

---

## RESONANCIA EN PLACAS DELGADAS

---

*José Antonio Peralta*

Departamento de Física, Escuela Superior de Física y Matemáticas  
Instituto Politécnico Nacional

*C. G. Pavía Miller*

Departamento de Física, Escuela Superior de Física y Matemáticas  
Instituto Politécnico Nacional

Departamento de Ciencias Básicas

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco  
México D.F. - MÉXICO

### **Resumen**

*Dada la importancia del fenómeno de resonancia en diferentes aspectos de nuestra vida, se presenta un dispositivo de construcción sencilla para generar estados de resonancia en una placa metálica elástica, posibilitando diferentes niveles de análisis dependiendo de la preparación de los alumnos.*

### **I. Introducción**

La dificultad que en general encuentran los alumnos de física de nivel medio para relacionar lo que se les enseña con temas de su interés cotidiano, es tal vez una de las principales causas que explican el poco atractivo que esta materia les representa. Es por ello importante, para quien enseña, demostrarles que ciertos comportamientos misteriosos, curiosos o impactantes de las cosas, pueden explicarse perfectamente desde el punto de vista de la ciencia y de la física en particular. El fenómeno de resonancia es uno de estos comportamientos, se manifiesta en nuestra vida cotidiana de muchas maneras y aún en situaciones extremas como es la vivencia de un sismo.

El caso más palpable de resonancia se presenta cuando sobre un sistema elástico caracterizado por ciertos modos naturales de oscilación, opera una fuerza externa de carácter periódico; como sabemos, si la frecuencia de la fuerza externa coincide con la frecuencia de uno de los modos naturales de vibración del sistema elástico, ésta vibra con una amplitud máxima y en ausencia de viscosidad tiende de hecho al infinito.

Muchos fenómenos de nuestra vida se explican por el estado de resonancia, por ejemplo:

Empujar un columpio para que éste vaya alcanzando gradualmente oscilaciones de gran amplitud, es un caso elemental de resonancia, ya que la fuerza de quien empuja se acompasa con la oscilación natural del columpio.

Cuando al estar dentro de un recinto cerrado oyendo música, los vidrios de las ventanas vibran de pronto con gran amplitud al escucharse ciertas notas musicales, es también un hecho que se explica por la resonancia.

Todos hemos pasado por la experiencia de sufrir la vibración de un automóvil mal alineado cuando alcanza cierta velocidad, dándonos cuenta de que la vibración desaparece cuando se disminuye o se aumenta la velocidad. Este es también un caso de resonancia.

En un nivel más profundo, la percepción y el reconocimiento humano de los sonidos a nivel del cerebro, implica la descomposición de la señal sonora en sus componentes de frecuencia, y este análisis de frecuencias se lleva a cabo en la cóclea o caracol a través de efectos resonantes mecánicos (Bekesy, 1960).

Los puentes mismos pueden ser destruidos si una fuerza tan relativamente poco importante como la que produce el viento, se presenta en forma periódica y con una frecuencia que coincida, por ejemplo, con la frecuencia de un modo torsional de oscilación del puente, tal como en forma dramática lo mostró la destrucción del puente del estrecho de Takoma en Puget Sound, en el estado de Washington en noviembre de 1940 (Miller, 1963).

Pero un caso aún más dramático de resonancia se puede presentar durante un evento sísmico, en este caso la frecuencia con que oscila el suelo puede coincidir con la frecuencia natural de algunos edificios, induciéndoles oscilaciones tan amplias que los lleven al derrumbe final. Esto es justamente lo que, de acuerdo a ciertos investigadores, ocurrió durante los sismos de 1985 en la ciudad de México (Flores et al., 1987). En este caso de las zonas más dañadas, la frecuencia dominante de oscilación del suelo tuvo un período de 2 segundos, causando destrozos e impactando particularmente a los edificios de 5 a 15 pisos que presentaron un período natural cercano al de la onda sísmica.

El fenómeno de resonancia se puede presentar pues en una gran variedad de situaciones de nuestra vida, por ello mismo merece sensibilizar la atención de los alumnos hacia la ocurrencia de tal fenómeno, proponiéndoles experimentos que les permitan analizarlo tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo.

