

UN MISMO MOVIMIENTO PERO DIFERENTE OSCILACIÓN

CIN2018A20072

CENTRO UNIVERSITARIO MÉXICO, A.C.

ALARCÓN GUTIÉRREZ DIEGO

GUZMÁN SILVA JORGE ALAN

RIVAS MORENO JAVIER

SANTAMARÍA MONSALVE CESAR

ASESOR: JESÚS FLORES TÉLLEZ

CIENCIAS FISICOMATEMÁTICAS Y DE LAS INGENIERÍAS

FÍSICA

TIPO DE INVESTIGACIÓN: EXPERIMENTAL

CIUDAD DE MÉXICO

16 de febrero de 2018

INDICE TEMÁTICO

| | |
|---|------------|
| RESUMEN EJECUTIVO..... | 3 |
| Planteamiento del problema..... | 3 |
| Objetivos..... | 3 |
| Resultados..... | 3-4 |
| Resumen | |
| Summary..... | 4-5 |
| Palabras claves..... | 5 |
| INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 6 |
| Antecedentes..... | 6 |
| El Movimiento Armónico Simple..... | 7 |
| Características del movimiento armónico simple:..... | 7 |
| Magnitudes del movimiento armónico simple..... | 8 |
| Vibraciones en los edificios..... | 9 |
| Efecto doorway..... | 11 |
| Hipótesis..... | 12 |
| METODOLOGÍA..... | 12 |
| RESULTADOS..... | 13 |
| CONCLUSIONES..... | 13 |
| APARATO CRÍTICO..... | 13 |

RESUMEN EJECUTIVO

Planteamiento del problema:

En la actualidad se han registrado algunos movimientos telúricos en México que han dañado numerosas estructuras, patrimonio de personas que habitan en las distintas ciudades y comunidades de nuestro país. Al visualizar el daño producido, nos dimos cuenta de que este era diferente en cada edificación y que depende del tipo de suelo sobre el que se encuentren construidas y del tipo de movimiento que las impacta. Nuestro proyecto pretende determinar la dependencia entre los edificios dañados y el tipo de suelo en el que se encontraban como un factor determinante que los llevó a presentar el fenómeno de resonancia, realizando una maqueta que permita reproducir los diferentes tipos de suelo de la ciudad de México.

Objetivos:

1. Construir una maqueta que reproduzca el movimiento de un sismo dependiendo de los tipos de suelo que conforma la Ciudad de México.
2. Investigar cómo afectan los distintos tipos de sismo a los tipos de suelo que conforman la Ciudad de México.

Resultados:

De nuestra investigación de los edificios dañados en el pasado sismo del 19 de septiembre se encontró que estaban localizados en una cierta franja específica de la Ciudad de México. Éste tipo de suelo era el de transición entre rocoso y acuoso. Esto fue un factor que generó que la frecuencia de oscilación del sismo coincidiera con la frecuencia natural de los edificios, que llevó al fenómeno de resonancia a muchos edificios que sufrieron daños.

Para tener una explicación más fundamentada y observable, se construyó una mesa oscilatoria en la que pusimos 3 cajas que contenían sustancia con diferentes consistencia para simular los tipos de suelo de la CDMX y las unimos con resortes para hacerlas oscilar sobre unos rieles y así determinar el tipo de movimiento que presenta cada una y observar si en alguna de ellas se presenta el fenómeno de resonancia.

No obstante, si obtuvimos algunos resultados parciales para poder comprobar que nuestra hipótesis era correcta y que una vez terminado el prototipo podremos describir todo el movimiento de manera adecuada y con las ejemplificaciones pertinentes.

Resumen

Desafortunadamente, fuimos testigos de las tragedias y los daños en la Ciudad de México el pasado 19 de septiembre causados por el sismo de 7.1 grados en la escala de Richter. El sismo fue muy aparatoso, sin embargo, nos dimos cuenta de que la magnitud no fue la principal causa de dichos daños, por lo que nos dispusimos a investigar vastamente acerca del tema, luego ejemplificarlo con una especie de mesa oscilatoria para poder despejar cualquier duda acerca del tema.

