

**CUANDO LA TIERRA HABLA:
TERRREMOTOS. OSCILADOR MASIVO
AJUSTADO**



CENTRO UNIVERSITARIO MÉXICO

CIN2016A20163

AUTORES:

BLANCAS LEMINI LUIS ROBERTO

BRISEÑO SUAREZ JOSÈ PABLO

BURTON AZCOITIA ABRAHAM

CASTILLO CASTAÑEDA PAOLA FERNANDA

ASESOR:

JÉSUS FLORES TÉLLEZ

**CIENCIAS FISICOMATEMÁTICAS Y DE LAS
INGENIERÍAS**

FÍSICA

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

MÉXICO D.F

19/02/16

Resumen:

Dentro de los 20 países con más sismos registrados a nivel mundial podemos encontrar que 6 de estos se encuentran en Latinoamérica. México ocupa el lugar número 7 de estos. Los países con alto índice de sismos tienen la necesidad de diseñar edificios que puedan soportar la intensidad de sismo de magnitud alta., además, el estudio de estos fenómenos naturales es esencial para la construcción de edificios.

Es por esta necesidad que decidimos llevar a cabo este proyecto. Se creara un prototipo (mesa oscilatoria) que nos permita estudiar el fenómeno de resonancia, a partir de un edificio con bases y techos hexagonales. El prototipo será impulsado por un motor eléctrico, este estará graduado y se podrá aumentar o disminuir la intensidad, el cual nos permita observar un movimiento oscilatorio y como la estructura reacciona a la magnitud del movimiento aplicado.

Abstract:

Among the 20 countries with more earthquakes recorded globally we find that 6 of these are in Latin America. Mexico ranks seventh . Countries with high rates of earthquakes have the need to design buildings that can withstand the intensity of high-magnitude earthquakes. Additional study of these natural phenomena is essential for building construction.

It is for this need we decided to undertake this project. A prototype (oscillating table) in order to study the phenomenon of resonance, created with bases and roofs made in the shape of an hexagonal. The prototype will be activate by an electric motor, this will be graduated and may increase or decrease the intensity , which allows us to observe an oscillatory motion and how the structure reacts to the magnitude of movement applied.

Planteamiento del Problema

Es común que después de un terremoto como el que azotó a la Ciudad de México, surja la necesidad de conocer y cuantificar más a fondo las características, magnitudes y consecuencias que se presentan durante estos lapsos de tiempo tan cortos para el investigador, pero tan largos para el afectado.

Lo anteriormente mencionado es para que podamos evitar que un edificio colapse o sufra algún daño importante en su estructura en el momento en que entra en oscilación.

Por lo cual, crearemos un prototipo que nos permita estudiar el movimiento producido por los terremotos y estudiar el fenómeno de resonancia.

Hipótesis o conjeturas

Si la frecuencia natural de una estructura coincide con la frecuencia ejercida por una mesa osciladora, entonces se presentará el fenómeno de resonancia.

Si construimos un oscilador masivo ajustado y lo colocamos a un edificio en nuestra mesa oscilante entonces se evitará el fenómeno de resonancia disminuyendo la amplitud de la oscilación.

Justificación y sustento teórico

El Movimiento Armónico Simple: Características

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:

$$F^{\rightarrow} = -k \cdot x^{\rightarrow}$$

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)

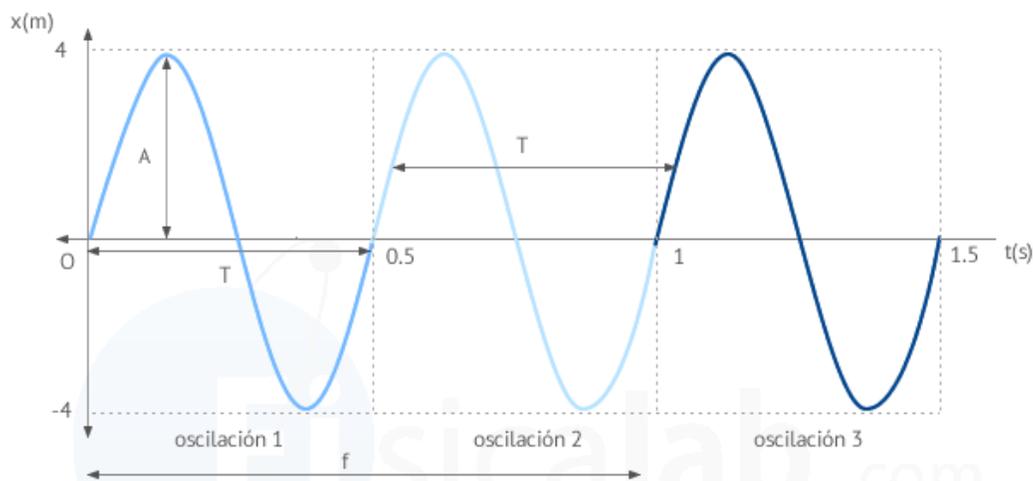
$$x=A \cdot \cos(\omega \cdot t+\varphi 0)$$

$$x=A \cdot \sin(\omega \cdot t+\varphi 0)$$

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



Magnitudes del M.A.S.

