre los parámetros.

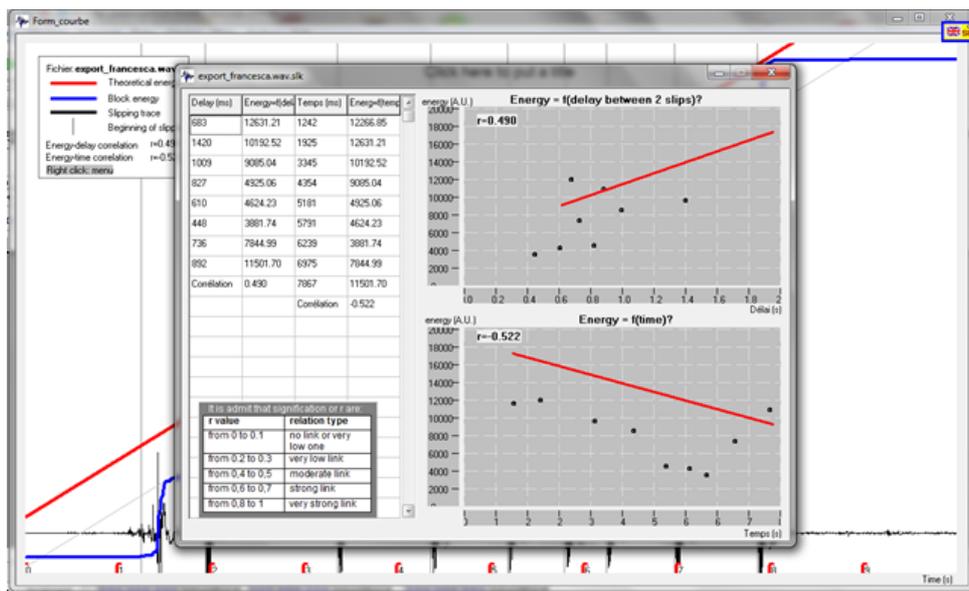


Fig. 17 – Correlaciones entre los parámetros.

Como se puede ver, la correlación entre el retraso temporal entre dos desplazamientos y la energía acumulada entre dos desplazamiento es mínima (Fig. 17). Esto significa que no existe una correlación entre la intensidad de deslizamiento y el tiempo transcurrido entre dos desplazamientos sucesivos. A veces puede ocurrir que el retraso entre dos terremotos es grande, pero el terremoto es de baja energía. O bien, puede suceder a la inversa, es decir, aún cuando el retardo entre los dos eventos es pequeño, el terremoto sea de gran magnitud. ¡Esto significa que no se puede predecir cuándo ocurrirá un terremoto ni se puede predecir la cantidad de energía que se liberará!

Los expertos del software Excel pueden visualizar los resultados con este programa (Fig. 18).

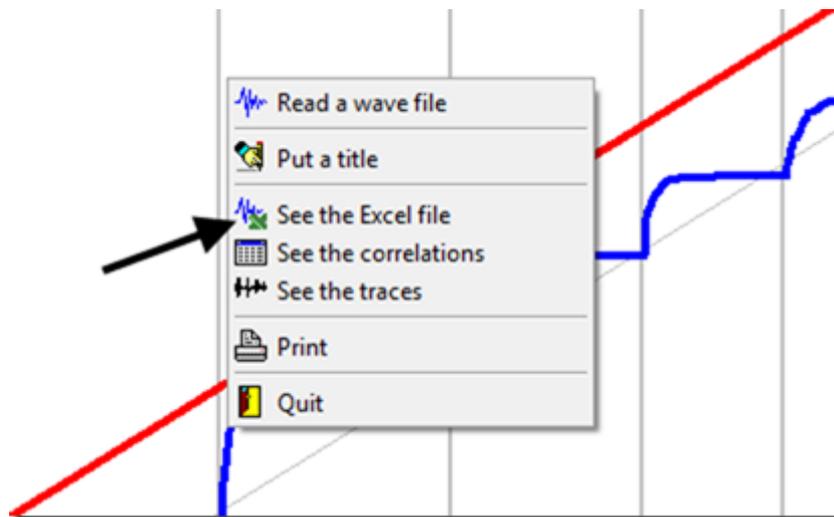


Fig. 18 – Existe la posibilidad de visualizar los resultados con Excel.

Notas

Los parámetros libres del experimento se pueden variar fácilmente mediante la adición de pesos en el bloque Syporex para cambiar su masa, mediante el uso de diferentes resortes en lugar del elástico, cubriendo la superficie de contacto del bloque con un material diferente para cambiar los valores de los coeficientes de fricción, cambiando la velocidad del atornillado de perforación, etc.

Una actividad adicional a esta experiencia, para llamar la atención a los alumnos, es utilizar el otro sensor piezoeléctrico y pedir a un estudiante que durante el experimento golpee sobre la mesa cuando piensa que el bloque se va a mover. ¡Lo más probable es que no exista correspondencia entre el bloque deslizante y el golpe del estudiante! (Fig. 19).

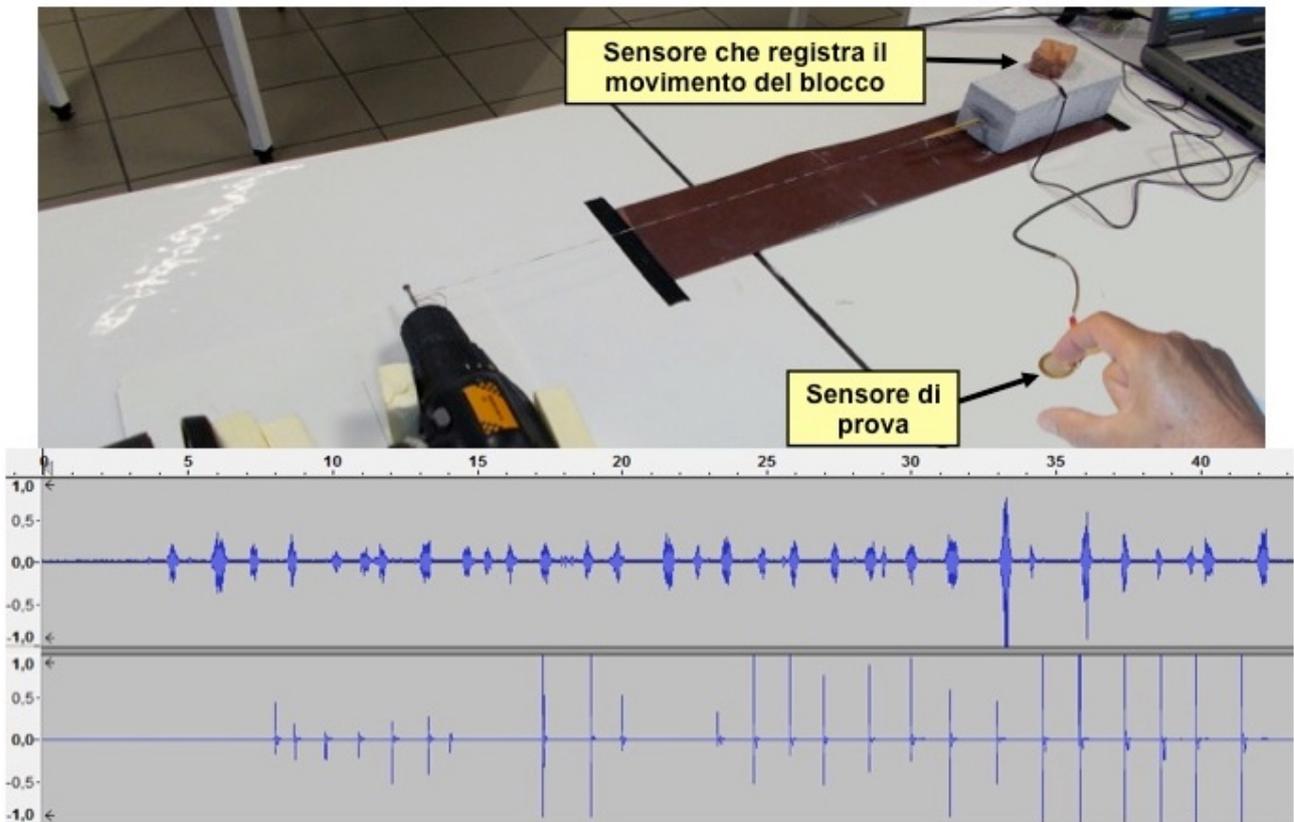


Fig. 19 – ¡Intentar predecir un terremoto con la mano! Recuerde cambiar la grabación de un canal (MONO) a dos canales (STEREO).

2. EFECTOS DEL TERREMOTO EN EDIFICIOS

Principios básicos

La respuesta dinámica de un edificio cuando se tensiona por el movimiento de tierra (suelo) generado por un terremoto es uno de los factores más importantes que controlan el daño que sufren los edificios durante un terremoto.

Cuando se genera un terremoto, el movimiento a lo largo del plano de falla libera gran cantidad de energía que viaja a través de la tierra en forma de ondas sísmicas (Fig. 20). Estas ondas pueden viajar largas distancias antes de disipar toda su energía. Cuando las ondas llegan a la superficie de la tierra, producen una sacudida de tierra. Si se produce el temblor en las zonas urbanizadas (y si la agitación es lo suficientemente fuerte), éste se trasladará a los edificios, a partir de sus bases y propagar de manera compleja y producir, en condiciones particulares, daños a los mismos.

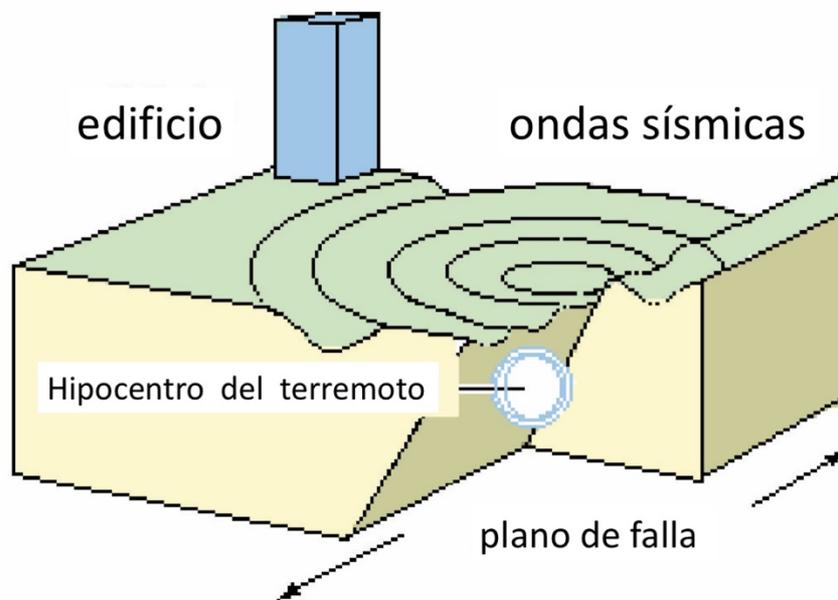


Fig. 20. Un ejemplo de cómo se genera un terremoto.

Durante un terremoto, los movimientos de tierra en la parte inferior de un edificio son complejos. Esta complejidad se debe principalmente al hecho de que las ondas (que ya no se originan en el plano de falla), antes de llegar desde el hipocentro al edificio a través de las rocas y suelos adquieren diferentes características. Por otra parte, una vez que las ondas llegan a la construcción, se someten a modificaciones adicionales en relación con las características de los terrenos de cimentación bajo el edificio.

Las características del temblor de tierra que tienen mayor relevancia para los edificios son la duración, amplitud (desplazamiento, velocidad y aceleración), la dirección de la vibración y la

frecuencia de los temblores. En particular, la frecuencia se define como el número de ciclos completos de vibración realizados por la onda en un segundo y una longitud de onda completa (Fig. 21). La frecuencia se mide en Hertz (Hz); si dos ondas pasan completas en un segundo, la frecuencia es de 2 Hz.

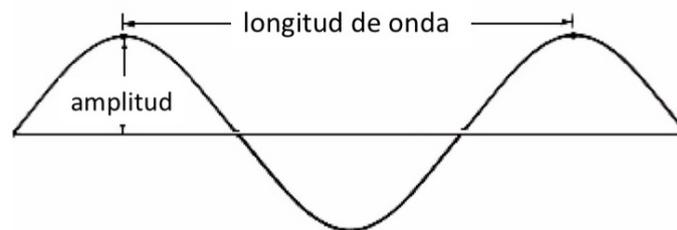


Fig. 21. Forma simplificada de una onda sísmica.

La respuesta de los edificios a un temblor de tierra es tan compleja como el temblor en sí. El edificio empieza a vibrar, con una distribución de sus frecuencias. Sin embargo, las vibraciones del edificio tienden a distribuirse alrededor de una frecuencia específica, conocida como la frecuencia natural o la frecuencia fundamental.

En general, cuanto más bajo sea el edificio, más alta es su frecuencia natural, y cuanto más alto es un edificio, menor es su frecuencia natural. A menudo se habla también del período natural del edificio, que es la inversa de la frecuencia. La frecuencia es el número de veces por segundo que un edificio vibra hacia atrás y adelante, el período es el tiempo necesario para que el edificio haga una vibración completa.

Cuando se habla de período, por lo tanto, cuanto mayor sea un edificio, mayor es su período y vice versa. Hay una regla que estima el período de oscilación de los edificios (T) en relación con el número de pisos (n) del edificio:

$$T = 0.1 n$$

Esto implica que cuantos más pisos tiene un edificio, más largo es su periodo de oscilación. Por ejemplo, un edificio de 10 pisos tendrá un período de oscilación de 1 segundo mientras que un edificio de 5 pisos tendrá su propio período de oscilación de 0,5 segundos.

(Para más información sobre los efectos de los terremotos en edificios, se pueden consultar los sitios:

<http://mceer.buffalo.edu/infoservice/Education/educationOutreach.asp>; <http://www.iris.edu/hq>).

2A. La resonancia de edificios

Principios básicos

Cada edificio, en función de su estructura, se caracteriza por una frecuencia de oscilación específica f (o de un período de oscilación T) que depende de su forma y sus dimensiones, especialmente su altura L . Cuando la distribución de frecuencias (o períodos) de la onda que genera el temblor coincide con la frecuencia (período) natural del edificio, se produce el fenómeno de la resonancia y el edificio comienzan a oscilar, pudiendo provocar graves consecuencias para su estabilidad.

Un ejemplo claro de esto ocurrió en la Ciudad de México durante el terremoto del 19 de septiembre de 1985. A pesar de que el epicentro del terremoto estaba a cientos de kilómetros de la ciudad, ésta sufrió un daño masivo. En particular, la mayor parte de los edificios que se derrumbaron durante el terremoto fueron los edificios con varios pisos, entre 5 y 15 pisos. Edificios más altos (o inferiores) y con diferentes características de frecuencia no fueron destruidos, aunque éstos estuvieran situados cerca de los edificios destruidos. Los edificios colapsaron debido a que entraron en resonancia con la distribución de sus frecuencias de terremotos (que a esa distancia del hipocentro se centró en las frecuencias bajas) y es por eso que fueron destruidos.

Para explicar la resonancia, cuando hay un terremoto, la onda de superficie se propaga siguiendo un patrón sinusoidal. En el momento en que la onda pasa a través del edificio, siendo esto anclado al suelo a través de sus bases y siendo de dimensiones finitas, no permite que la onda se propague, causando un incremento de la amplitud y una oscilación en el edificio (Fig. 22).