De acuerdo con esta argumentación, presentamos en este trabajo un dispositivo experimental de construcción sencilla, que permite inducir el estado de resonancia en una placa metálica elástica variando la frecuencia de una fuerza magnética, posi-

bilitando diferentes niveles de análisis dependiendo del nivel en que se encuentre el educando.

## II. Diseño del dispositivo

### 1) GENERADOR DE PULSOS

El objetivo del dispositivo es hacer actuar una fuerza magnética pulsátil sobre una placa elástica de metal, por tanto, es preciso diseñar un arreglo electrónico que permita generar este tipo de pulsos magnéticos. El campo magnético se generará utilizando una bobina provista de un núcleo de ferrita. Esta bobina se alimentará con un transformador conectado a la línea que tendrá una salida de 24 volts y 2 amperes de corriente máxima. Para producir los pulsos magnéticos se interrumpirá periódicamente la corriente del transformador mediante un interruptor electrónico tipo triac. La operación del triac estará regulada por un temporizador tipo 555, con una señal de salida que deberá previamente ser invertida para obtener pulsos de voltaje con anchos de meseta adecuados. En la Fig. 1 mostramos el circuito que activará al triac.

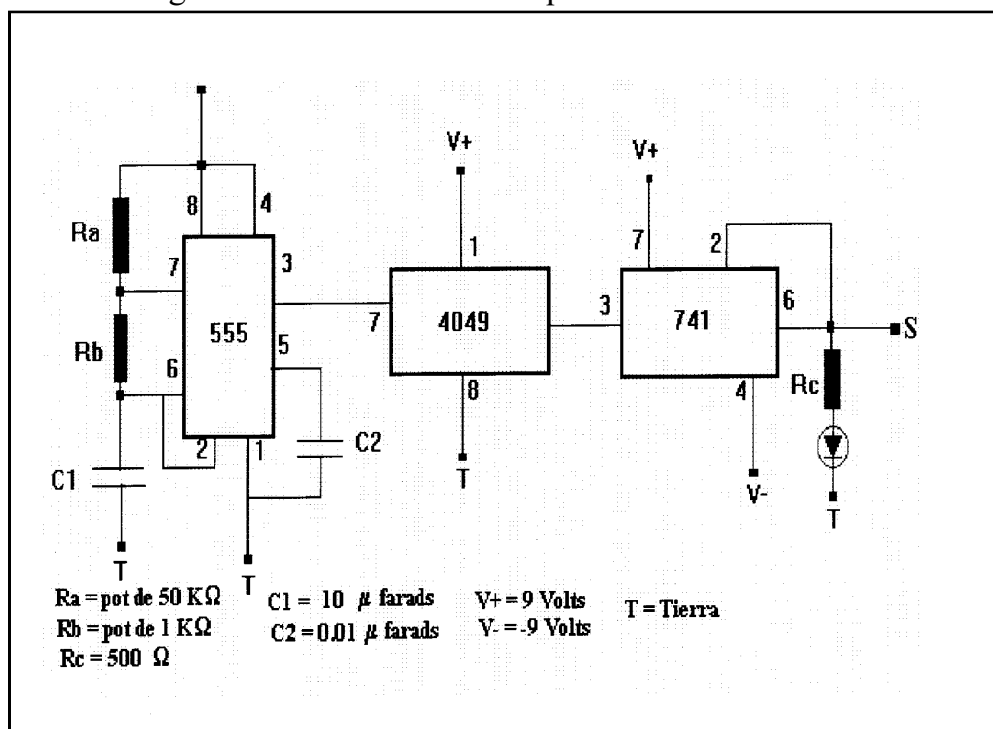
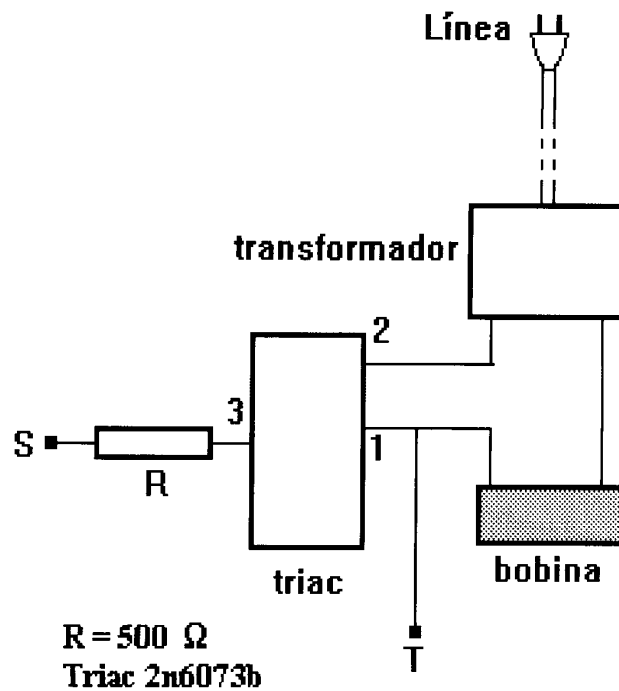