En la gráfica se muestra la gráfica de la elongación con respecto al tiempo de un determinado movimiento armónico simple. Observa que:

El mayor valor (más alto) de elongación en cada oscilación es la **amplitud** ($A = 4 m$).

El **periodo** es el tiempo que transcurre entre dos puntos que tienen la misma elongación y la misma tendencia de subida o de bajada. ($T = 0.5 s$)

La **frecuencia** es el número de oscilaciones completas por cada unidad de tiempo. ($f = 2 Hz$, es decir, 2 oscilaciones en 1 s).

La **velocidad angular** es $2\pi/T$, ($\omega = 4\pi rad/s$)

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 $\omega=2\cdot\pi T=2\cdot\pi\cdot f$

Gráfica de posición en el movimiento armónico simple (m.a.s.)

No es casualidad que el movimiento armónico simple se denomine, precisamente, armónico. También las funciones seno y coseno suelen denominarse funciones armónicas.

La gráfica de la elongación del movimiento armónico simple es la de una función sinusoidal cuya variable independiente es el tiempo.

Experimenta y Aprende

Magnitudes m.a.s.

La gráfica representa la elongación de una partícula que se mueve según un M.A.S. a lo largo del tiempo.

$$x(t) = A \cdot \text{sen} (\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Desliza los valores de las magnitudes de amplitud (A), velocidad angular (ω) y la fase inicial (φ_0) y observa que ocurre en la gráfica.

- Si aumentas A aumentarás la distancia entre los extremos de la trayectoria.
- Si aumentas ω y por tanto la frecuencia, disminuyes el periodo (disminuyes el tiempo en que se tarda en realizar una oscilación completa).
- Si aumentas la φ_0 , desplazas la posición inicial de la partícula.

Algunos casos de movimiento armónico simple

Es frecuente estudiar algunos elementos que se comportan como osciladores armónicos para entender las propiedades y características del m.a.s. con mayor profundidad. En este tema vamos a estudiar:

- El m.a.s. en muelles
- El m.a.s. en péndulos
- El movimiento armónico simple en el movimiento circular uniforme

Recuerdo de trigonometría...

Existen algunas relaciones trigonométricas que es importante que recuerdes y que te serán útiles cuando resuelvas ejercicios de este tema:

$$\cos(\alpha) = \sin(\alpha + \pi/2)$$

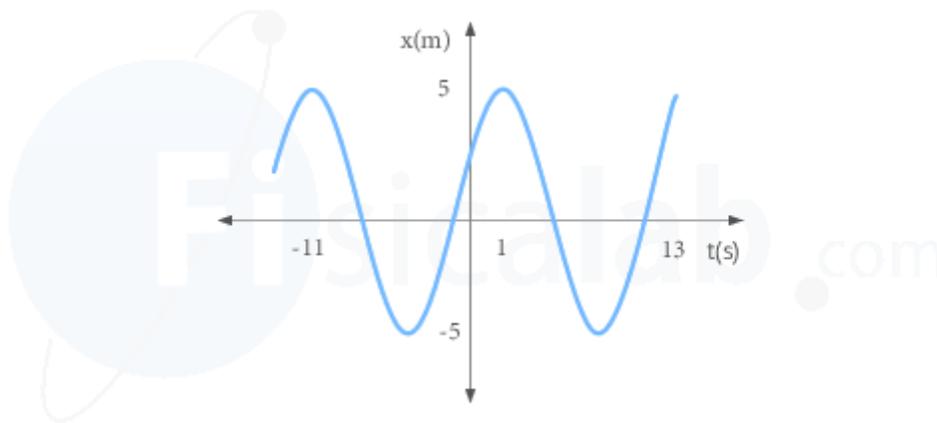
$$\sin(\alpha) = \cos(\alpha - \pi/2)$$

$$\sin(\alpha \pm \pi) = -\sin(\alpha)$$

$$\cos(\alpha \pm \pi) = -\cos(\alpha)$$

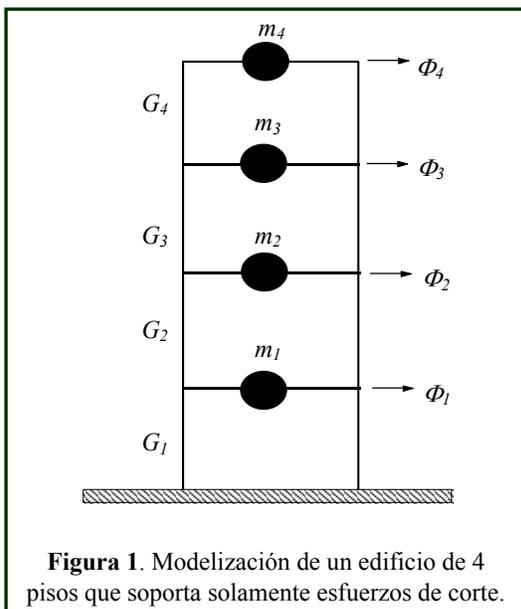
Ejemplo

La siguiente gráfica representa la elongación en función del tiempo de un cuerpo que se comporta según un movimiento armónico simple:



Determina la amplitud máxima, el periodo, la frecuencia, la frecuencia angular y la fase inicial del movimiento.

Vibraciones de Estructuras Complejas.



Todas las estructuras que poseen masa y elasticidad son capaces de vibrar. Estas vibraciones pueden ser excitadas por fuentes tales como terremotos como se presenta en nuestro proyecto. Si la frecuencia de estas fuentes de vibración coincide con una de sus frecuencias naturales de vibración, la estructura entra en resonancia y su amplitud de vibración puede alcanzar magnitudes lo suficientemente grandes para dañar o incluso destruirla. Para evitar la resonancia

es necesario conocer las frecuencias naturales de vibración de los diferentes modos de vibración de la estructura como también el espectro de frecuencias de las fuentes de vibración con las que la estructura puede entrar en contacto.

Se denomina análisis modal a las técnicas utilizadas para determinar los modos normales y sus respectivas frecuencias naturales de vibración. El análisis modal de las estructuras pasa necesariamente por una modelización matemática. La técnica más utilizada es el método de elementos finitos que consiste en dividir el continuo en un número finito de elementos (de allí su nombre) articulados entre sí.

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

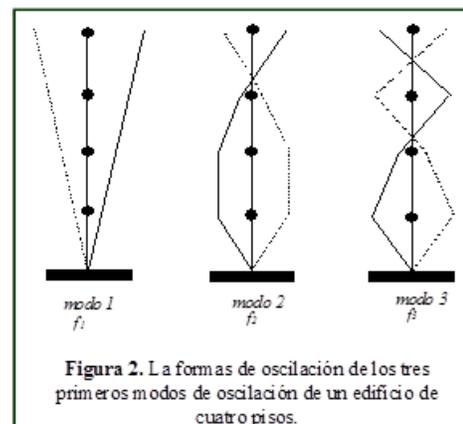


Figura 2. La formas de oscilación de los tres primeros modos de oscilación de un edificio de cuatro pisos.

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)

Objetivo General

1. Construir una mesa oscilante en la que se pueda reproducir de manera controlada, los efectos de un Terremoto.
2. Analizar los efectos de un terremoto en estructuras de diferentes características (altura, forma, material y amortiguadores).
3. Construir un oscilador masivo ajustado para evitar el fenómeno de resonancia

Proponer un modelo el cual disminuya los efectos del fenómeno de resonancia.

Metodología de Investigación

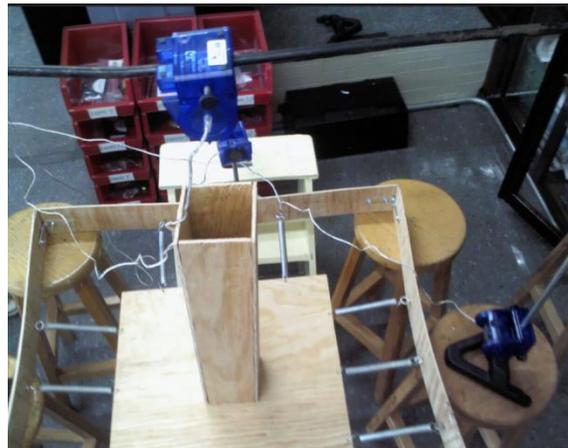
- 1) Se investigó acerca de los tipos de movimientos que se generan en un temblor y el fenómeno de resonancia, además del movimiento armónico simple
- 2) Usamos los anteriores principios para trabajar y poder determinar una manera en la que se reduzca el movimiento que sufre una estructura, y evitar que la misma tenga daños importantes
- 3) Se construyó un modelo que cumpliera con las características para poder simular un edificio real. Para hacer el mismo, hicimos ocho pisos, que inicialmente eran en forma cuadrangular y que posteriormente pasarán a ser en forma de un hexágono de 9cm de lado y a cada hexágono se le agregaron 3 bordes de madera de 9 cm de largo y 0.5 cm de espesor, que unirán las columnas con los pisos.