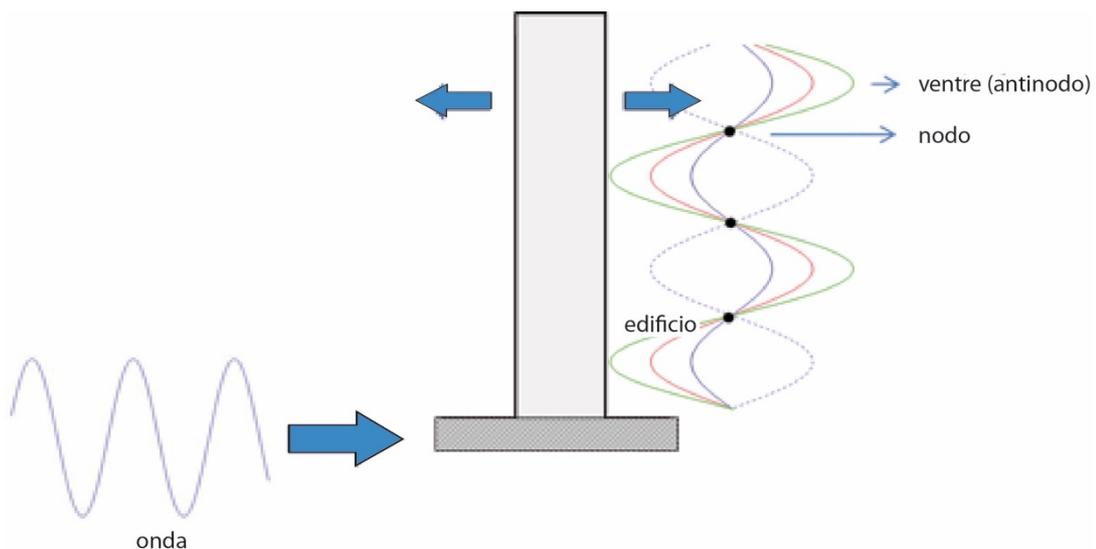


Fig. 22. Ondas estacionarias y resonancia

Se genera una onda estacionaria (standing wave), una onda que no se propaga en el espacio, pero permanece localizada, en nuestro caso en el edificio. En particular, observe los puntos que no fluctúan en función del tiempo, los nodos, y desde puntos en los que la oscilación es siempre máxima, los antinodos (o vientres) (Fig. 22).

La frecuencia de resonancia, y por lo tanto la manera en que un edificio puede oscilar, depende de su altura L . En particular, el fenómeno de oscilación se produce cuando la longitud de onda de la perturbación se aproxima a la longitud del edificio. Dada la relación inversa entre la longitud de onda y la frecuencia se puede deducir que:

- altas frecuencias, y por lo tanto bajas longitudes de onda, son potencialmente dañinas para edificios de baja altura;
- Las bajas frecuencias, y por lo tanto grandes longitudes de onda, son potencialmente perjudiciales para los edificios más altos.

Objetivo de la experiencia

Mostrar el fenómeno de resonancia de los edificios mediante la relación de la variación de la frecuencia con la diferente respuesta sísmica de edificios de diferentes alturas.

¿Qué es lo que tomamos de la caja?

De el Kit es necesario tomar (Fig. 23):

- 1) Taladro inalámbrico
- 2) Soporte para el taladro
- 3) pequeña varilla para la transmisión
- 4) Excéntrico
- 5) mesa de vibración con varillas de madera (x 2)
- 6) base de poliestireno para el establecimiento de los edificios
- 7) 3 edificios de diferentes alturas
- 8) piezas de caucho necesarios para bloquear el movimiento excéntrico (amplitud de la sacudida).

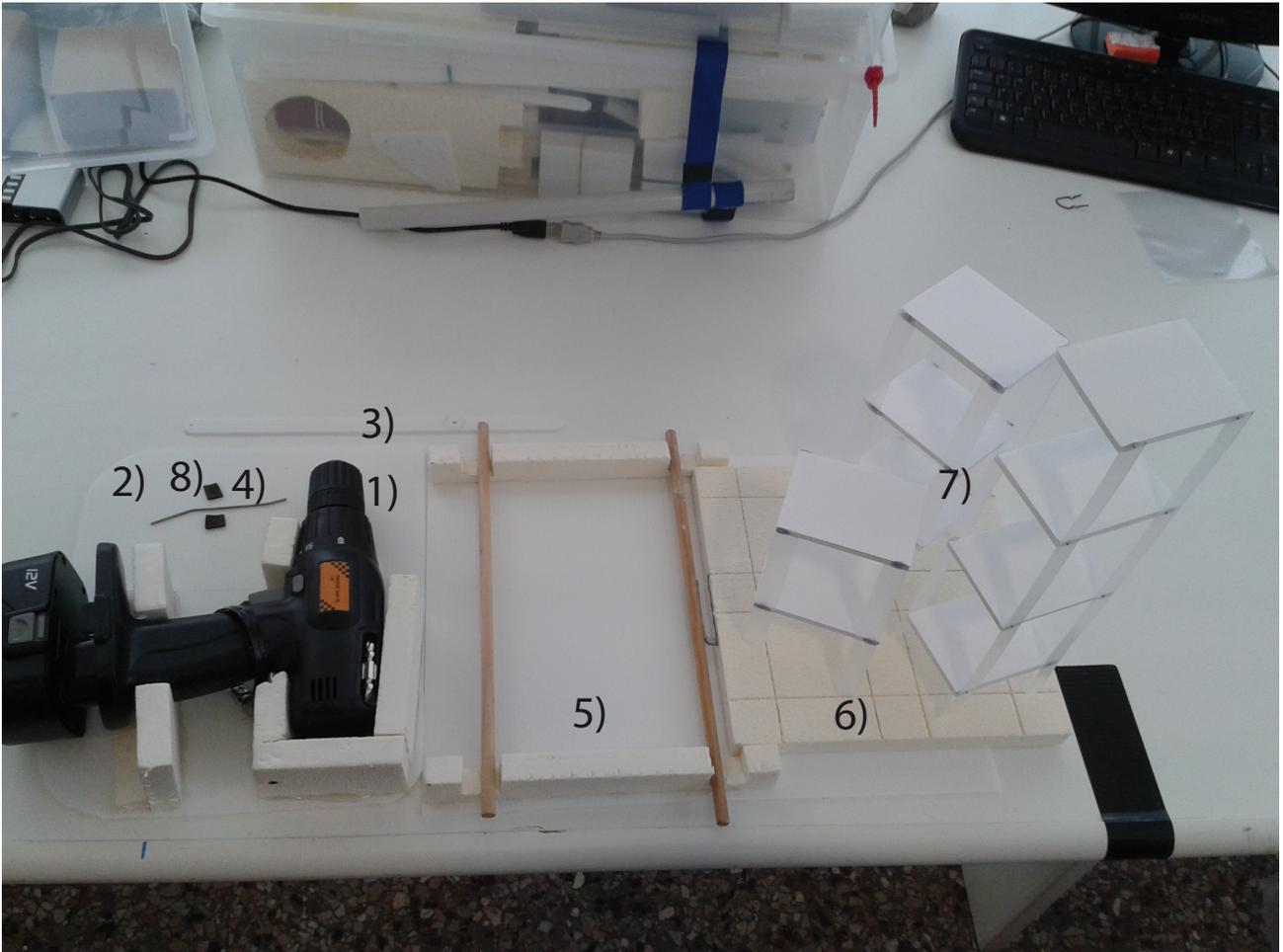


Fig. 23. Materiales necesarios para el experimento de la resonancia de edificios.

Experimento

Antes de comenzar el experimento, debe asegurarse de que los diferentes componentes del kit están dispuestos adecuadamente (Fig. 24). En particular:

- el soporte del taladro debe ser fijado a la mesa con cinta adhesiva;
- asegurarse de que la varilla de transmisión está firmemente unida a la excéntrica de tal manera que no cambie la amplitud de la sacudida (esto se hace con las piezas de caucho); la amplitud de la sacudida se puede cambiar moviendo la transmisión a lo largo de la excéntrica (más cerca o más lejos de el taladro);
- la batería del taladro no está completamente insertada en el taladro de tal manera que puede ser encendido y apagado jugando con el movimiento de la batería (ver figura 24);
- la mesa de vibración se debe colocar en la mejor ubicación (en función de la varilla de transmisión entre el taladro y la mesa vibratoria), y se sujeta a la mesa con cinta adhesiva;
- para asegurar los edificios de la mesa vibratoria se puede poner un poco de cinta adhesiva sobre los "cimientos" (detalle en la Fig. 24).

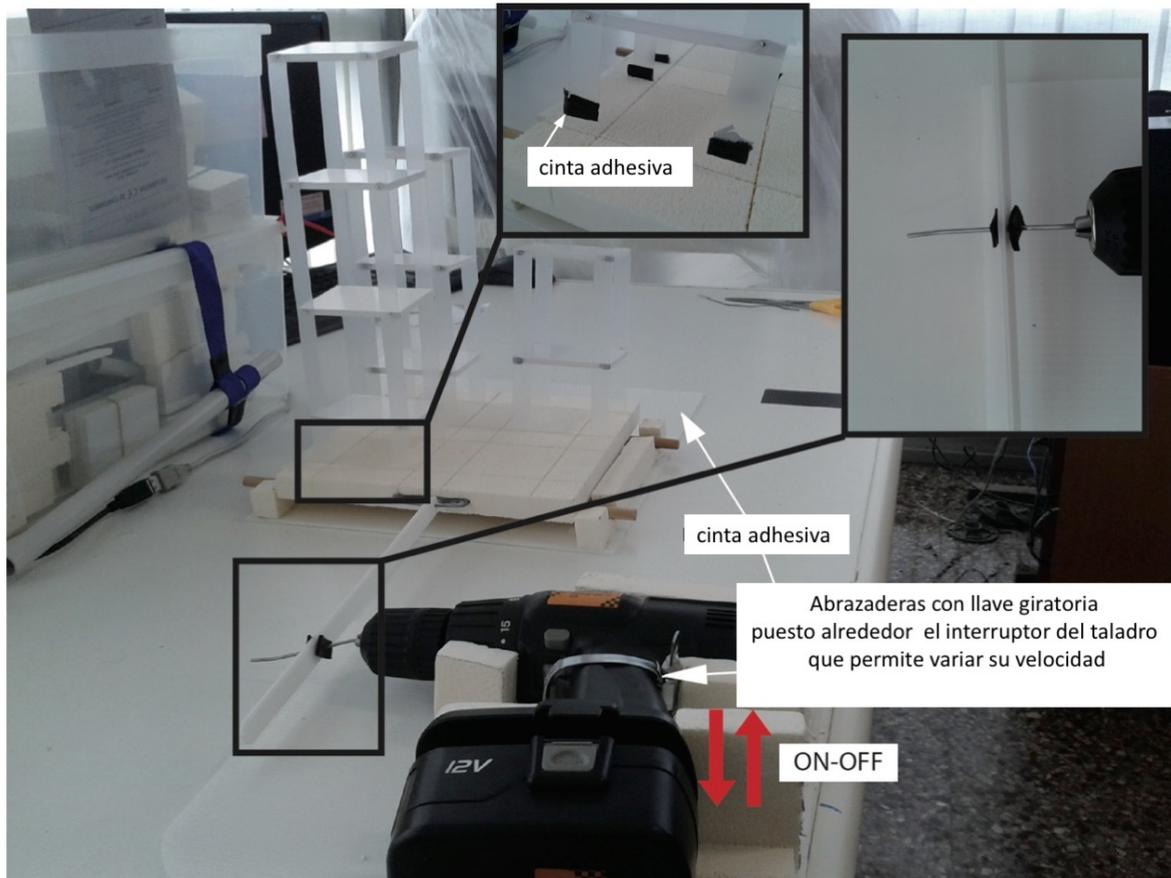


Fig. 24. Configuración apropiada para el experimento de la resonancia de edificios.

Se procede a la prueba experimental que consiste en hacer funcionar el taladro atornillador a diferentes velocidades (aumentando o disminuyendo) y observar el comportamiento de los edificios individuales. La variación de velocidad corresponde a la variación de la frecuencia de la sacudida. Durante el experimento es posible observar cómo el edificio más alto (4 pisos) vibra más a bajas velocidades (frecuencias más bajas), el edificio intermedio (3 pisos) vibra más a velocidades intermedias (frecuencias medias), mientras el edificio más bajo (2 pisos) vibra a más alta velocidad (frecuencia más altas).

¡Observe los nodos y vientres (anti nodos) en diferentes edificios durante el experimento! Para ver el video haz clic [aquí](#).

2B. Efectos de sitio

Las ondas sísmicas que se propagan durante un terremoto viajan a una velocidad determinada. Cuando, durante su camino, pasan de rocas duras (roca madre) a los depósitos poco o nada consolidados (como por ejemplo los depósitos aluviales de un río), lo que sucede, para almacenar la energía transmitida, es que la velocidad de estas ondas disminuye drásticamente, pero al mismo tiempo, aumenta fuertemente la amplitud de sus oscilaciones. Se habla de **efecto de sitio**, que es uno de los factores de riesgo más peligrosos en las zonas que se caracterizan por este tipo de depósitos (Fig. 25).

El ejemplo del terremoto que sacudió a la Ciudad de México en 1985 (como se informó en el experimento de resonancia), describe muy bien el fenómeno del efecto de sitio (siempre conectado con el concepto de resonancia cuando se habla de los edificios). Esta ciudad, de hecho, está a cientos de kilómetros del epicentro del terremoto que sacudió el centro de México en 1985. A pesar de esta considerable distancia, 800 edificios colapsaron. Estudios geológicos mostraron evidencias de que la mayor parte de la Ciudad de México está construida en un cuenca de un antiguo lago hecho de depósitos poco consolidados. Cuando las ondas llegaron a estos depósitos, disminuyó bruscamente su velocidad aumentando la amplitud y causando una fuerte sacudida en los sedimentos. Además, la frecuencia de sacudida de estos suelos poco consolidados era muy similar a la de los edificios de 10 pisos, que resultaron los más dañados por el terremoto. Esto sucedió porque la frecuencia de resonancia de la tierra y la del edificio que se encuentra encima son iguales.

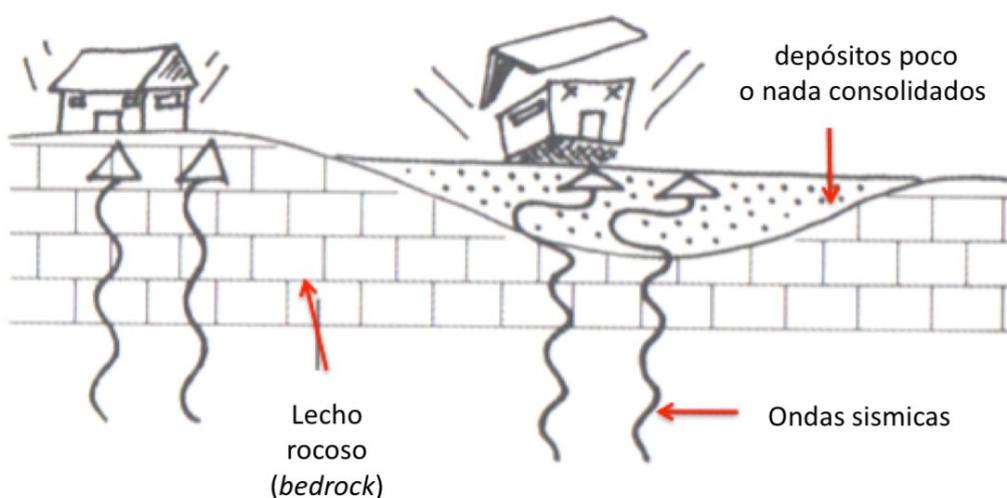


Fig. 25 Efecto de sitio (Terremoto e rischio sismico (ISBN: 978-88-230-1803-7).