Con la investigación, encontramos que la Ciudad de México presenta tres tipos de suelo distintos, uno rocoso, uno semi-acuoso (de transición) y otro acuoso, por lo que tuvimos que representarlos en nuestra maqueta. Optamos por construir 3 cajas de madera y llenarlas con tierra y con agua, teniendo diferentes densidades en cada una para simular cada tipo de suelo.

También encontramos que los aparatosos daños en esta ciudad, comparados con los de otras en diversas ocasiones, es debido al llamado fenómeno de resonancia, que ocurre cuando la frecuencia de oscilación que produce el sismo coincide con la frecuencia natural de los edificios (que a su vez dependen del tipo de suelo en el que estén).

Con este proyecto pretendemos transmitir la realidad acerca del sismo pasado pero además, lo que se puede presentar en cualquier sismo en el Valle de México, ya que el tipo de suelo no va a cambiar. Lo que sí puede cambiar es la altura de los edificios para contrarrestar que el fenómeno de resonancia ocurra.

Summary

Unfortunately, we were witnesses of the tragedy and the damage caused on Mexico City the past September 19th provoked by the earthquake of 7.1 in Richter's Scale. The earthquake was really scandalous, nevertheless, we found out that the magnitude

wasn't the principal author of the damages previously seen, so that we arranged to investigate vastly about the subject, so that then we exemplify with a sort of oscillatory table in order to release any doubt about the subject.

With the investigation, we found that Mexico City has three different types of ground, one rocky, one semi-aqueous (transitional) and another watery, so we needed to represent them in our model. We opt to build 3 boxes of wood and fill them with soil and water, having different densities in each so we could simulate every type of land.

We also found that the scandalous damage in this particular city, compared to other cities in many occasions, is due to the so-called resonance phenomenon, which occurs when the oscillation frequency that produces the earthquake itself, matches with the natural frequency of the buildings (which in turn depend on the type of land they're above).

With this project, we pretend to transmit the reality about the past earthquake but also, what possibly could happen in any earthquake on Mexico City, since the type of land will not change. What can change is the height of the buildings to avoid the resonance phenomenon from occurring.

Palabras clave: oscilación, resonancia, suelo semi-acuoso, suelo acuoso, suelo rocoso, frecuencia natural de los edificios, sismo.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema:

En la actualidad se han registrado algunos movimientos telúricos en México que han dañado numerosas estructuras, patrimonio de personas que habitan en las distintas ciudades y comunidades de nuestro país. Al visualizar el daño producido, nos dimos cuenta de que este era diferente en cada edificación, que depende del tipo de suelo sobre el que se encuentren construidas y del tipo de movimiento que las impacta. Por lo tanto, es importante analizar las condiciones ya mencionadas para que con base en los estudios que sean elaborados, se pueda llevar a cabo una labor de prevención que

ayude en la construcción de una nueva generación de edificios, capaces de soportar el movimiento que se lleve a cabo en el tipo de suelo sobre el que estén construidos.

El temblor del 19 de septiembre del 2017 se pudo caracterizar por tener focalizado los edificios dañados en una franja específica de la superficie de la Ciudad de México que, al parecer, tenía unas características de suelo específicas las cuales pudieron haber sido la causa de la amplificación de los daños. Siendo esta franja un tipo de suelo de transición entre uno rocoso y otro acuoso, lo que al parecer generó una frecuencia de oscilación que llevó al fenómeno de resonancia a muchos edificios que se colapsaron. Nuestro proyecto pretende hacer un estudio y generar una maqueta que permita simular las condiciones de los tres tipos de suelo para analizar los modos de oscilación de un sistema acoplado de osciladores y así, poder verificar nuestra teoría.

Objetivos:

3. Investigar la localización de las edificaciones dañadas durante el sismo del 19 de septiembre del 2017 así como el número de pisos y el tipo de daño.
4. Investigar los tipos de suelo que conforman la Ciudad de México.
5. Construir una maqueta que reproduzca el movimiento de un sismo dependiendo de los tipos de suelo que conforma la Ciudad de México.
6. Investigar cómo afectan los distintos tipos de sismo a los tipos de suelo que conforman la Ciudad de México.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Antecedentes

Los temblores han estado presentes en la Ciudad de México desde su formación geológica. Y siempre han provocado daños, dependiendo de la época. En un principio derrumbaban cerros y descarrilaban ríos, por ejemplo. Ahora, como ya sabemos, provocan derrumbes de edificios, puentes o cualquier estructura o explosiones de gas, etc.