- 4) Se diseñó una maqueta de una mesa oscilatoria, utilizando cuatro tablas de madera de 60.5cm de largo y 2 cm de espesor para hacer la base oscilatoria, en cada esquina se colocaron soportes de plástico para levantar la base, se utilizaron 3 resortes en la parte anterior de la base para unirla a un cuadrado de 30 cm de largo, 30 cm de ancho y 2 cm de espesor. A la misma, le agregamos a uno de sus lados un motor para reproducir un movimiento parecido al de un terremoto y que logra mover la estructura de la mejor manera.



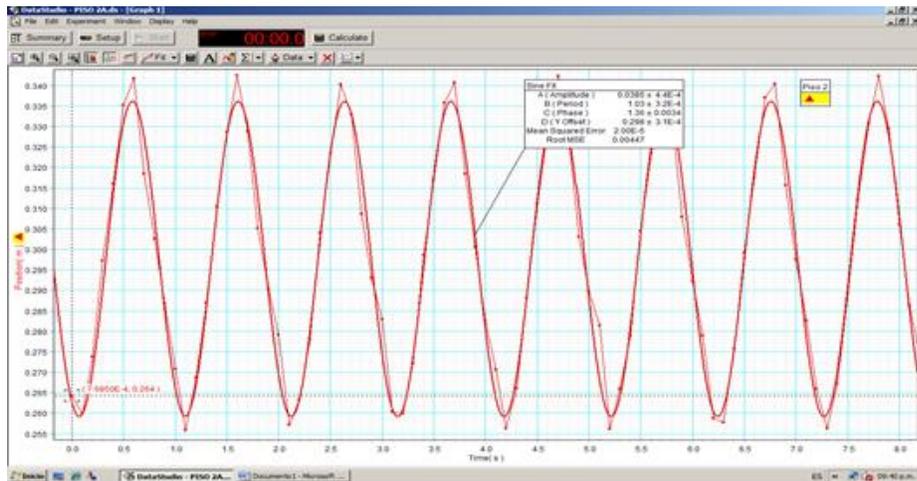
5) Usamos un Explorer para obtener las gráficas de movimiento que se generaban con la oscilación.



Resultados.

Se ha construido una mesa osciladora con la capacidad de moverse (movimiento oscilatorio y trepidatorio) en base a tablas de madera y resortes. Se le instalará un motor eléctrico el cual proporcione el movimiento ya antes mencionado, de manera constante para fines de estudiar las gráficas que se elaboraron.

Con el sensor de movimiento y el Explorer, tomamos una medida del edificio cuadrado que se mostrará a continuación.



Ésta gráfica muestra el modo de oscilación del edificio, pero consideramos que no podemos controlar la frecuencia de oscilación de la mesa, por lo que esperamos colocar un motor de una manera más eficiente que permita modificar la frecuencia de oscilación.

Conclusiones.

De los resultados obtenidos no podemos concluir la relación que existe entre la altura de un edificio y la frecuencia de oscilación de un temblor, por lo cual estamos diseñando un edificio de superficie hexagonal, y desmontable que permita variar la altura del edificio así como, el motor que genere la oscilación tenga una posibilidad de modificar la frecuencia de oscilación.

Fuentes Bibliohemeroográficas y/o de Internet

Nava, A. (2012). TERREMOTOS. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 11-158 pp.

Ugadel, A. (2009). TERREMOTOS: CUANDO LA TIERRA TIEMBLA. Cataratas. España, Madrid. 15-77pp.

Avallone, E. (1982). INGENIERIA MECÁNICA. Mc Graw Hill. México, D.F. 15-2 - 15-14 pp.

Davies, P. (1998). THE NEW PHYSICS. Cambridge University Press. UK, Cambridge. 236-329 pp.

Baumestier, T. (1982). INTERACTIVE PHYSICS. Mc Graw Hill. México, D.F. 138-210 pp.