¿Qué es lo que tomamos de la caja?

El material requerido es (Fig. 26):

1. Taladro inalámbrico
2. Soporte para el taladro
3. pequeña varilla para la transmisión
4. Excéntrico
5. piezas de caucho necesarias para bloquear el movimiento del excéntrico (amplitud de la sacudida).
6. mesa de vibración con varillas de madera (x 2)
7. Elemento que "simula" la presencia de sedimentos poco consolidados (por ejemplo, los depósitos aluviales)
8. base de poliestireno para el establecimiento de los edificios
9. 3 edificios de diferentes alturas

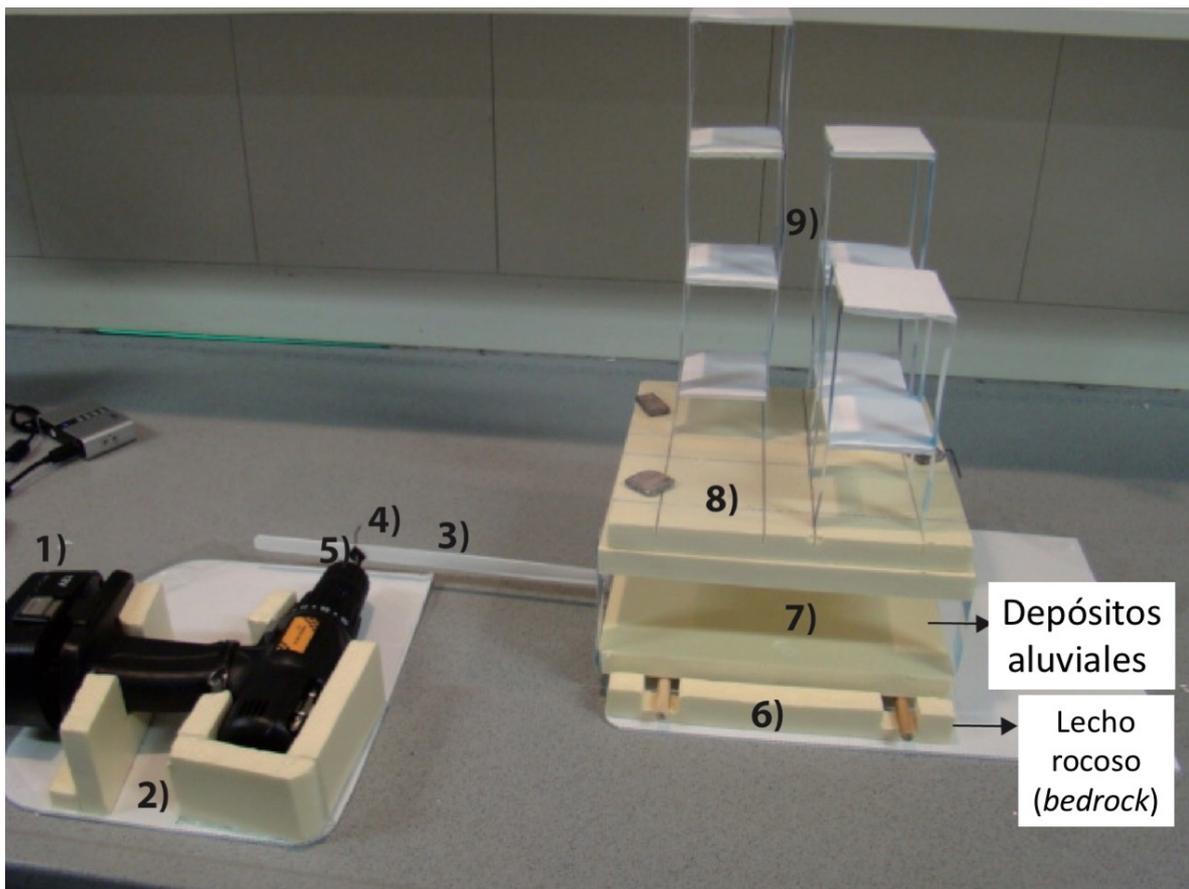


Fig. 26. Experimento de los efectos de sitio.

Experimento

El procedimiento experimental es muy similar al del experimento de la resonancia. La diferencia consiste en la configuración ya que en este experimento se añade un elemento (depósitos aluviales) entre la mesa vibratoria y la base de los edificios (Fig. 26).

Se opera el taladro atornillador, a partir de la velocidad máxima (de alta frecuencia). La variación de velocidad corresponde a la variación de la frecuencia de la sacudida. Durante el experimento, será posible observar cómo, al disminuir la velocidad (frecuencia), primero se sacude el edificio más bajo (de 2 pisos), después el intermedio (3 pisos), y luego el edificio de más altura (4 pisos).

Al mismo tiempo que oscila el edificio de 4 plantas, comienza a oscilar el elemento «depósitos aluviales», lo que indica que la frecuencia de resonancia de la tierra es exactamente la que se consigue con la velocidad del taladro inalámbrico. En este punto, las oscilaciones son muy fuertes y todos los edificios se desestabilizan, debido a la fuerte sacudida de la tierra que está en resonancia. Para ver el video haga clic [aquí](#).

2C. La licuefacción de suelo

Principios básicos

El término "licuefacción" se refiere a la pérdida de resistencia en un suelo saturado en agua (generalmente de arena o arena/arcilloso), monogranular y no cohesivo, como resultado de las vibraciones horizontales de la tierra producida por un terremoto.

La licuefacción es uno de los fenómenos más evidentes que pueden ser provocados por un terremoto en las zonas cuyos suelos consisten en depósitos de arena y/o suelos franco arenosos (tales como las llanuras de inundación o zonas costeras). En estos depósitos, por lo general poco consolidados y saturados en agua (que es incompresible), el temblor relacionado con un terremoto puede causar la transformación del suelo desde el estado sólido al líquido, con graves consecuencias en caso de presencia de edificios ubicados en este suelo. Esto por lo general se lleva a cabo cuando, por el efecto de las tensiones cortantes inducidas por la propagación de las ondas sísmicas, la presión del agua en los poros del suelo, la presión intersticial, aumenta gradualmente hasta ser igual a la presión total de confinamiento, es decir cuando los esfuerzos efectivos a expensas de esqueleto sólido del material, que determinan la resistencia al cizallamiento, se reducen a cero.

Los suelos susceptibles a la licuefacción son por lo tanto aquellos en los que la resistencia a la deformación se lleva a cabo solamente por la fricción entre las partículas, y luego los suelos sueltos (arenas y limos). El agua se elimina entre un grano y el otro y se eleva a la superficie (Fig. 27).

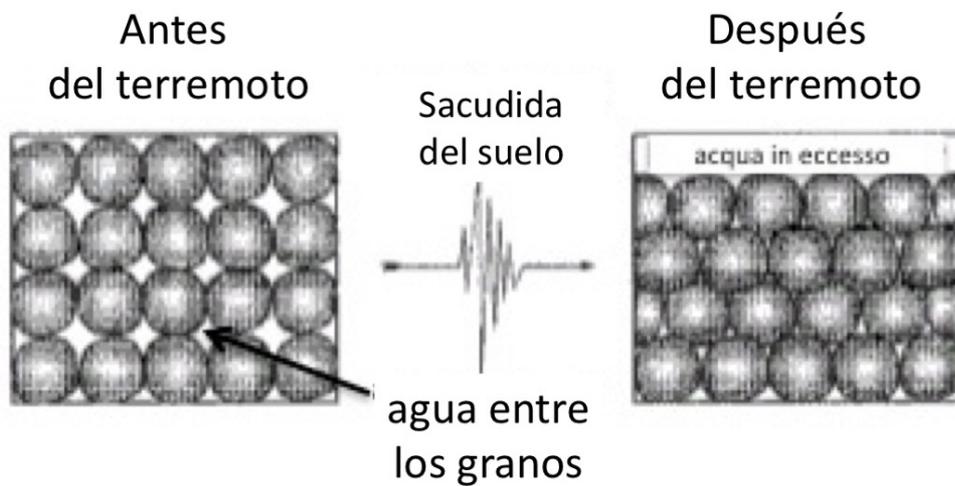


Fig. 27 El fenómeno de la licuefacción

¿Qué es lo que tomamos de la caja?

De el kit es necesario tomar (Fig. 28):

- 1) Taladro inalámbrico y su soporte
- 2) Excéntrico
- 3) pequeña varilla para la transmisión
- 4) box para la arena
- 5) bloque de syporex
- 6) mesa de vibración
- 7) soporte con gancho para poner el box de arena
- 8) varillas de madera
- 9) Arena

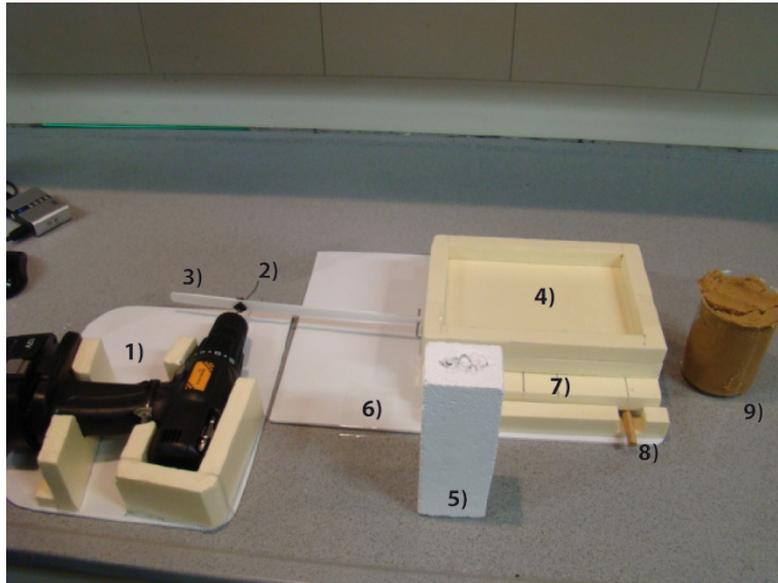


Fig. 28. *Materiales necesarios para el experimento de licuefacción de suelos.*

Experimento

Debe llenar la caja con la arena totalmente saturada en agua (el agua no debe escapar de la arena, pero al mismo tiempo, la arena debe estar completamente mojada y saturada). Debe tener el bloque syporex encima de la arena. Si se intenta empujar el bloque verticalmente se dará cuenta que no se hunde y que es estable frente al esfuerzo vertical. Si se pone en marcha el taladro atornillador con una velocidad media-baja (figura 29a), el esfuerzo horizontal producido en el suelo hace cero la resistencia al cizallamiento. El suelo ya no es capaz de mantener el bloque (la casa). Tenga en cuenta que el agua está subiendo a la superficie después del temblor de la tierra (Fig. 29b). Para ver el video haga clic [aquí](#).

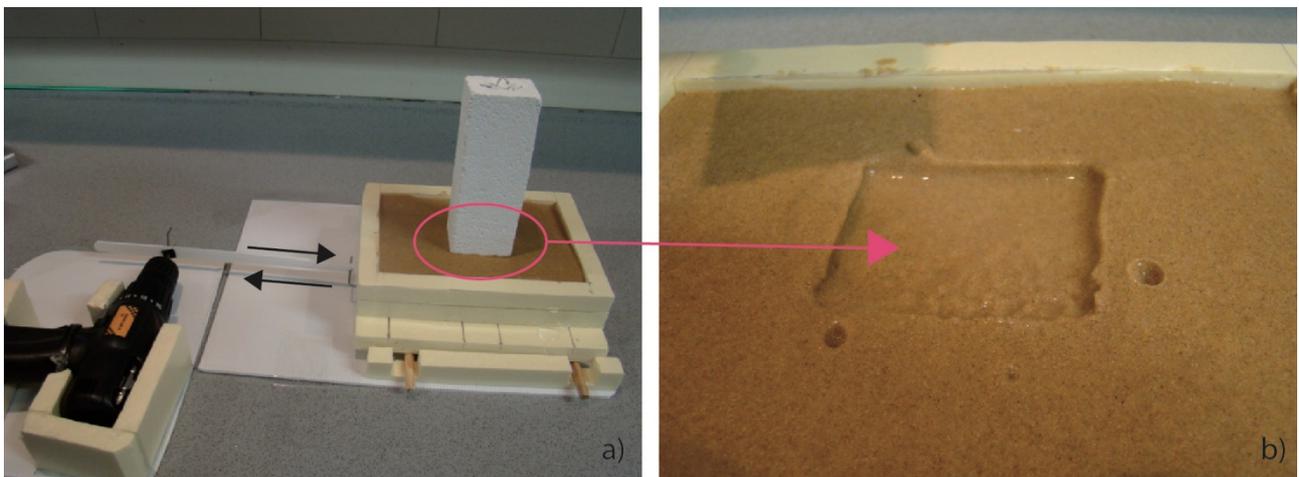


Fig. 29. *Experimento de licuefacción de suelos.*

2D. La estabilidad de los edificios

Principios básicos

En una zona afectada por un terremoto, se observa como los edificios que han sufrido el mismo temblor, presentan diferentes daños. Como hemos visto, cada edificio responde de manera diferente a las tensiones sísmicas, tanto por el tipo de construcción como por la naturaleza del terreno sobre el que se construye.

Estos elementos se combinan para definir la **vulnerabilidad** sísmica, que se evalúa como la propensión de los edificios a dañarse después de un evento sísmico. Si la vulnerabilidad se combina con el peligro sísmico se define el riesgo sísmico. No debe confundirse el concepto de riesgo sísmico con el de peligro sísmico, que mide la probabilidad de que se produzca una cierta aceleración del suelo por causas sísmicas. Mientras que los humanos no pueden intervenir en la peligrosidad sísmica debido a que el peligro está relacionado con la configuración geológica de una zona (y por lo tanto la fuerza de la naturaleza que genera terremotos), el hombre puede intervenir en la vulnerabilidad y de este modo disminuir el riesgo sísmico.

Objetivos de la experiencia

Los objetivos de los experimentos propuestos son principalmente dos:

- 1) entender que, para la misma energía liberada por un terremoto, los edificios sísmo resistentes son más seguros que edificios construidos de forma inadecuada.
- 2) comprender la importancia de las características geológicas de los terrenos de base en la estabilidad de los edificios.

2D.1 Edificios construidos de diferentes maneras

¿Qué es lo que tomamos de la caja?

Es necesario tomar (Fig. 30-31):

- 1) varillas de polipropileno alveolares (8) para la construcción de dos edificios de 4 pisos
- 2) planos de cartón pluma (8) para la construcción de 2 edificios de 4 pisos
- 3) hilo
- 4) clavos con una cabeza esférica (o similar) (Fig. 30 e 31)
- 5) edificio de 4 pisos ya contenida en el Kit
- 6) 4 tiras del mismo material (plástico transparente) del edificio de 4 pisos contenidas en el kit para construir un edificio de 4 pisos sin muros de carga
- 7) planos de cartón pluma (4) para la construcción de 1 edificio sin muros de carga
- 8) pequeñas pesas para 'estabilizar' edificios.