Hasta la fecha, se ha obtenido información sobre 113 sismos de intensidad moderada, 45 fuertes y 7 muy fuertes sentidos en la CDMX.

En el año de 1887, se empezaron a utilizar aparatos para la medición de los movimientos sísmicos dentro de la República Mexicana.

El sismo más fuerte en el siglo pasado fue el que se sintió el 19 de septiembre de 1985 con una magnitud de 8.1, el cual causó muy graves daños en varias poblaciones de la República, pero principalmente en la Ciudad de México. A causa de ese sismo se presentaron muertos, heridos, desaparecidos, damnificados, edificios públicos, privados y casas habitacionales destruidas; inmuebles en peligro de caer; interrupción en el servicio de agua, energía y teléfonos; fugas de agua y gas; múltiples rupturas en el asfalto y la paralización total en el servicio de transporte colectivo.

El epicentro de dicho sismo se localizó en las costas de Michoacán y Guerrero, rotura del contacto entre las placas de Cocos y de Norteamérica, en una extensión de 50 km x 170 km y unos 18 km de profundidad. Su magnitud fue 8.1, según informó el Instituto de Geofísica de la UNAM, con una duración de casi cuatro minutos, de los cuales, un minuto y treinta segundos corresponden a la etapa de mayor movimiento.

A su vez, las construcciones que, al experimentar grandes oscilaciones, vibraban naturalmente en este intervalo de frecuencias (en general edificios de 7 a 15 pisos) sufrieron los máximos daños.

Se pueden considerar los temblores en una primera aproximación como movimientos armónicos forzados y amortiguados, por lo cual será importante comprender la naturaleza del movimiento armónico simple, armónico forzado y amortiguado, así como el fenómeno de resonancia que es el culpable de los daños en las edificaciones.

El Movimiento Armónico Simple

Cuando las *fuerzas restauradoras* que actúan sobre la partícula son *proporcionales a la distancia al punto de equilibrio*, decimos que se produce un movimiento armónico simple (m.a.s), también conocido como movimiento vibratorio armónico simple (m.v.a.s.). En general, dichas fuerzas restauradoras siguen la ley de Hooke:

$$F = -k \cdot \vec{x}$$

Una partícula o sistema tiene movimiento armónico simple (m.a.s.) cuando vibra bajo la acción de *fuerzas restauradoras* que son *proporcionales* a la distancia respecto a la posición de equilibrio.

La bola del *experimenta y aprende* anterior es un movimiento armónico simple pues, como puede observarse, la fuerza restauradora, en rojo, es proporcional a la distancia al punto de equilibrio.

Características del movimiento armónico simple:

1. Vibratorio: El cuerpo oscila en torno a una posición de equilibrio siempre en el mismo plano
2. Periódico: El movimiento se repite cada cierto tiempo denominado *periodo* (T). Es decir, el cuerpo vuelve a tener las mismas magnitudes cinemáticas y dinámicas cada T segundos
3. Se describe mediante una función sinusoidal (seno o coseno indistintamente)

$$x = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

$$x = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

A la partícula o sistema que se mueve según un movimiento armónico simple se les denomina oscilador armónico.

Magnitudes del movimiento armónico simple

1. Elongación, x : Representa la *posición* de la partícula que oscila en función del tiempo y es la separación del cuerpo de la posición de equilibrio. Su unidad de medidas en el Sistema Internacional es el metro (m)