Fig. 1 - El temporizador 555 en configuración estable, genera pulsos cuadrado con una forma y una frecuencia que dependen de los valores  $R_a$ ,  $R_b$  y  $C_1$ . El chip 4049 invierte a estos pulsos para lograr anchos de meseta suficientemente estrechos. El operacional 741, funcionando como seguidor, finalmente permite activar al triac y al mismo tiempo operar un led para visualizar los pulsos de fuerza.

Por otra parte, el acoplamiento del generador de pulsos con la bobina prevista del interruptor electrónico se muestra en la Fig. 2.



*Fig2 - Circuito para interrumpir la corriente de la bobina. La bobina es de 5.5 cm de longitud y un diámetro interior de 1 cm, con 500 vueltas de alambre. S se acopla a la salida de circuito generador de pulsos de la Fig. 1.*

Con la configuración estable del temporizador 555 acoplado al inversor 4049, podemos variar la frecuencia de los pulsos de corriente, estando dado el tiempo de conducción del interruptor electrónico en cada ciclo por la expresión

$$T_b = 0.693 R_b C_1$$

y el tiempo de no conducción por

$$T_a = 0.693 (R_a + R_b) C_1$$

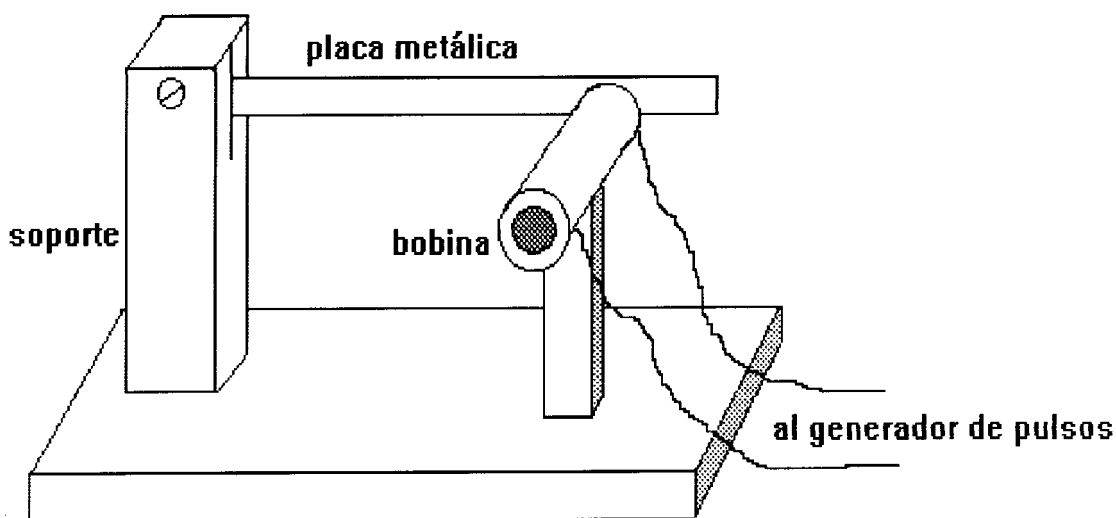
por tanto la frecuencia de la fuerza magnética periódica será