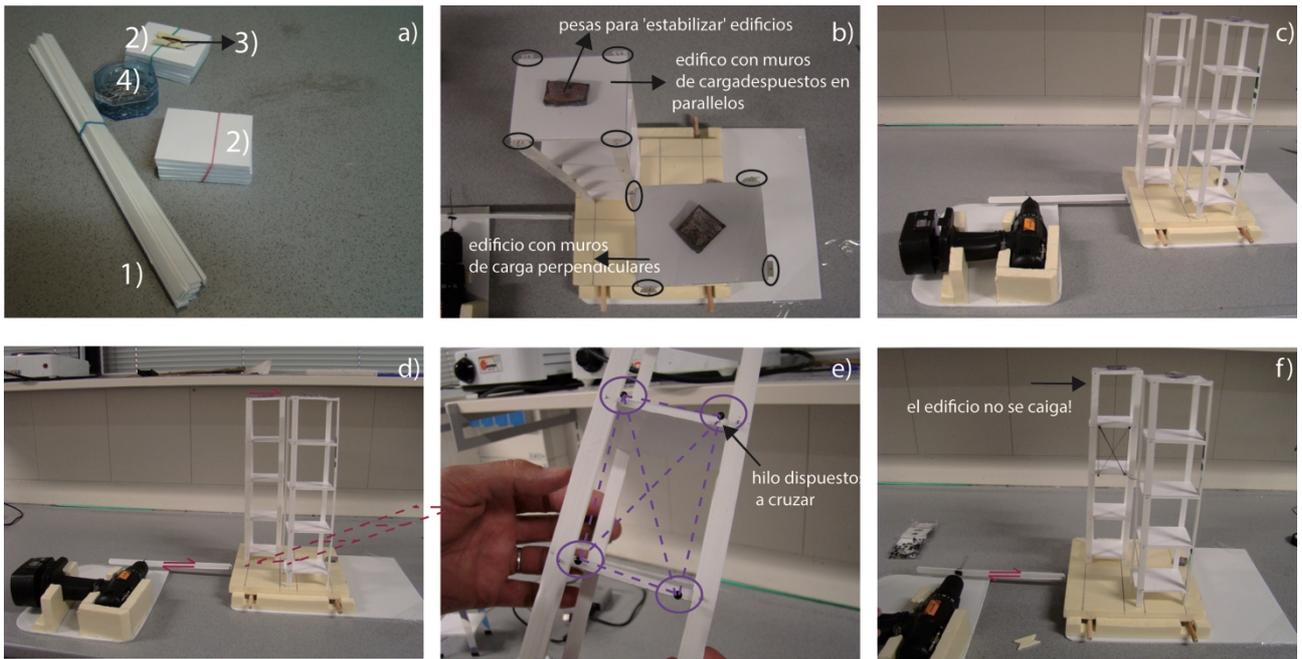


Fig. 30. Experimento con dos edificios de 4 plantas cada uno, uno con los muros de carga perpendiculares y uno con muros de carga dispuestos en paralelo. Para ver el video haga clic [aquí](#).

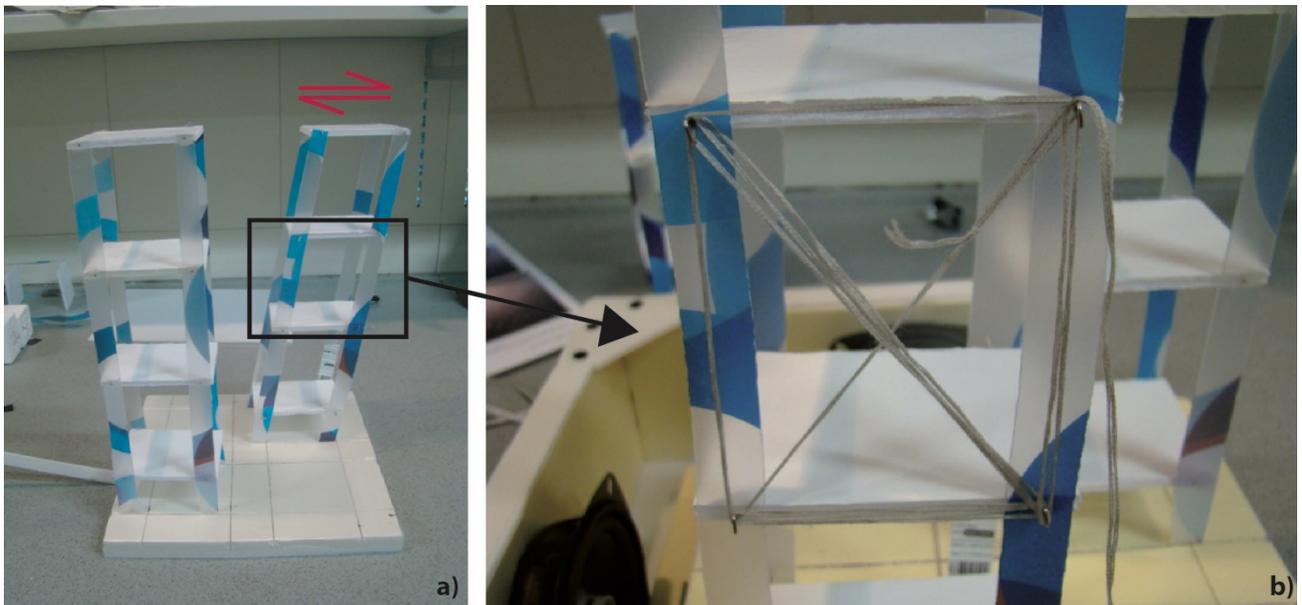


Fig. 31. Experimento con dos edificios de 4 pisos, uno con muros de carga y otra sin muros de carga (el más adecuado en la Fig. 31a). Los edificios están hechos con las 'paredes' paralelas a la dirección de movimiento de la mesa vibratoria. Para ver el video haga clic [aquí](#).

Experimento

Se procede a construir los edificios utilizando el material tomado del kit para obtener los edificios que se muestran en las Figuras 30 y 31 (sólo los edificios de 4 pisos). Los edificios están dispuestos en la base (compartidos por los dos métodos diferentes de la realización del experimento). En el caso de los dos edificios con muros de carga dispuestas de una manera diferente, ver Fig. 30. En el caso de los dos edificios, uno de los cuales no hay muros de carga, ver Fig. 30.

Cuando se induce una vibración a los edificios se dará cuenta de las siguientes cosas:

- en el experimento con muros de carga dispuestos de manera diferente, mientras el edificio con paredes en ángulo recto queda en pie, aquel con las paredes colocadas paralelas se cae.
- de la misma manera, en el experimento con un edificio sin muros de carga, éste caerá al primer estrés, mientras que el otro permanecerá firmemente de pie.

Este comportamiento muestra como los edificios caídos no se construyen para que tengan una resistencia a la cizalla necesaria para soportar el temblor inducido por el paso de las ondas sísmicas. Repetir estos experimentos varias veces con el fin de verificar que los dos edificios sin apoyo se caen sistemáticamente. A continuación, intervenimos "estructuralmente" en estos dos edificios de la siguiente manera.

Se coloca un refuerzo, representada por el hilo contenido en el kit. El hilo se coloca cruzando entre las dos paredes tay y como se muestra en las figuras 30 y 31. Este procedimiento garantiza que los edificios se endurezcan y adquieran resistencia a los esfuerzos que van a ser impartidos de nuevo. Se puede observar, que reproduciendo de nuevo el experimento, y aplicando una nueva tensión a los edificios, todos ellos resistirán de pie, lo que confirma que la intervención estructural ha traído una mayor estabilidad a la estructura. Este tipo de intervención es común en los edificios que deben soportar los esfuerzos inducidos por los terremotos (Fig. 32).



Fig. 32. Ejemplo de intervención estructural para fortalecer los edificios sometidos a estrés sísmico.

2D.2 ¡‘Amortigua’ el terremoto!

Uno de los criterios sísmicos utilizado durante años en Japón es el aislamiento sísmico. Simplista, el **aislamiento sísmico** consiste en una colección de elementos estructurales para separar una superestructura del edificio del terreno donde se asienta. La separación no es total pero disminuye en gran medida el efecto del terremoto en la estructura aislada.

El aislamiento sísmico ofrece muchos beneficios, tales como la protección contra el daño de las estructuras de soporte, paredes, pisos, y en especial de los humanos.

¿Qué es lo que tomamos de la caja?

El material requerido es (Fig. 33):

- 1) Taladro inalámbrico
- 2) Soporte para el taladro
- 3) pequeña varilla para la transmisión
- 4) Excéntrico
- 5) piezas de caucho necesarios para bloquear el movimiento excéntrico (amplitud de la sacudida).
- 6) mesa de vibración con varillas de madera (x 2)
- 7) Soporte para el aislamiento sísmico con los dos tubos
- 8) 3 edificios de diferentes alturas

Además, se debe tener la base de poliestireno para fijar los edificios (no se muestra en la Fig. 33).

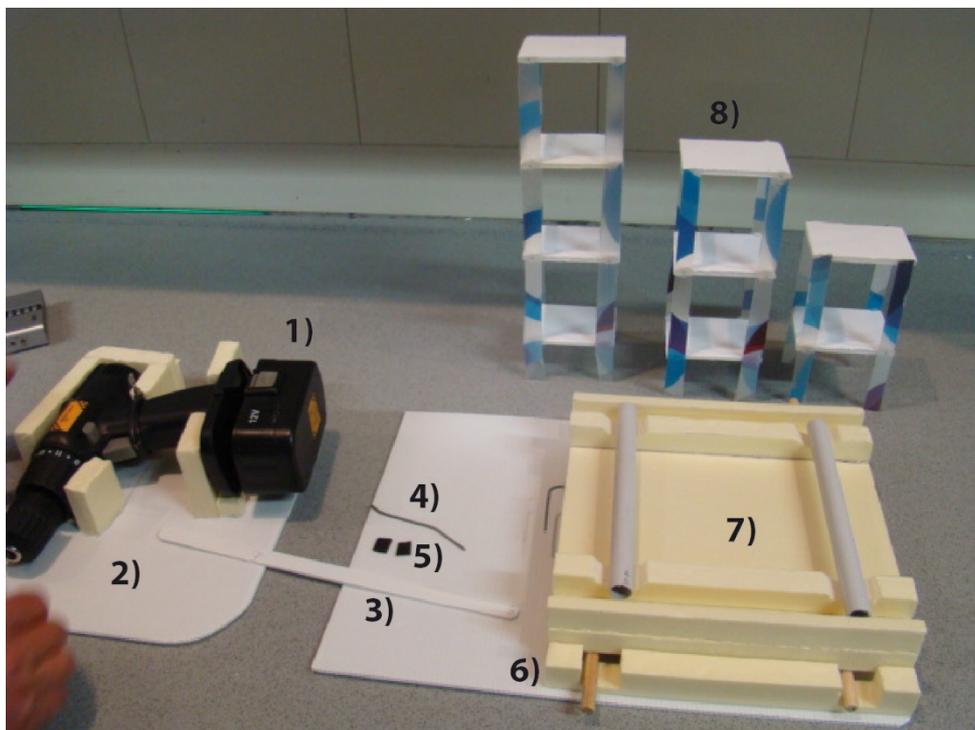


Fig. 33. Material requerido para el experimento en lo aislamiento sísmico.

Experimento

El Procedimiento experimental es muy similar a la del experimento 2A. La diferencia consiste en que en este experimento se añade un sistema de amortiguación (o amortiguamiento) (sistema de aislamiento) entre la mesa vibratoria y la base de los edificios (Fig. 34).

Al iniciar el experimento, se podrá observar que los edificios se balancean pero el sistema de amortiguación reduce el efecto del terremoto en la estructura aislada [aquí](#).

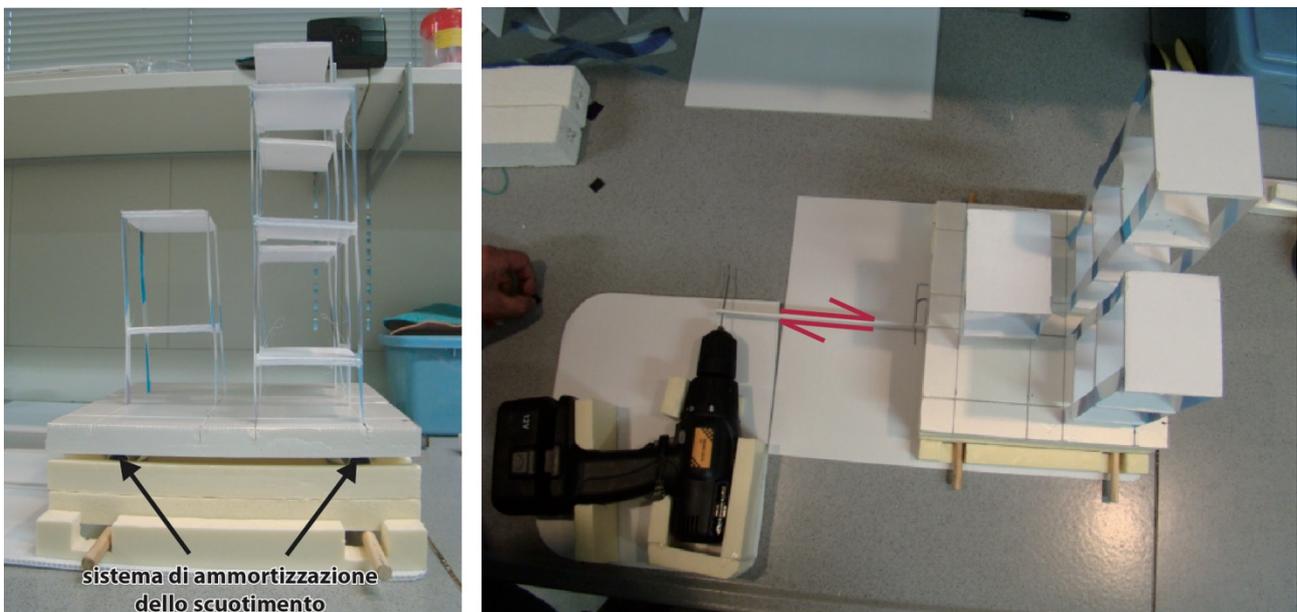
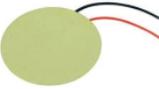


Fig. 34. Configuración de la instrumentación para el experimento del aislamiento sísmico. Tenga en cuenta que el sistema tiene su frecuencia de resonancia. Así que hay que encontrar una frecuencia con el taladro atornillador que no sea la misma que la del sistema que amplifica el movimiento, ¡pudiendo producir el efecto contrario!)

APÉNDICE A1: CÓMO CONSTRUIR UN SISMO-BOX (DO IT YOURSELF!)