2. Amplitud, A : *Elongación máxima*. Su unidad de medidas en el Sistema Internacional es el metro (m).
3. Frecuencia, f : El *número de oscilaciones o vibraciones que se producen en un segundo*. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el Hertzio (Hz). $1 Hz = 1 \text{ oscilación / segundo} = 1 s^{-1}$.
4. Periodo, T : El *tiempo* que tarda en cumplirse una oscilación completa. Es la inversa de la frecuencia $T = 1/f$. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el segundo (s).
5. Fase, φ : La fase del movimiento en cualquier instante. Corresponde con el valor $\varphi = \omega \cdot t + \varphi_0$. Se trata del *ángulo* que representa el estado de vibración del cuerpo en un instante determinado. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el radián (rad). Cuando se produce una oscilación completa, la fase aumenta en $2 \cdot \pi$ radianes y el cuerpo vuelve a su posición (*elongación*) x inicial. Esto es debido a que $\cos(\varphi) = \cos(\varphi + 2 \cdot \pi)$
6. Fase inicial, φ_0 : Se trata del *ángulo* que representa el estado inicial de vibración, es decir, la elongación x del cuerpo en el instante $t = 0$. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el radián (rad)
7. Frecuencia angular, velocidad angular o pulsación, ω : Representa la velocidad de cambio de la fase del movimiento. Se trata del *número de periodos* comprendidos en $2 \cdot \pi$ segundos. Su unidad de medida en el sistema internacional es el radián por segundo (rad/s). Su relación con el período y la frecuencia es $\omega = 2 \cdot \pi T = 2 \cdot \pi \cdot f$

Vibraciones en los edificios.

En un edificio existen dos clases de vibraciones: las que provienen de una fuente interna y las que provienen de una fuente externa. Los parámetros más importantes en la vibración de un edificio son: las frecuencias naturales, las formas de los modos y el

amortiguamiento. Las frecuencias naturales de un edificio son las frecuencias de sus oscilaciones libres. Cuando la frecuencia de la fuente externa coincide con una de las frecuencias naturales, la estructura (o una parte de la estructura) toma la forma del modo en que éste oscila libremente en esa frecuencia.

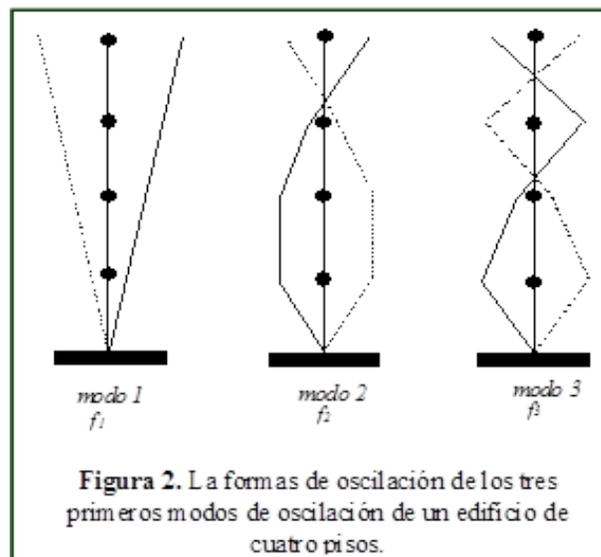
La frecuencia más baja se denomina frecuencia fundamental. Una regla empírica para estimar la frecuencia fundamental f_1 de un edificio es:

$$f_1 = 10/N$$

Donde N es el número de pisos y f_1 la frecuencia en Hertz.

Cuando sobre el edificio actúa una fuente externa que varía sinusoidalmente con una frecuencia próxima a una de las frecuencias naturales de oscilación de la estructura, se producen generalmente vibraciones de gran amplitud. Este fenómeno, llamado resonancia, debe ser evitado.

El amortiguamiento es siempre bueno en los edificios y en cualquier estructura porque reducen la amplitud de la vibración. El amortiguamiento es un fenómeno asociado con la fricción y las micro-fracturas internas que no es simple de estimarlo a priori. Los valores que se le asigna al amortiguamiento en estos modelos son aproximados y están generalmente basados en mediciones experimentales en los edificios. Las estructuras modernas tienen en general menos amortiguamiento que las estructuras antiguas. Esto se debe a los revestimientos más livianos, losas de mayor tamaño, menos particiones, etc. Todas las estructuras tienen un amortiguamiento propio, pero hay dispositivos que incrementan el amortiguamiento disipando energía cuando la estructura se mueve.