$$\nu = 1 / (T_b + T_a)$$

En conclusión, la frecuencia de la fuerza externa se podrá variar con el pot de 50 KΩ, y tendrá un valor mínimo de 2.8 Hz, y un valor máximo tan alto como se quiera, mientras que el ancho del pulso de fuerza se seleccionará con el pot de 1 KΩ y tendrá una duración máxima de 6.9 ms.

## 2) GENERACIÓN DE OSCILACIONES

Si sujetamos de una base firme a la placa y colocamos frente al extremo libre de ella la bobina con el núcleo de ferrita, tal como se aprecia en la Fig. 3, podremos percibir en forma cualitativa que, en efecto, para cierta frecuencia de la fuerza magnética periódica, la placa oscila con una máxima amplitud. Esto de por sí ya representa para los estudiantes de nivel medio una experiencia interesante y novedosa, a partir de la cual el maestro puede enumerar toda una serie de situaciones en las cuales ocurren fenómenos análogos a los que muestra el experimento.



*Fig. 3 - Arreglo experimental para visualizar la resonancia. Las oscilaciones de la placa "una segueta de arco" se desarrollan en el plano horizontal.*

## 3) DETECTOR DE OSCILACIONES MECÁNICAS

Si el nivel del curso lo permite y si el laboratorio cuenta con un graficador, un osciloscopio o una tarjeta de captura acoplada a una computadora, se puede pasar a la etapa siguiente, es decir, a la medición de la frecuencia y la amplitud de las oscilaciones de la placa. Para medir la amplitud de las oscilaciones de la placa metálica, recurriremos a una celda solar iluminada por una lámpara de intensidad fija, pero que sufrirá interrupciones en su iluminación por el apantallamiento de una tarjeta opaca (de muy poco peso) adherida a la placa metálica, tal como se aprecia en la Fig. 4.

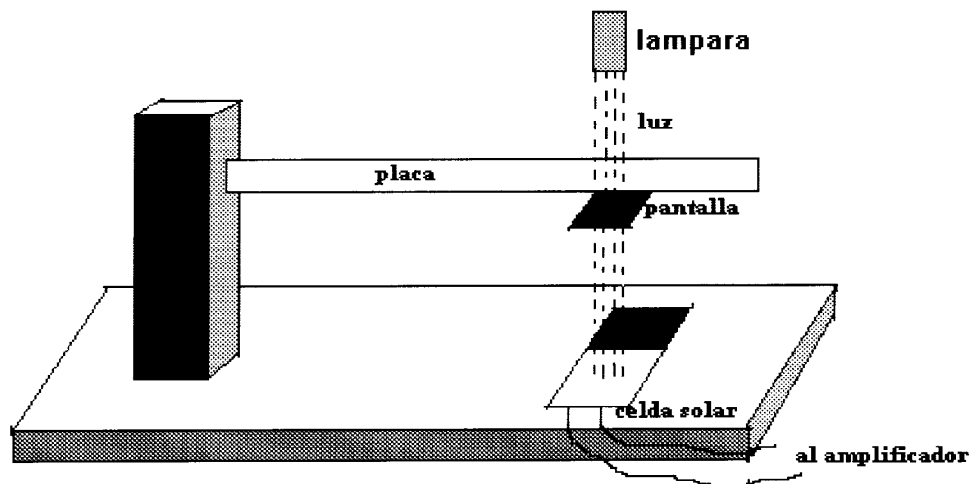


Fig. 4 - Dispositivo para medir la amplitud de las oscilaciones de la placa.  
(de la figura se ha excluido por falta de espacio la bobina).

Si la placa oscila, la luz incidente sobre la celda solar variará generando por tanto un voltaje oscilante. Para visualizar mejor las variaciones de voltaje de la celda solar se recomienda conectar la salida de la celda a un amplificador como el de la Fig. 5, que además de amplificar la señal filtrará el ruido de la línea de 60 Hz que usualmente aparece en este tipo de medidas.