A1.1 MATERIAL NECESARIO

<p>poliestireno extruido (espesor 2 cm) cantidad: 125x60 cm</p>	
<p>Carton Pluma (espesor 5 mm) cantidad: hoja 50x70 cm</p>	
<p>panal de policarbonato (espesor 3 mm) cantidad: 80x120 cm</p>	
<p>Láminas de plástico translúcido cantidad: 50x70 cm</p>	
<p>Tubo de plástico rígido (Ø 20 mm) cantidad: 2m</p>	
<p>Tubo de plástico rígido (Ø 16 mm) cantidad: 2m</p>	
<p>Bandas de goma de diferentes tamaños</p>	
<p>Plomo de pesca perforado (75 g) cantidad: 1</p>	
<p>Goma elástica de pesca (0.8/1 mm) cantidad: 20-30 cm</p>	
<p>papel de lija (tamaño 120) cantidad: 1 m</p>	
<p>Alfileres</p>	
<p>Alfileres con cabeza esférica</p>	
<p>cinta 'americana'</p>	

Cinta aislante	
hormigón celular (Syporex) (h: 5cm) cantidad: 1 bloque	
Tapones de plástico (Ø = 4 cm) cantidad: 5	
canicas de cristal (Ø = 16 mm) cantidad: 12	
vara de madera redonda (tilo/madera de haya) Ø = 8/9 mm cantidad: 100 cm	
perno con cabeza avellanada (con tuercas) cantidad: 1 perno y 2 tuercas	
Escuadra de metal (80x80 mm; espesor = 2cm) cantidad: 2	
Arandela (Ø = 20 mm) cantidad: 1	
Tornillo con ojal (Ø = 2.5 mm x 10 mm) cantidad: 1	
Alambre (Ø = 2 mm)	
Tornillos 3.5mm x 50 mm (cantidad: 2) Tornillos 3.5mm x 25 mm (cantidad: 20)	
Pasadores 7 mm x 35 mm (para tornillos 3.5mm x 50 mm) cantidad: 20	
Tornillo de cabeza hexagonal (5mm x 50 mm) cantidad: 1	
Clavos 3.5 x 80 mm Clavos 1.4 mm x 25 mm cantidad: 2 por especie	
Abrazadera de manguera Ø = 32-50 mm Cantidad: 1	
Sensor piezoeléctrico Cantidad: 2	
Cable Jack Conector 3.5 mm (extremo de cable abierto) Cantidad: 2	
Alambre de cobre ultra fino (0.15 mm) para la construcción de la bobina Cantidad: 1	

Pequeños imanes permanentes ($\varnothing = 8\text{mm}$; $h = 5\text{mm}$) Cantidad: 2-3	
Tarjeta de sonido externa (en la imagen USB Sweex 7.1) Cantidad: 1	
Amplificador Hi-Fi (en la imagen Dynavox CSPA1) Cantidad: 1	
Altavoces para coche (en la imagen Speaka) Cantidad: 2	
Conexión tarjeta de sonido-Amplificador Cantidad: 1	
Taladro inalámbrico con velocidad ajustable Cantidad: 1	
caja de plástico (35 litros; $L = 58\text{cm}$; $l = 40\text{ cm}$; $h = 19\text{ cm}$) Cantidad: 1	
Correas de amarre Cantidad: 2	

Además, es necesario tener algunas herramientas para la realización de las diferentes partes del kit (probablemente son herramientas que ya están presentes en los laboratorios escolares).

Pistola de pegamento caliente		
Cortador y sierra		
Mini soldador de estaño		

A1.2 CONSTRUCCIÓN DE COMPONENTES DE LA SEISMO-BOX

ACCESORIOS DEL SISMOMETRO

Construcción de la bobina

Para la realización de la bobina es necesario:

- Alambre de cobre ultra fino (0.15 mm)
- Tubo de plástico rígido (Ø 16 mm)
- 1 Cable Jack Conector da 3.5 mm (mono o stereo)
- Pistola de pegamento caliente
- Periódico
- Cinta aislante
- Tijeras
- Taladro inalámbrico
- Un accesorio que permita enrollarse la bobina (foto 5 Fig. A1.2_1 y texto)

Para la realización de la bobina, siga las instrucciones que aparecen en la Fig. A1.2_1. Es recomendable realizar una bobina con un alto número de vueltas (aproximadamente 2000).

Para construir la bobina toma el tubo rígido (Ø 16 mm) con una altura de 4 cm (1). Se fabrican bordes pegando el tubo en un periódico con pegamento caliente (2), y cortando el exceso de papel (3). Se fija, siempre con cola caliente, a un extremo del tubo el comienzo del hilo de cobre (4). A través de un instrumento hecho a mano (el que está en 5 está hecho con una madera molida fijada a un clavo para ser insertado en el controlador de taladro) la bobina se fija al taladro (6).

Cuando comience a funcionar el taladro, vamos a tener que transferir el alambre de cobre al tubo de plástico, teniendo mucho cuidado de mantener bien estirado el cable de manera uniforme a lo largo de todo el tubo. Una vez terminado el bobinado se fija la terminación del alambre de cobre en el mismo extremo del tubo, asegurándose de que los dos extremos no se tocan (7-8).

Se toma el cable conector, uno de dos hilos activos (el "blanco") y una masa (si el cable es estéreo) o los dos cables directamente (si el cable es mono, como en la Figura) (9). Tiene que soldar los dos cables de cobre con los dos hilos del cable (blanco + masa o los dos cables de alambre mono) (10-11-12). Se aíslan con la cinta aislante (13-14) y posteriormente se enrolla a través de la bobina con la cinta aislante (15).

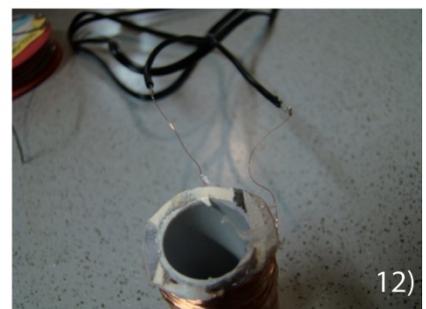
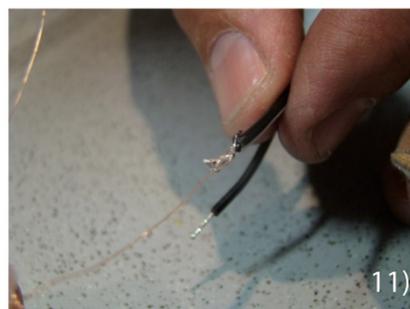


Fig. A1.2_1 - Cómo se construye la bobina del sismómetro. Hace clic [aquí](#) para ver el video de cómo enrollar el hilo de cobre.

Cómo lograr el sistema de masa-imán

Para la realización del sistema de masa-imán es necesario:

- 1 tornillo de cabeza hexagonal (5mm x 50 mm)
- 1 tornillo con ojal ($\text{Ø} = 2.5 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$)
- 1 Plomo de pesca perforado (75 g)
- 1 perno con cabeza avellanada (y 2 tuercas)
- 1 tapón de plástico
- un taladro
- una sierra
- una lima plana

Los imanes y el elástico (resorte) serán necesarios en el momento de montar el sismómetro.

Para la realización del sistema consulte las instrucciones en la Fig. A1.1_2.

Configuración de la base y del soporte del sismómetro

Para la realización de la base del sismómetro es necesario:

- poliestireno extruido
- tubo de plástico rígido ($\text{Ø} 20 \text{ mm}$)
- vara de madera redonda ($\text{Ø} = 8/9 \text{ mm}$)
- panal de policarbonato
- 2 tornillos 3.5mm x 50 mm con pasadores
- lima cilíndrica abovedada
- bandas de goma

Para la realización de la base, consulte las instrucciones en la Fig. A1.1_3.

El tubo de plástico debe insertarse completamente en la base vertical, por lo que debe estar completamente perforada. El agujero cilíndrico en la base vertical puede hacerse manualmente o con un punzón y luego terminarlo con la lima, o cortando el poliestireno en dos partes y hacerlo por separado y después pegar las dos láminas de policarbonato celular. En ambos casos, el orificio debe ser del diámetro apropiado como para permitir que el tubo sea colocado sólidamente con la estructura.

El agujero en el tubo de plástico para insertar la varilla de madera se puede hacer con un taladro, con una punta adaptada al diámetro de la varilla. Se recomienda realizar el orificio horizontal de modo que el tubo y la varilla sean perpendiculares.

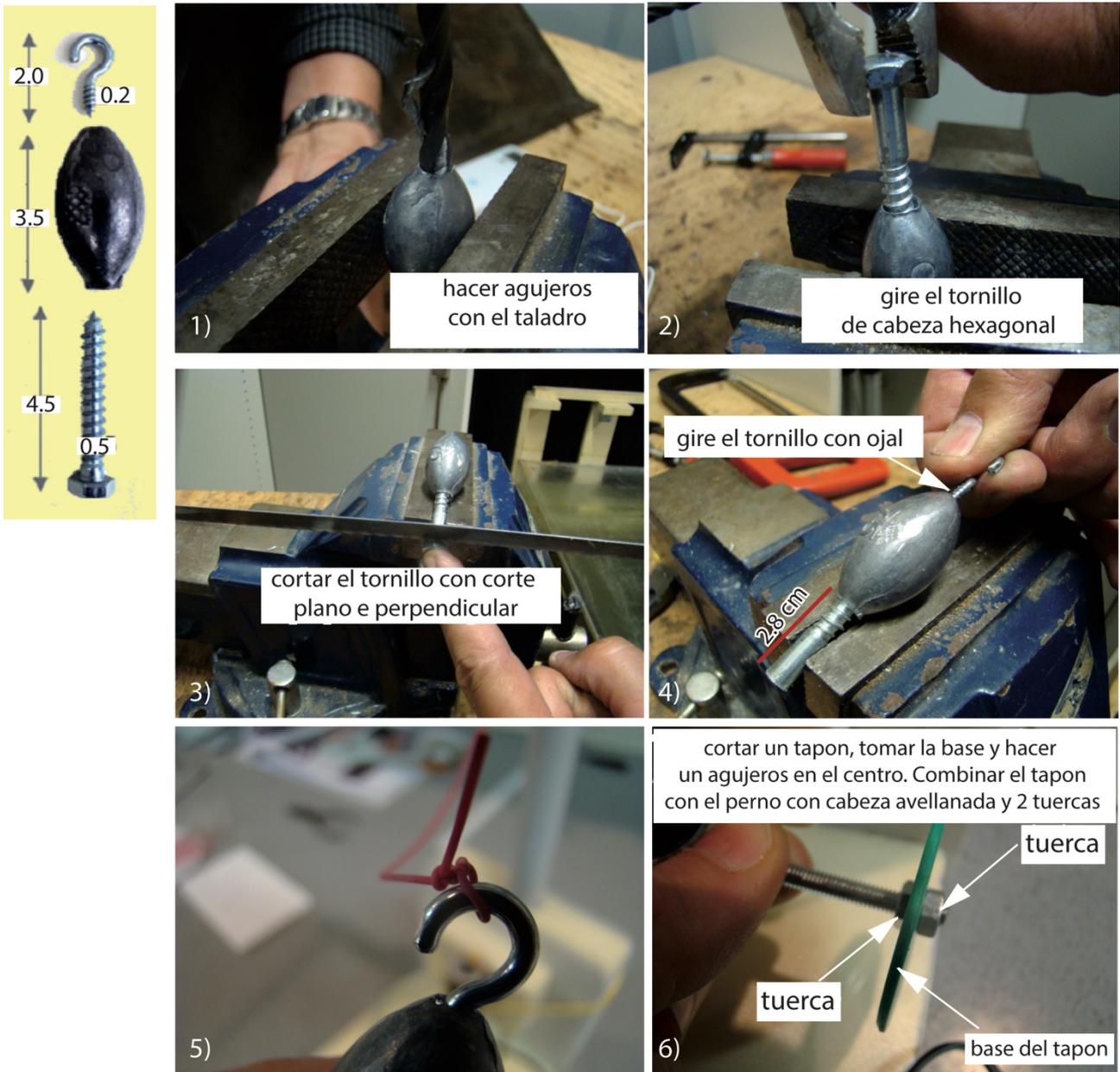


Fig. A1.2_2. Cómo se prepara el sistema masa/imán a utilizar para el sismómetro. Se recomienda cortar el tornillo (3) de tal manera que la superficie sea plana y perpendicular al tornillo para que los imanes se adhieren adecuadamente.

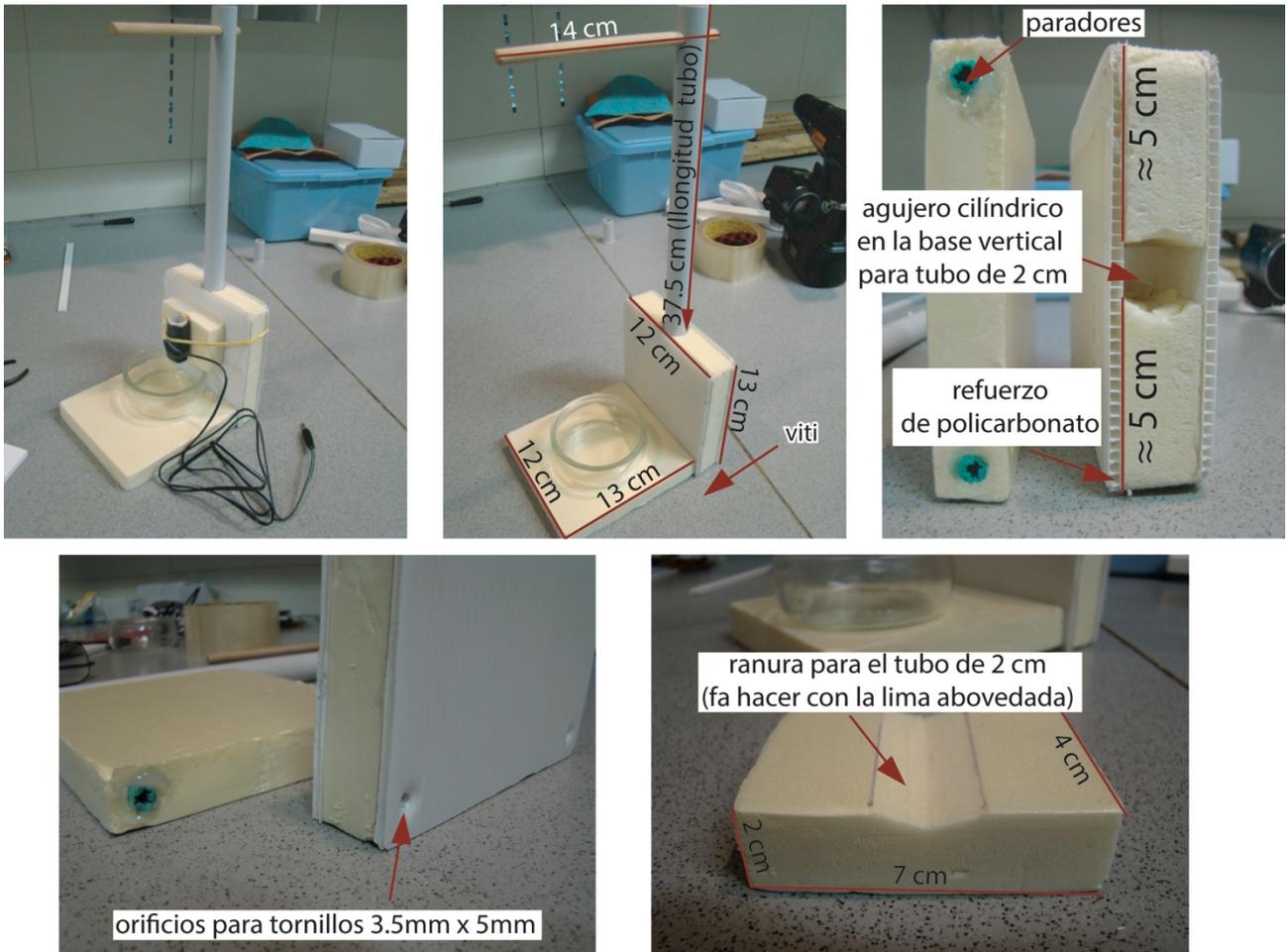


Fig. A1.2_3. Cómo construir el apoyo del sismómetro.

LA CONSTRUCCIÓN DE LOS ‘MUROS’ DE EDIFICIOS

Se necesita: panel de policarbonato, láminas de plástico translúcido, dos escuadras, un cortador, un lápiz.