En resumen:

- Las estructuras reales son sistemas de muchos grados de libertad, tienen muchos modos de vibración, cada uno con su propia frecuencia (o su propio período).
- El modo de frecuencia más baja (período más grande) es la frecuencia fundamental (o período fundamental).
- Todas las estructuras tienen un amortiguamiento inherente que depende del tipo de construcción.
- El amortiguamiento habitualmente aumenta con el incremento de los desplazamientos.
- Los efectos de la vibración pueden ser mitigados alterando el período de vibración de la estructura agregando masa, o incrementando el amortiguamiento mediante un amortiguamiento artificial.
- Los efectos dinámicos es un aspecto del proyecto muy importante por una variedad de circunstancias:
 - Una carga dinámica (fuerzas variables en el tiempo) puede hacer resonar la estructura.
 - El viento produce resonancias en estructuras que tienen un período fundamental alto (< 2 s).
 - Los terremotos resuenan más fuertemente con estructuras de período más corto (< 1 s), pero pueden hacerlo también con estructuras de período más largo.
 - Las cargas de alta frecuencia como el caminar o correr (1 Hz – 3 Hz) puede resonar con el sistema piso.
 - Una estructura puede vibrar en frecuencias en las que las personas son sensibles (3 Hz – 8 Hz)

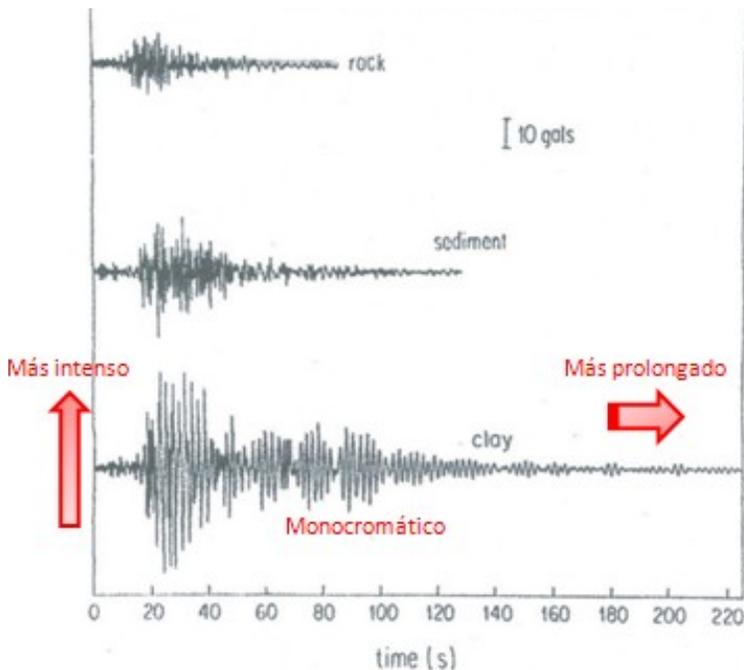
Efecto doorway

Dado que el suelo de la zona centro está rodeado por zonas de sedimentos y rocas, la onda sísmica quedó atrapada en el terreno acuoso del ex Lago. Una vez ahí, se dio un

fenómeno de resonancia, un aumento en la amplitud del movimiento sísmico debido a un movimiento colectivo de las arcillas del subsuelo.

El suelo tipo lodo de la Ciudad de México propicia un estado doorway que, a su vez, determina varias cosas: por un lado, amplifica las ondas sísmicas (sobre todo si lo comparamos con un sismo en roca o en sedimento), por otro, alarga su duración y, finalmente, determina una frecuencia de movimiento constante de 0.5 Hz.

El llamado efecto doorway (umbral en español, aunque los físicos usualmente mantienen el nombre en inglés) se da en escalas pequeñísimas (10-15 metros), en los núcleos de los átomos aunque también se ha encontrado en los puntos cuánticos, en átomos y en moléculas.



Lo que hay que prevenir son los colapsos de los edificios y para ello es necesario evitar que las construcciones tengan frecuencias de resonancia cercanas a las que deja el estado doorway: los 0.5 Hertz.

Para ello, dice el físico, “hay que hacerlas rígidas o construirlas de tal manera que no resuenen con esa frecuencia porque si resuenan con esa frecuencia se van a caer”.