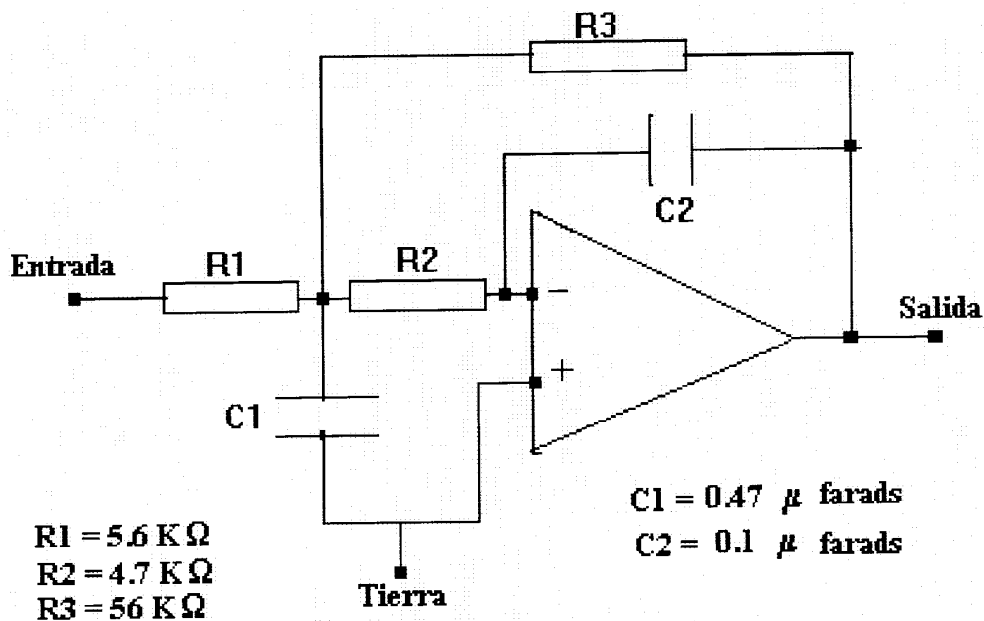
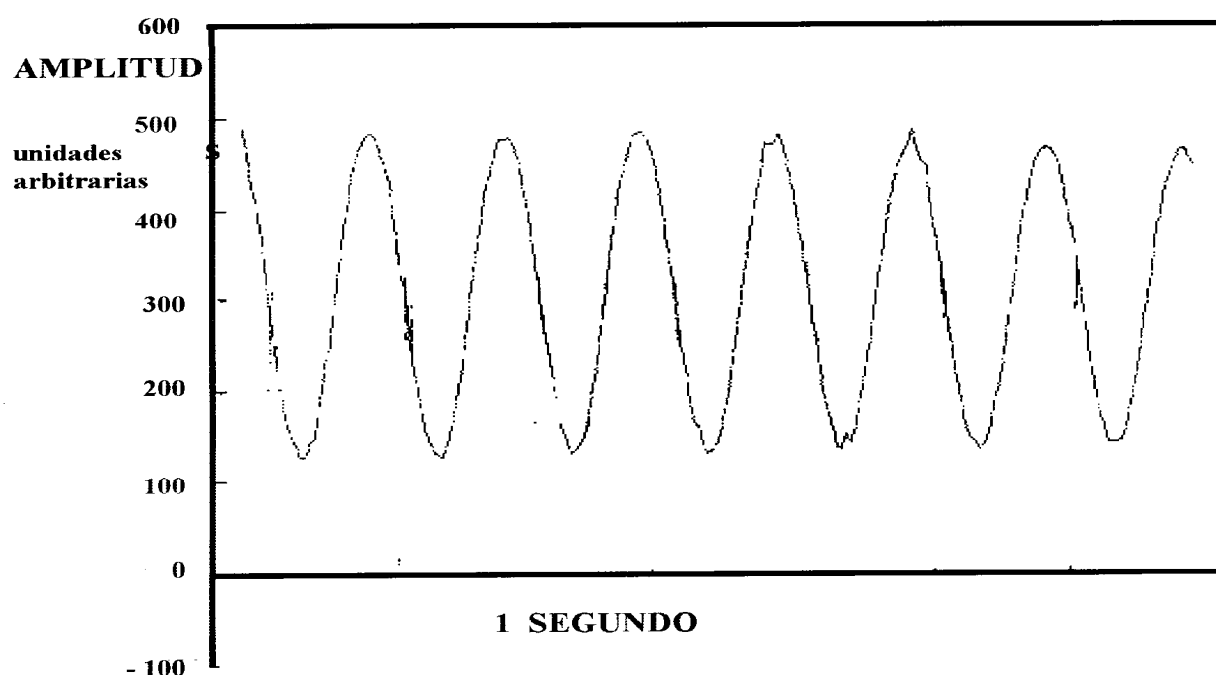