Muros de policarbonato: 8 piezas $h = 37.5$ cm, $l = 1.5$ cm

Muros de plástico translúcido:

Edificios de 4 pisos (x2): 8 piezas $h = 32$ cm, $l = 1.5$ cm

Edificios de 3 pisos (x1): 4 piezas $h = 23.5$ cm, $l = 1.5$ cm

Edificios de 2 pisos (x1): 4 piezas $h = 16$ cm, $l = 1.5$ cm

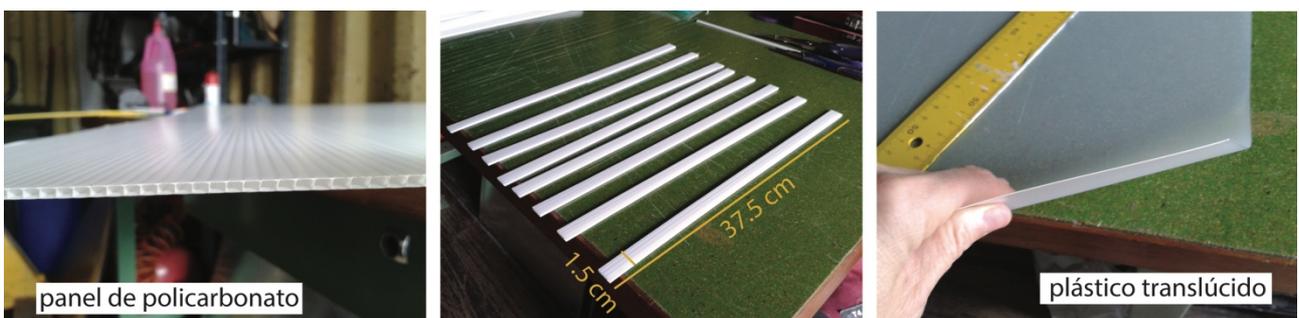


Fig. A1.2_4. Construcción de los ‘muros’ de edificios.

LA CONSTRUCCIÓN DE LOS 'PISOS' DE EDIFICIOS

Se necesita la cartón pluma (fig. A1.2_5), dos escuadras, un lápiz y un cortador.

Tenemos que obtener rectángulos con dimensiones de 8,5 cm x 6,5 cm

Se requiere 21 pisos.

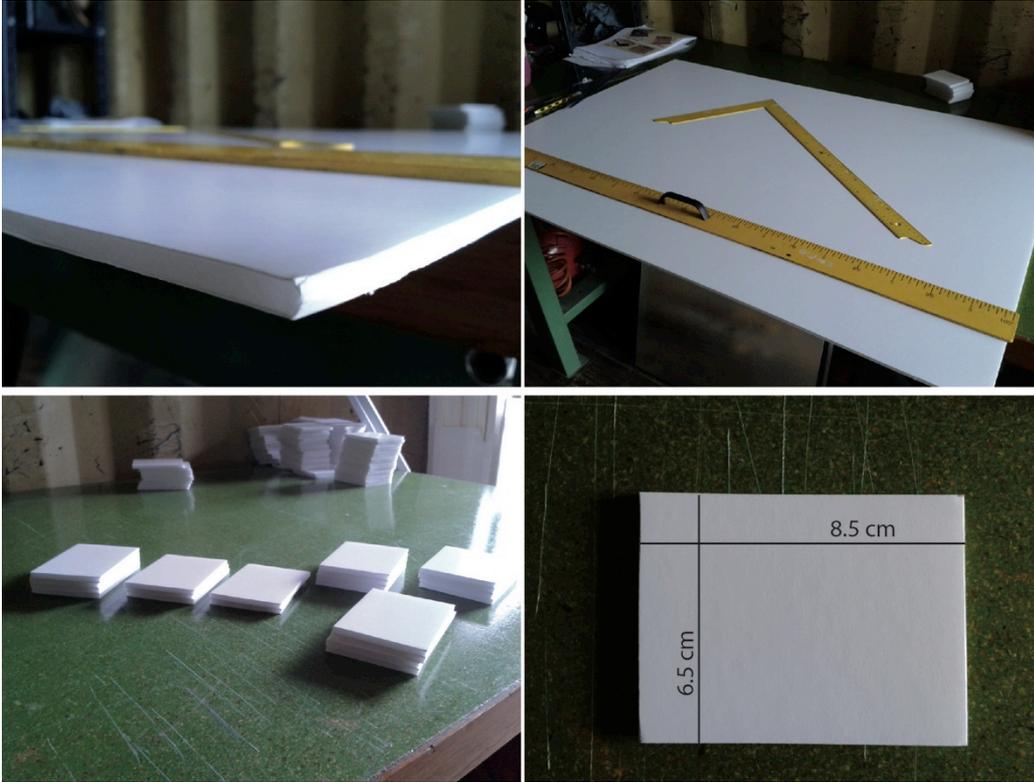
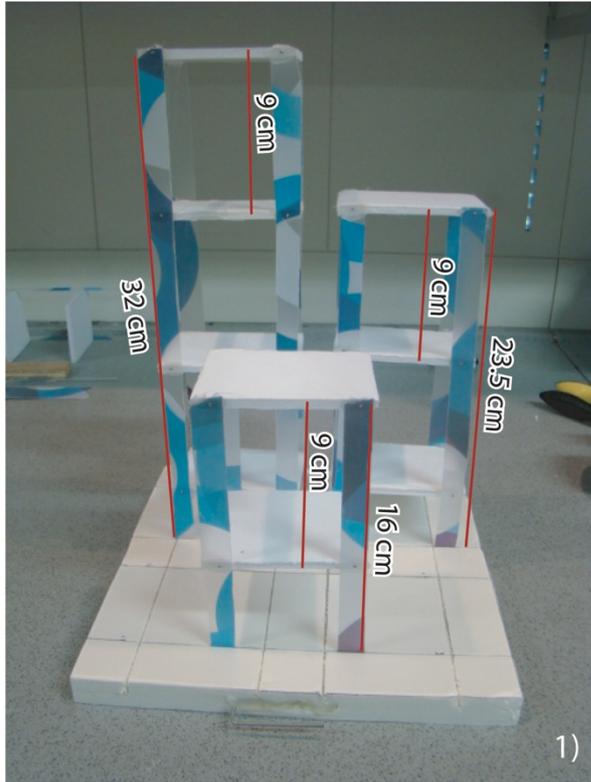


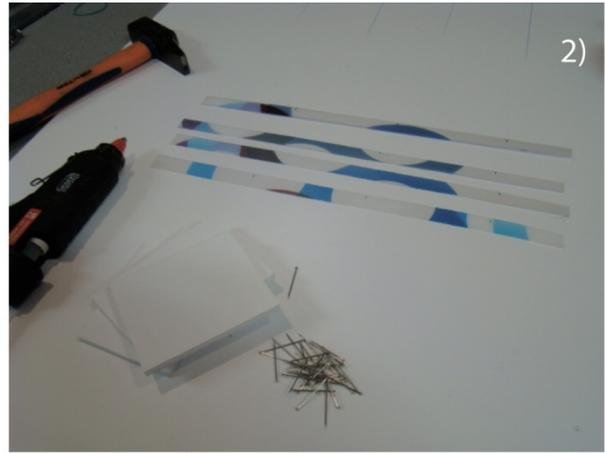
Fig. A1.2_5. Construcción de los muros de edificios.

EL MONTAJE DE LOS EDIFICIOS

Para montar los edificios "estables" (1 edificio de 4 pisos, 1 edificio de 3 pisos y 1 edificio de 2 pisos (punto 1 de la Fig. A1.2_6) es necesario tener pisos de cartón pluma, muros de plástico translúcido de diferentes longitudes, pegamento caliente, alfileres (2). Los muros y los pisos están pegados con pegamento caliente (3-4) y, posteriormente, fijados con alfileres (5). Es necesario mantener la perpendicularidad entre pisos y muros (6- 7) y una distancia entre los planos de los edificios individuales como se describe en el paso 1 de la Fig. A1.2_6.



1)



2)



Los muros y los pisos están pegados con pegamento caliente

3)



4)



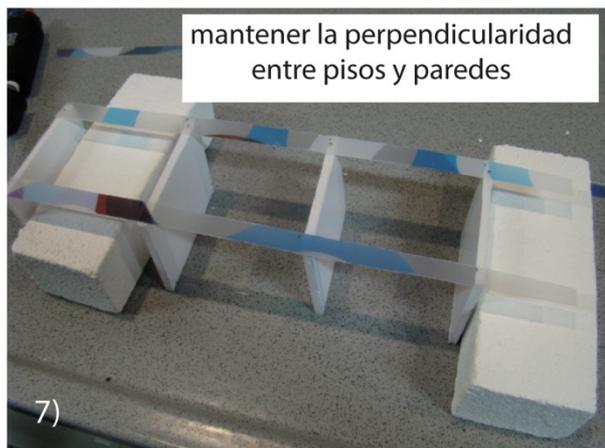
Muros y pisos fijadas con alfileres tambien

5)



mantener la perpendicularidad entre pisos y paredes

6)



mantener la perpendicularidad entre pisos y paredes

7)

Fig. A1.2_6. Como montar los edificios 'estables'

CONSTRUCCIÓN DE BLOQUES EN SIPOREX

El syporex (hormigón ligero) es fácil de cortar (por ejemplo, con una sierra). Una vez que tenga estos bloques se hace un agujero en un extremo (con un taladro a baja velocidad debido a la sensibilidad del material) y se aplica un gancho (de alambre) soldada con pegamento caliente en la bloque. El bloque puede ser pintado para que sea resistente al agua y evitar que pierda polvo (Fig. A1.2_7).

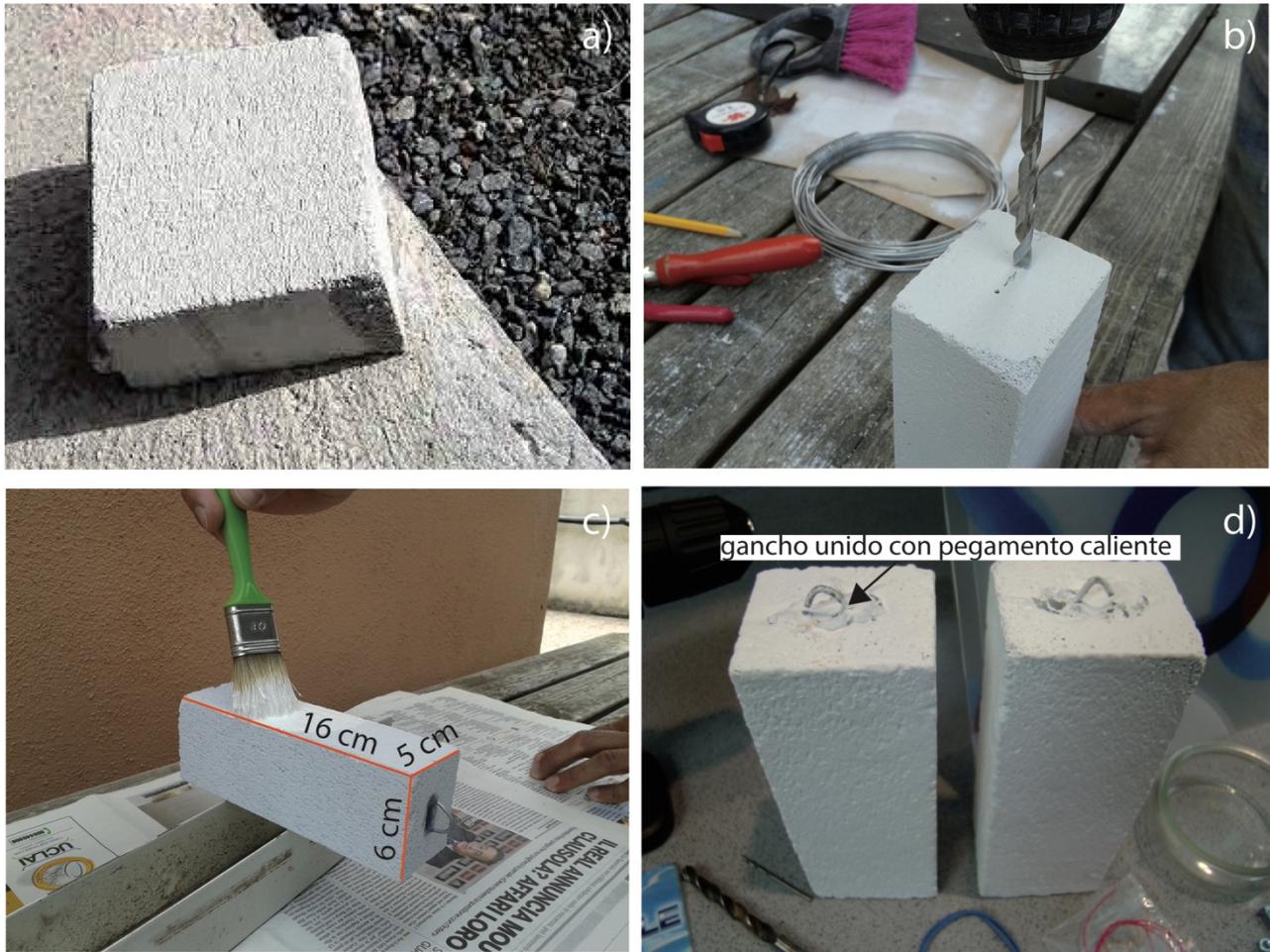


Fig. A1.2_7. Como hacer bloques de syopres.

BASE DE POLIESTIRENO EXTRUÍDO

La mayoría de bases que se utilizan para diferentes experimentos, tienen forma cuadrada y unas dimensiones de 24 cm x 24 cm (1 en Fig. A1.2_8).

El poliestireno se corta fácilmente con un buen cortador. Para obtener el apoyo de los edificios siga el procedimiento en la Fig. A1.2_8. Con un lápiz dibujamos las líneas a lo largo de las cuales se hará una ranura (2) y, con el uso de una sierra y con la ayuda de dos soportes de madera de altura definida (aproximadamente 1 cm) se harán las incisiones (4 y 5) que servirán para fijar los edificios al soporte.

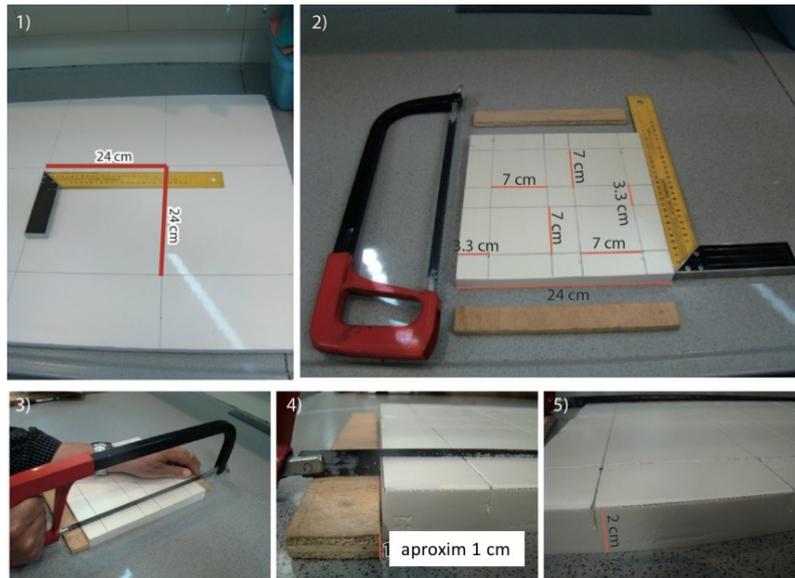


Fig. A1.2_8. Preparación bases cuadradas que sirven de apoyo a los edificios.

CÓMO CONSTRUIR GANCHOS PARA SER INCLUIDO EL LAS BASES CUADRADAS

Muchas bases están equipadas con ganchos que se utilizan para conectarse a dispositivos que generan vibraciones en mesas vibratorias. Para la realización de los ganchos es necesario tener:

- alambre
- tenazas
- destornillador
- pegamento caliente

Para la aplicación de ganchos y cómo incorporarlos en las bases siguen las instrucciones dadas en la Fig. A1.2_9. Para ver el video haga clic [aquí](#).