“En cada temblor, las ondas en la cuenca arcillosa donde está construida parte de la Ciudad de México son siempre las mismas. No tiene que ver con el terremoto original, tiene que ver con la estructura local del suelo, la geología local de la Ciudad de México. Eso es lo que determina los daños”, concluye el emérito.

Hipótesis

Si la altura de un edificio está relacionada con la frecuencia natural de oscilación, entonces para que en un edificio podamos modificar su frecuencia natural para evitar el fenómeno de resonancia en un sismo, se debe modificar la altura de los edificios.

Si en el tipo de suelo de transición se encontraron la mayor parte de edificios derrumbados entre los temblores del 19 de septiembre de 1985 y 2017, entonces en este tipo de suelo la frecuencia de oscilación que produce el sismo coincide con la frecuencia natural de los edificios generando el fenómeno de resonancia.

METODOLOGÍA

La construcción del prototipo de mesa oscilatoria será de la siguiente manera:

1. Se fabricarán tres cajas utilizando madera de pino de (1.6cm de grosor) y aglomerado de madera (de 0.6 cm de grosor), cuyas dimensiones serán 20x15x10 cm. Estas cajas servirán como contenedores y cada una tendrá tierra con agua en diferentes concentraciones, representando los tres tipos de suelo que existen en la Ciudad de México, cada una tendrá cuatro ruedas.
2. También se fabricará un cuadrilátero de madera de pino con las dimensiones de 125 cm de largo, 10 cm de alto y 50 de profundidad. Para contener las tres cajas.
3. Se colocarán armellas en las paredes de las 3 cajas para sostener los resortes.
4. Se unirán las cajas con resortes de alambre acerado de 10.4 cm, de igual manera se unirá al cuadrilátero de madera.
5. Se colocarán unos rieles en la parte inferior del cuadrilátero para permitir que las cajas se deslicen fácilmente a lo largo de éstos y no se vea alterado el movimiento.
6. Se colocarán los diferentes tipos de tierra en las tres cajas que simularán el suelo acuoso, de transición y rocoso respectivamente.
7. Sobre la tierra se colocará una lámina rectangular de 5x 31.5 cm para a su vez, poder observar el movimiento de las edificaciones en México dependiendo del

tipo de suelo en el que están. Con esto poder elaborar gráficas de la oscilación de las láminas y poder diferenciar una de otra.

8. Finalmente se ensamblará todo junto con un motor que usaremos para darle movimiento constante al sistema; con los sensores Explorer tomaremos las frecuencias de los movimientos captados en los diferentes tipos de representaciones de tipos de suelo en la CDMX.

RESULTADOS

Primero realizamos un primer modelo de maqueta utilizando tablas cortadas de madera, cuyas medidas eran 1x40 cm con un grosor de .6 cm. El modelo estaba reforzado con ángulos metálicos en cada esquina, tornillos y clavos. En el interior colocamos tres tablas de diferente grosor (pegando distintas tablas de 0.6 cm) para representar los diferentes tipos de suelo de la Ciudad de México. A continuación, colocamos 2 armellas en cada lado de las tablas para poder engancharles resortes que estaban conectados por medio de otras armellas al marco de madera.

Con el modelo hecho procedimos a realizar distintas pruebas superficiales sin medición para ver la precisión de la maqueta. Sin embargo, el material utilizado (principalmente los resortes) no resultaron adecuados para la labor que debían desempeñar. Por lo tanto, decidimos reemplazar el marco por varillas sostenidas en soportes universales, a las cuales les enganamos nuevos resortes y utilizamos las mismas tablas pegadas de madera. Ya con este modelo comenzamos las mediciones utilizando tres sensores de movimiento para medir la oscilación (uno para cada tabla).

Finalmente, tras los intentos de prueba y error, rediseñamos nuestra maqueta para poder cumplir con las hipótesis y que todo se pudiera ver muy claro. Logramos llegar a una buena idea que ya fue descrita previamente en la metodología.

Lamentablemente no pudimos terminar de construir la maqueta, por falta de recursos y de financiamiento, ya que el costo del equipo superó nuestras expectativas. En la siguiente tabla mostramos los costos de los materiales ocupados.