Fig. 5 - Circuito del amplificador de la señal de la celda solar.

### III. Resultados

Para visualizar las oscilaciones y los pulsos de fuerza del generador, podemos conectar la salida del amplificador a un graficador, o a un osciloscopio de dos canales, o bien a una computadora dotada de interfase de captura. En un canal observaremos las oscilaciones de voltaje, que serán proporcionales a las oscilaciones de la placa si el arreglo es adecuado, y en otro canal aparecerán los pulsos del generador que activa al triac, que son síncronos con los pulsos de fuerza. Al visualizar mediante la técnica aquí propuesta el modo natural de oscilación de la placa para una longitud dada, obtenemos los resultados que se muestran en la Fig. 6.



*Fig. 6 - Oscilación natural de la placa elástica.*

Y ahora, barriendo lentamente la frecuencia del generador de pulsos, alrededor de la frecuencia natural de la placa, obtenemos la envolvente de las oscilaciones, que, como se observa en la Fig. 7, presenta una zona de máxima amplitud.

Investigando en detalle la sincronización de pulsos y oscilaciones en la zona de máxima amplitud, observamos que, en efecto, en el estado de resonancia, coinciden ambas frecuencias Fig. 8.

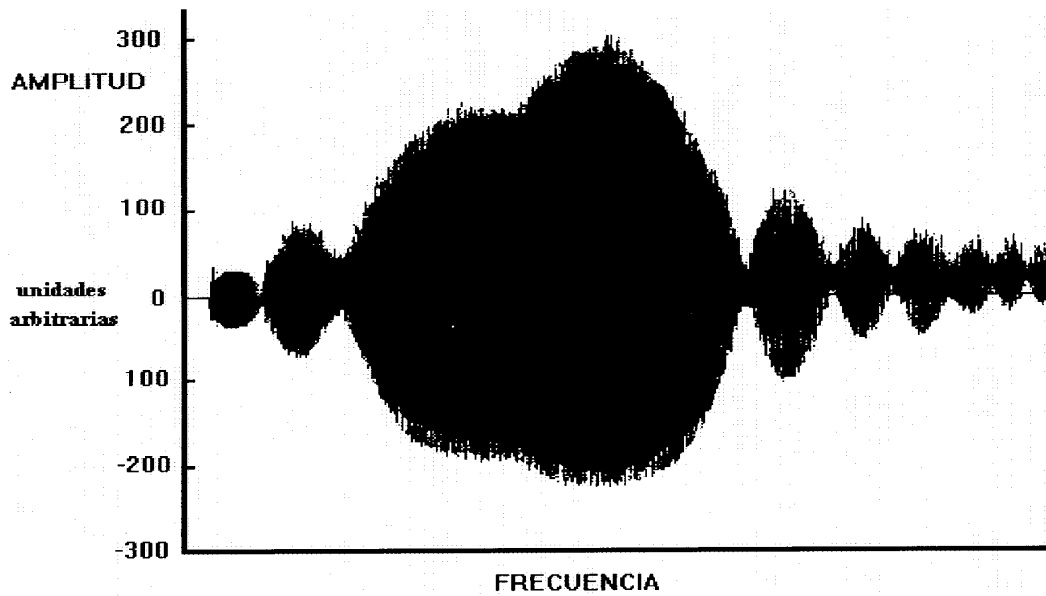


Fig. 7 - Envolvente de la amplitud de oscilación para diferentes frecuencias de estimulación mecánica.