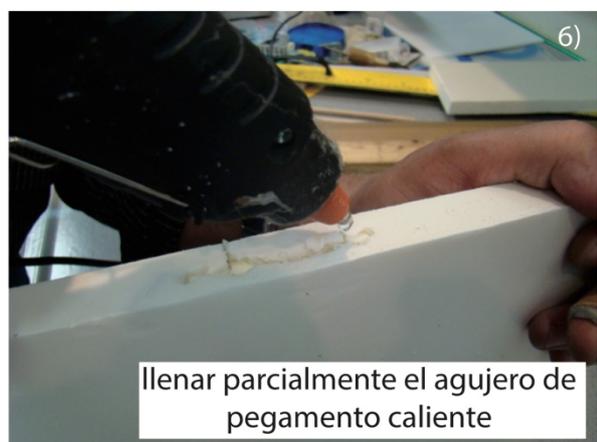
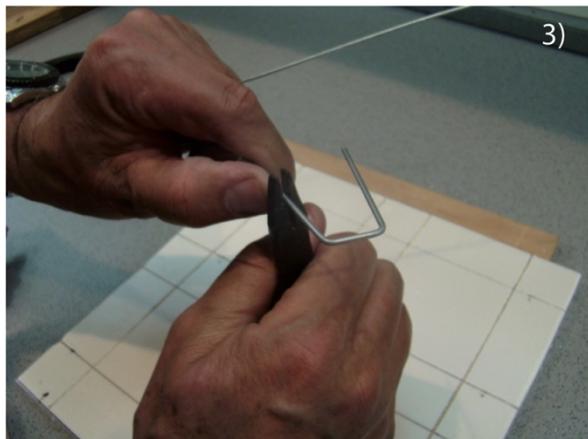
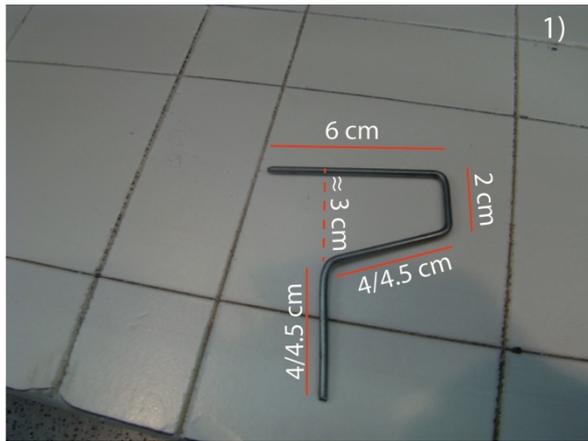


Fig. A1.2_9. Cómo hacer ganchos y colocarlos en las bases de poliestireno extruido.

REALIZACIÓN DEL APOYO A LA MESA VIBRATORIA MECANICA

Per la realización es necesario:

- poliestireno extruido
- panel de policarbonato
- 2 varas de madera redonda
- pegamento caliente
- cortador
- escuadras

Para la realización del apoyo ver las indicaciones de la Fig. A1.2_10.

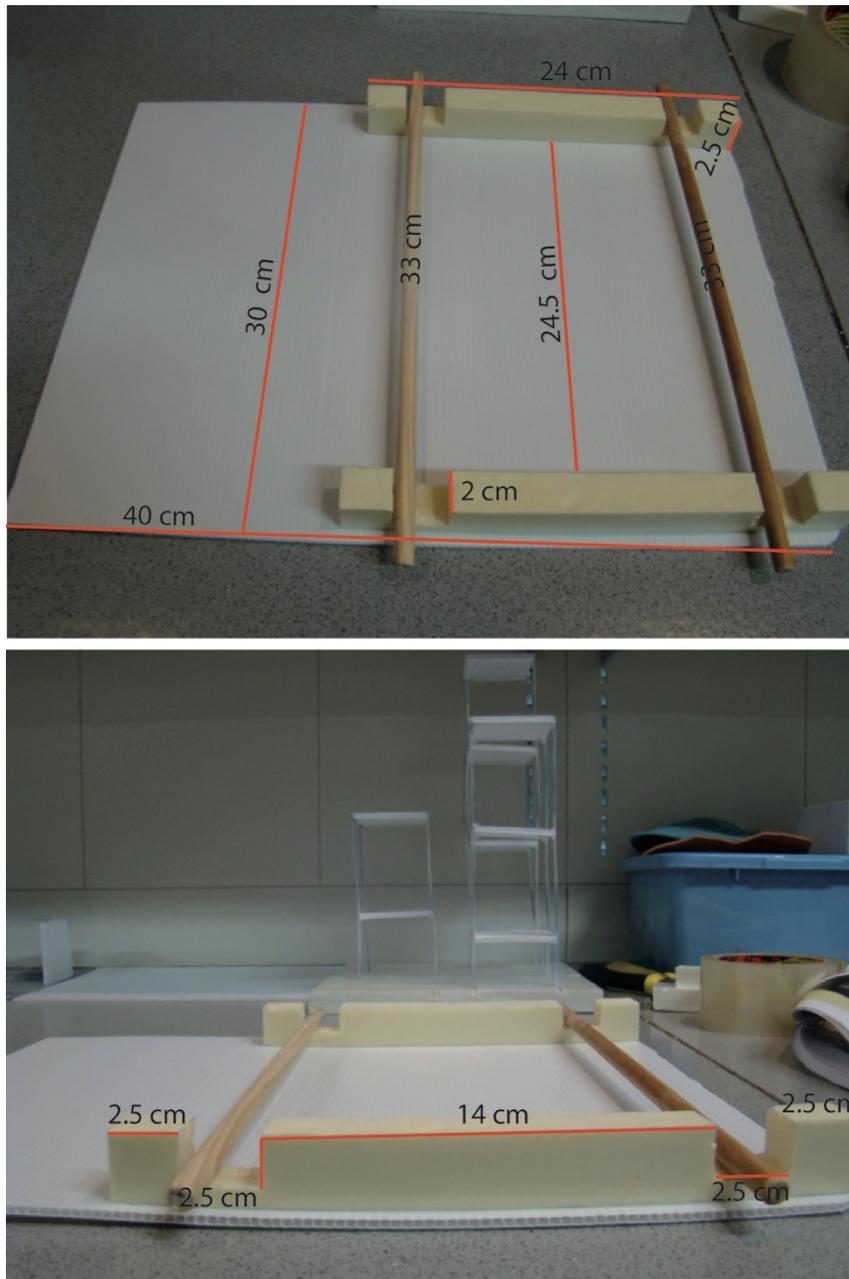


Fig. A1.2_10. Realización del apoyo de la mesa vibratoria (shaking table) mecánica.

COMO REALIZAR EL COLLAR PARA CONTROLAR LA VELOCIDAD DE PERFORACIÓN

Este accesorio se aplica sobre la conmutación del taladro de tal manera que es posible variar la velocidad del taladro gradualmente y mantenerla constante también durante un largo tiempo (difícil de mantener si el operador lo hace manualmente).

Para la realización es necesario disponer de una abrazadera de manguera ($\varnothing = 32$ a 50 mm), de una arandela (5,3 x 20 mm), una sierra, y pegamento caliente. Ver las indicaciones de la Fig. A1.2_13



Fig. A1.2_13. Como realizar el collar.

CÓMO CONSTRUIR EL SENSOR PIEZOELÉCTRICO

El sensor piezoeléctrico transforma la energía mecánica debido a las vibraciones del suelo en energía eléctrica. Para su implementación, se necesita:

- 1 Cable Jack Conector de 3.5 mm (stereo)
- 2 sensores piezoeléctricos
- mini soldador de estaño
- cinta aislante

Para la realización del sensor piezoeléctrico seguir los pasos indicados en la Fig. A1.2_14.

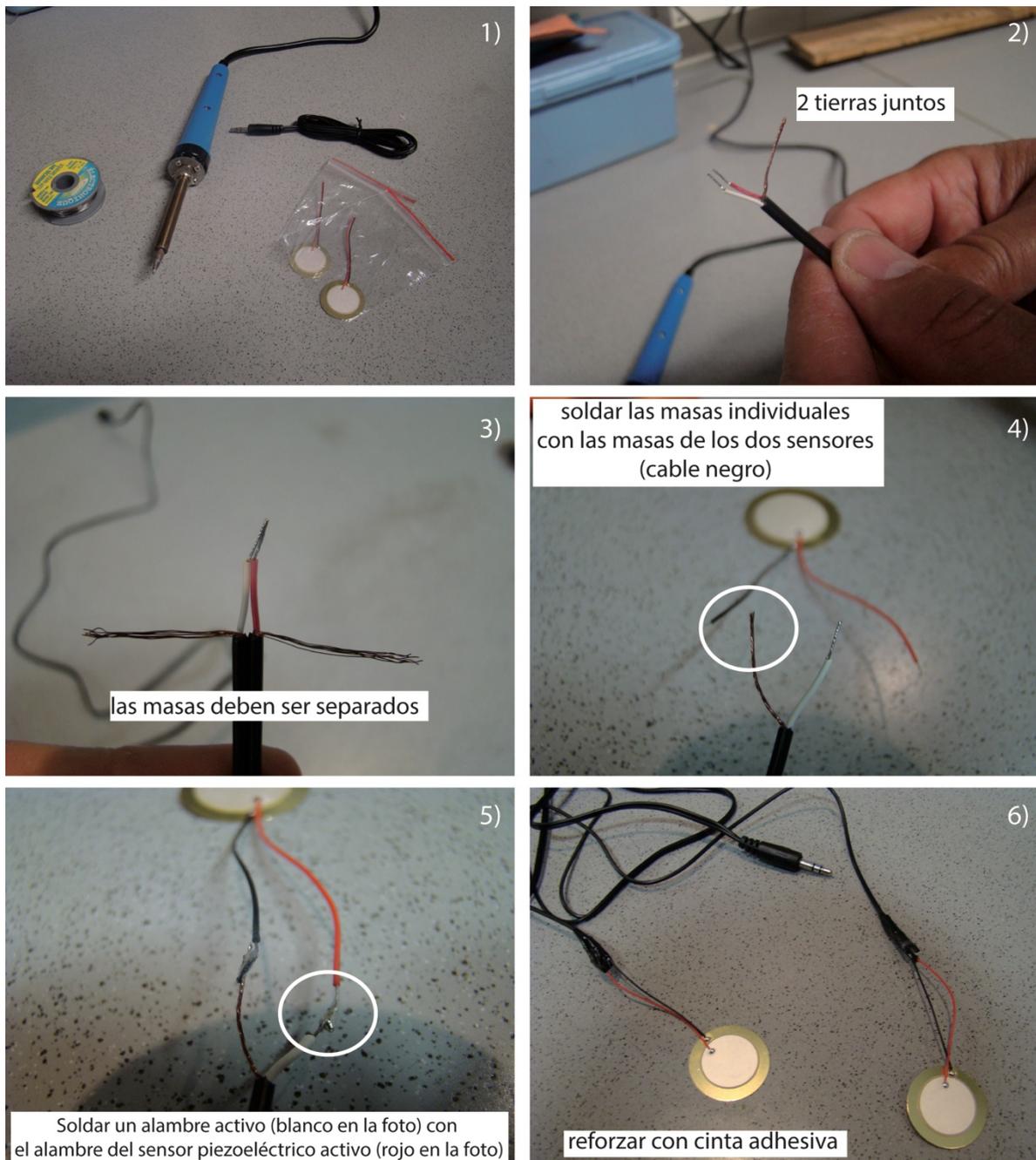


Fig. A1.2_14. Realización del sensor piezoeléctrico

SOPORTE PARA EL TALADRO

Para una correcta realización de los experimentos, es preferible que el taladro se encuentre alojado en un soporte estable de modo que no se mueva durante las diferentes operaciones. Las medidas del soporte para el taladro se refieren al taladro incluido en el kit. Por ello se recomienda establecer un soporte para el taladro considerando tamaño y forma del taladro del que se disponga. El diagrama mostrado en la Fig. A1.2_15 sirve exclusivamente como una guía para construir un soporte funcional.

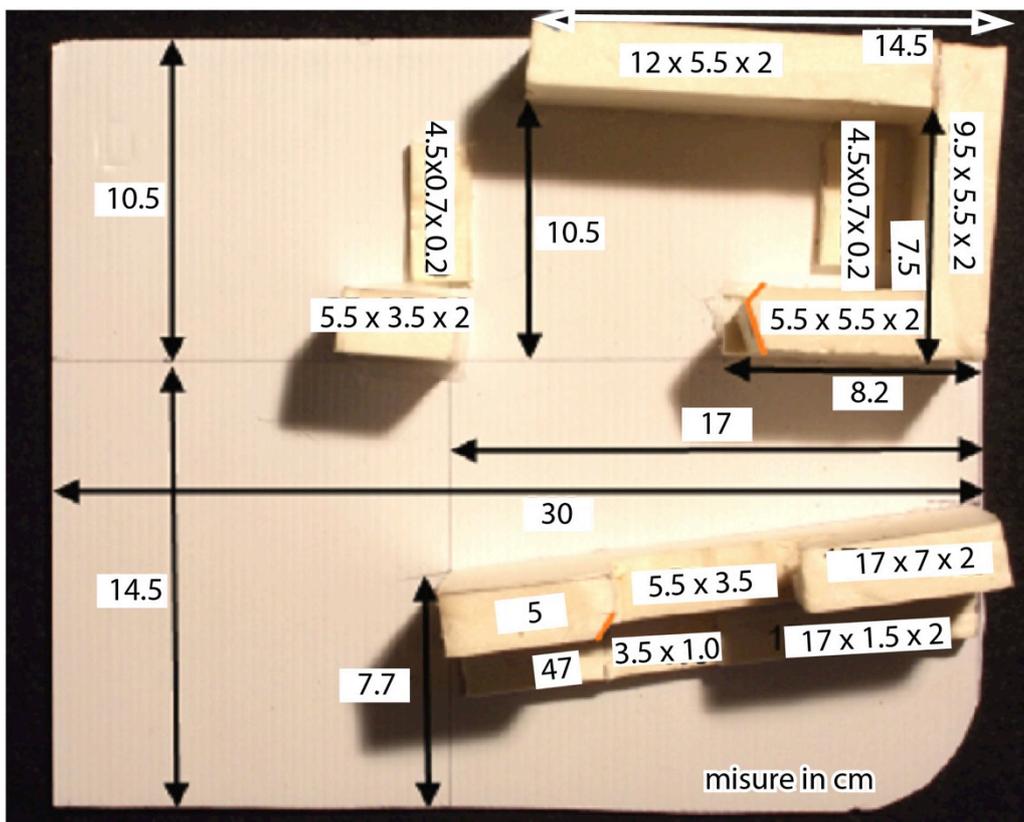


Fig. A1.2_15. Como realizar el soporte para el taladro.

SISTEMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA MESA VIBRATORIA

Este accesorio se utiliza para convertir el movimiento rotativo del taladro en movimiento de traslación de la mesa vibratoria.

Para la realización del sistema consulte las instrucciones de la Fig. A1.2_16. En esta figura la varilla de la transmisión tiene los agujeros en los extremos, pero el agujero de la excéntrica se puede realizar aún más internamente.