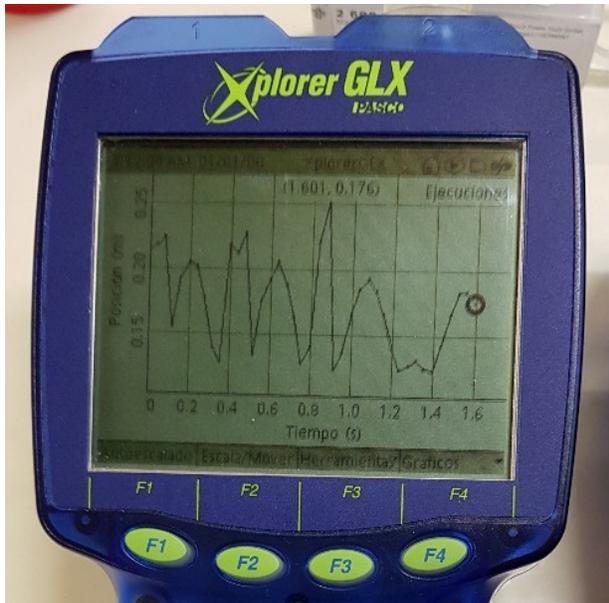
| Material | Canti | Cost | Cost |
|-----------------|--------------|--------------|-------------|
| | dad | o | o |
| | | unita | Gene |
| | | rio | ral |
| Aglomer | 2 | \$70 | \$140 |
| ado de | tablas | | |
| madera | | | |
| de | | | |
| 100x100 | | | |
| x0.6 cm | | | |
| Madera | 2 | \$110 | \$220 |
| de pino | tablas | | |
| de | | | |
| 2500x30 | | | |
| x2 cm | | | |
| Paquete | 1 | \$10 | \$10 |
| de 40 | | | |
| armellas | | | |
| Paquete | 3 | \$380 | \$1,14 |
| de 4 | | | 0 |
| ruedas | | | |
| Rieles | 2 | \$125 | \$250 |
| para | | | |
| clóset | | | |
| | | Cost | \$176 |
| | | o | 0 |
| | | total: | |

Sin embargo, era necesario obtener algunos resultados aunque sea parciales para determinar si la hipótesis se va a confirmar o no, o si necesitábamos hacer algún ajuste en el proyecto, por lo que armamos el sistema que se muestra a continuación, para

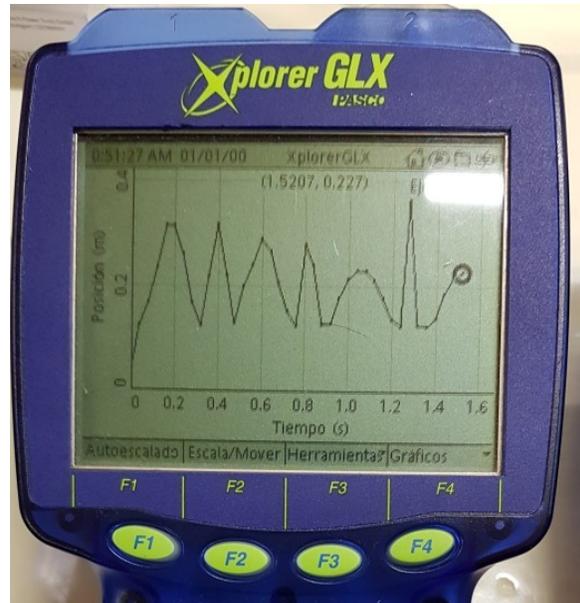
poder generar alguna oscilación que fuera factible medir con los sensores y una graficadora llamada Xplorer GLX.