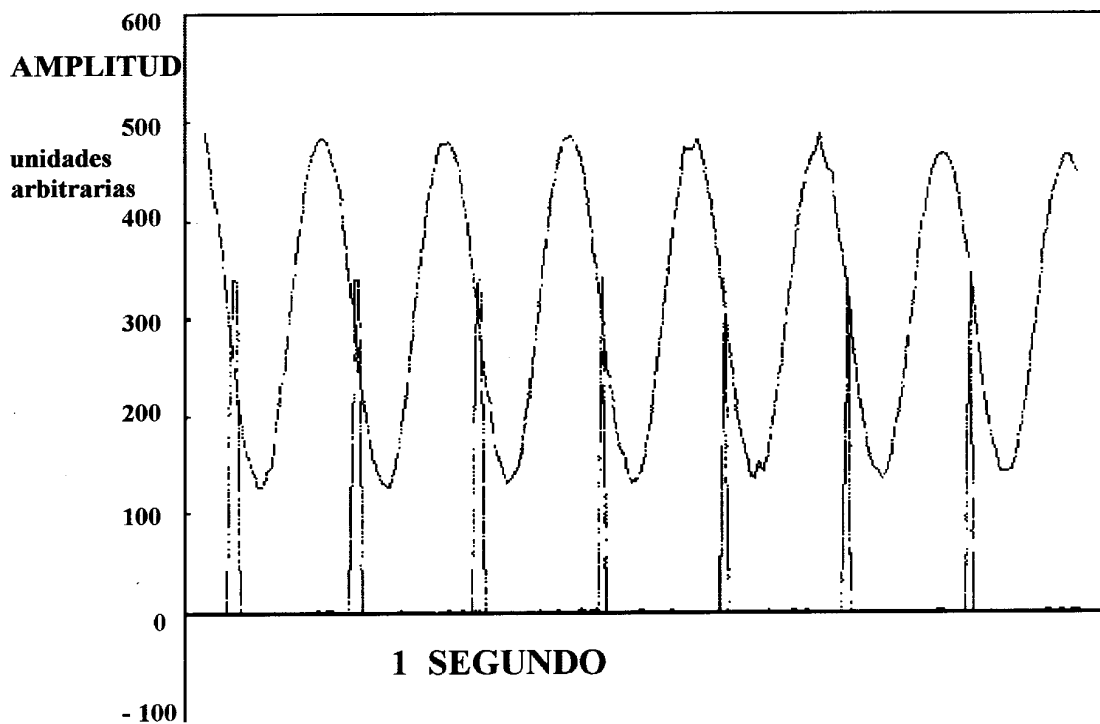


Fig. 8 - Coincidencia de frecuencias en la zona de resonancia. Los pulsos de fuerza están representados por los pulsos estrechos.



#### **IV. Conclusiones**

El dispositivo aquí mostrado permite visualizar con gran claridad a partir de la variación en la frecuencia de la fuerza externa oscilante, el fenómeno de resonancia en placas metálicas fijas por uno de sus extremos. En este sentido, puede formar el contenido de una práctica típica del laboratorio de Física correspondiente bien al nivel de secundaria, si el maestro se mantiene en un nivel cualitativo, o bien a uno de niveles superiores si se pasa al nivel cuantitativo.

#### **Referencias**

BEKESY, G. Von: *Experiments in Hearing*, Mc. Graw-Hill Book Co, New York, 1960.

FLORES. J., NAVARO. O. y SELIGMAN. T. H., *Possible resonance effect in the distribution of earthquake damage in Mexico City*, Nature. **326**(1987)783.

MILLER Franklin Jr., Ohio State University, *TACOMA NARROWS BRIGE COLLAPSE*, Video Cassete, EALING FILM-LOOPS, Cambridge Mass, 1963.