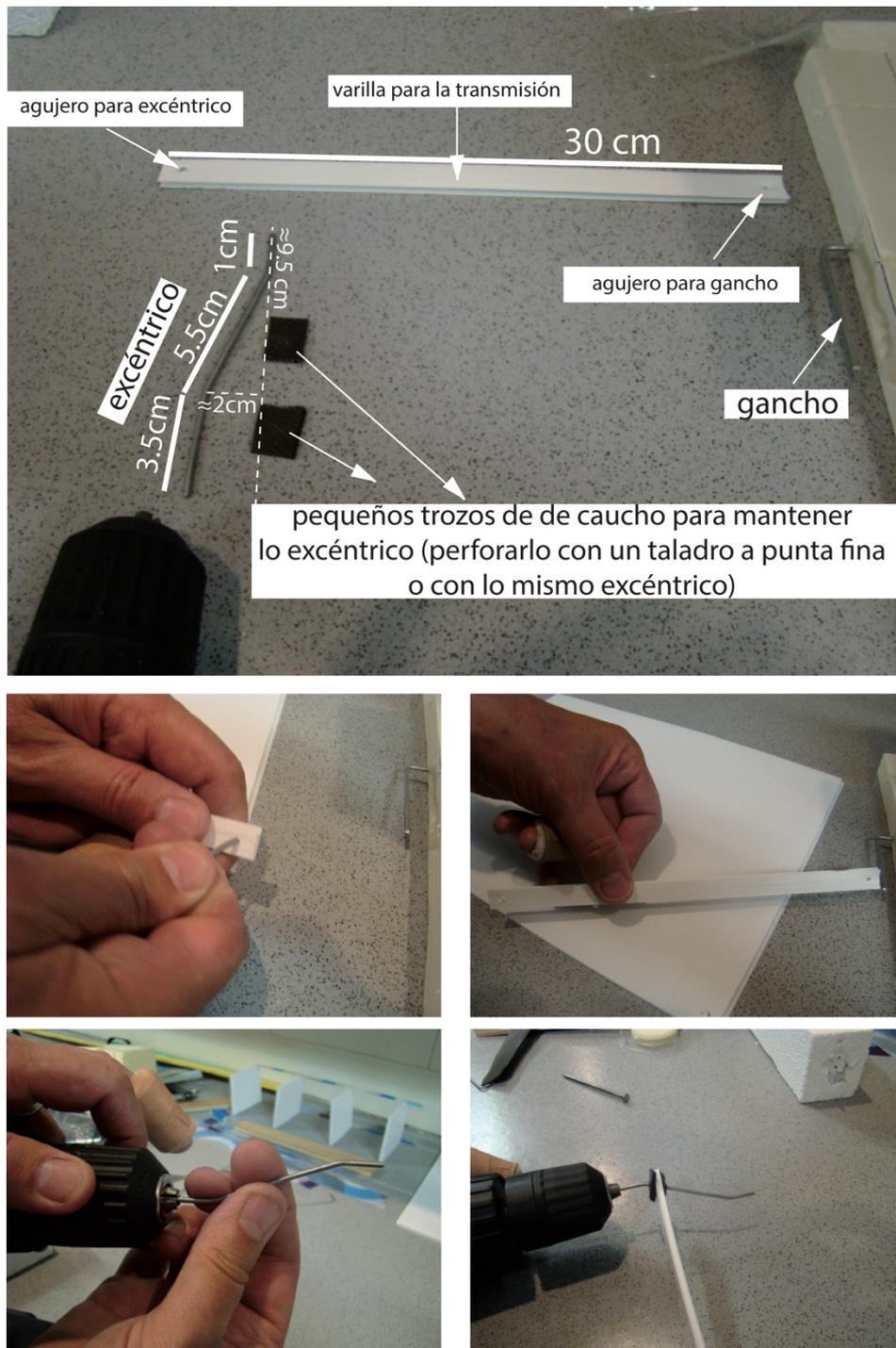


Fig. A1.2_16. Cómo hacer accesorios para el funcionamiento de la mesa vibratoria.

CÓMO CONSTRUIR EL BOX PARA LA ARENA

Para construir el recipiente para el experimento sobre la licuefacción sirve:

- Poliestireno extruido
- cortador
- Pegamento caliente
- escuadras

Se cortan dos bases de poliestireno extruido de tamaño 24 x 18 cm. En una de ellas se eliminará un rectángulo de tamaño 20 x 14 cm. Las dos bases entonces se pegan con pegamento caliente como se ilustra en la Fig. A1.2_17.

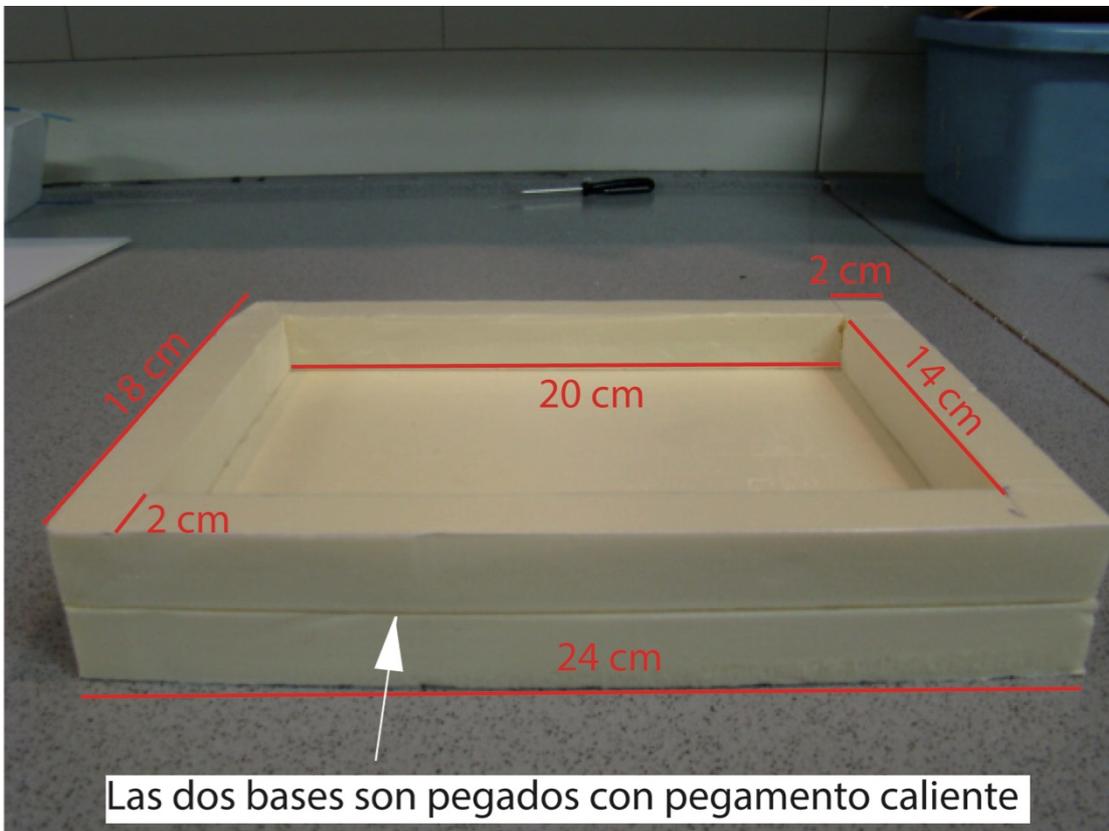


Fig. A1.2_17. Construcción del box para la arena.

ACCESORIO PARA EL EXPERIMENTO DE LOS EFECTOS DE SITIO

Este accesorio sirve para simular el efecto de la geología del subsuelo en el temblor de los edificios (efecto de sitio).

Para construir este accesorio se necesita:

- Poliestireno extruido
- Plástico translúcido (el mismo utilizado para las paredes de los edificios)
- alambre
- Tornillos 3,5 x 25 mm (y paradas)
- Cortador
- Pegamento caliente
- escuadras

Para su ejecución, siga las instrucciones que se dan en Fig. A1.2_18.

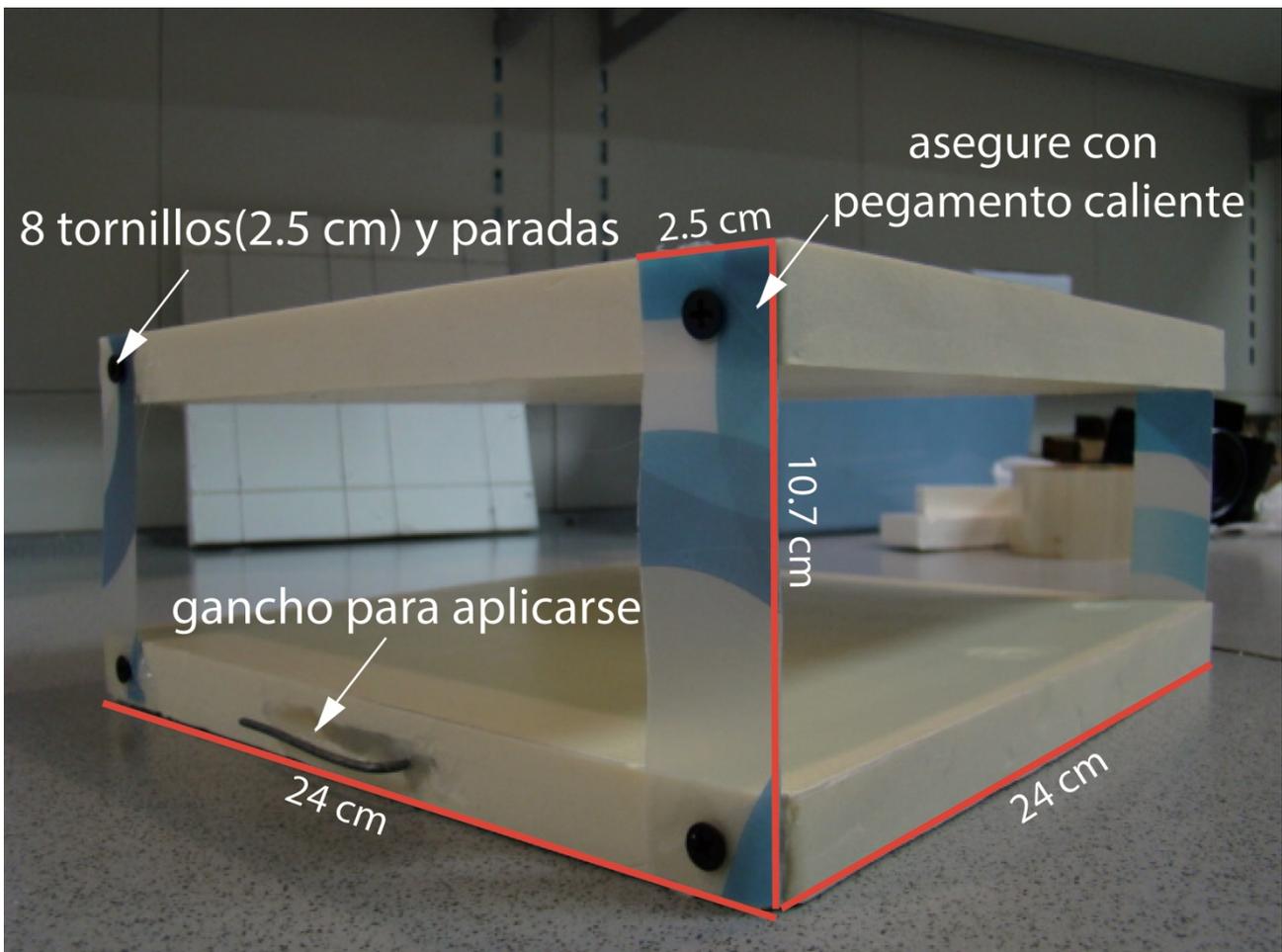


Fig. A1.2_18. Como realizar el accesorio para el experimento del efecto de sitio.

ACCESORIO PARA EL EXPERIMENTO DEL AISLAMIENTO SÍSMICO

Para construir este accesorio se necesita:

- Poliestireno extruido
- Tubo de plástico (Ø 16 mm)
- cortador
- Pegamento caliente
- escuadras

Para la realización consulte las instrucciones en la Fig. A1.2_19. La ranura para los tubos (Ø 16 mm) se puede hacer usando una lima cilíndrica abovedada

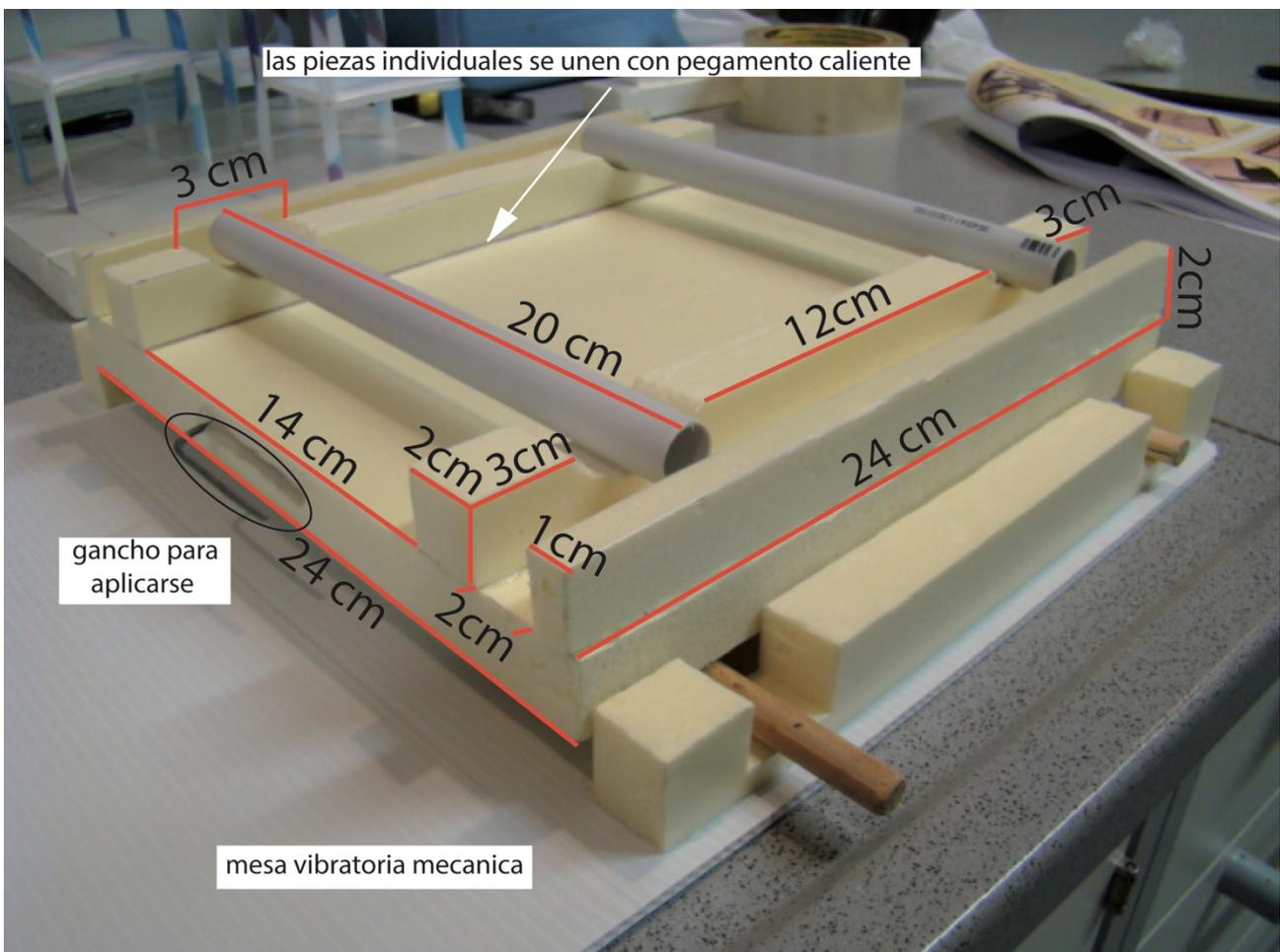


fig. a1.2_19. Como realizar el accesorio para el experimento de aislamiento sísmico