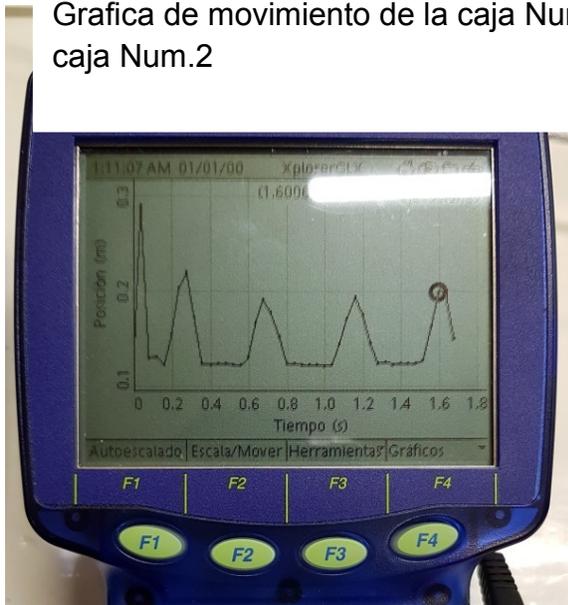
Avance de la mesa oscilatoria con los detectores de movimiento



Grafica de movimiento de la caja Num.3
caja Num.2



Grafica de movimiento de la



Grafica de la caja Num.1

De las gráficas mostradas anteriormente podemos observar cualitativamente que la posición de cada caja es determinante para el tipo de oscilación que presenta. Este resultado parcial no puede ser concluyente hasta que no sea terminado el prototipo final y las medidas que sean tomadas sean analizadas completamente.

CONCLUSIONES

Con base en la experimentación e investigación llevada a cabo en este proyecto, observamos, con ayuda de las gráficas, que la hipótesis planteada es correcta. A pesar de que no pudimos finalizar el prototipo por no haber contemplado gastos tan grandes desde el inicio, por lo que no pudimos solventar los gastos para los materiales adecuados, logramos obtener resultados parciales que nos ayudaron a llegar a una aproximación de a lo que pretendemos llegar, y a poder estimar si nuestro proyecto era viable o si teníamos que plantear una nueva manera de construir la mesa oscilatoria.

Pudimos observar que el fenómeno de resonancia se hizo presente en la mesa oscilatoria, presentando el terreno de transición una mayor oscilación. Con ayuda de la investigación, concluimos que este fenómeno es recurrente en los sismos que se presentan en la Ciudad de México por lo que es importante que en la construcción de los nuevos edificios se tome en cuenta esto. Está claro que no se puede cambiar el tipo de suelo, sin embargo, podemos proponer un cambio en la construcción de nuevas edificaciones con la finalidad de evitar que la frecuencia del sismo, no coincida con la frecuencia del edificio, salvando así más vidas y aumentando la vida útil de los edificios.

APARATO CRÍTICO

Aleida Rueda. (2012). La física del temblor de febrero. 15 de febrero de 2018, de Instituto de física de la UNAM Sitio web: http://www.fisica.unam.mx/noticias_fisicatemblor2012.php

Douglas C. Giancoli. (1993). Física: Principios Con Aplicación. Estados Unidos: Prentice-Hall.

Frank S. Crawford, Jr. (1968). Waves. Estados Unidos, Massachusetts: McGraw-Hill.

Víctor M. Cruz Atienza, Shri Krishna y Mario Ordaz. (2017). ¿Qué el 19 de septiembre de 2017 en México?. 10 de febrero del 2018, de UNAM Sitio web: <http://ciencia.unam.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-de-septiembre-de-2017-en-mexico->

Marcelo Alonso y Edward J. Finn. (1976). Física. Volumen I. Mecánica. Ciudad de México: Fondo Educativo Interamericano.

José Antonio Peralta, Porfirio Reyes López y Alfredo Godínez Muñoz. (2009). El fenómeno de resonancia. 14/11/17, de Instituto Politécnico Nacional Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3694141.pdf>

Yureli Cacho Carranza. (2016). Jorge Flores Valdés explica teoría física del sismo del 85. 15 de febrero de 2018, de CONACYT Sitio web: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/la-tierra/5591-sismo-1985-jorge-flores-valdes-explica-desastre-en-ciertas-zonas-e-directa>

Francisco Medina Martínez. (1997). Sismicidad y Volcanismo en México. Distrito Federal: Fondo de Cultura Económica.

Mosca, G & Tipler, P. (2010). Física para la ciencia y la tecnología. México: Editorial Reverté.