

“UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE”

INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO
EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO Y APLICACIÓN DE UN ABSORBENTE
DINÁMICO DE VIBRACIONES Y SU SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y
VISUALIZACIÓN DE DATOS PARA EL LABORATORIO DE MECANISMOS Y
SERVOMEKANISMOS DEL DECEM”**

Andino Arcos Diana Maribel

Reyes Terán Karina Magdalena

Ing. Fernando Olmedo

dianyand@hotmail.com, kary_reyter@hotmail.com, folmedo@espe.edu.ec

Sangolquí-Ecuador

RESUMEN

El propósito del presente proyecto consiste en apoyar el desarrollo técnico del país y principalmente de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” implementando un prototipo experimental Absorbente de Vibraciones, aplicable para pruebas experimentales educativas, técnicas y profesionales. Involucra además, la recopilación de información básica necesaria para comprender la operación y el funcionamiento de este tipo de absorbentes dinámicos de vibraciones y sus componentes correspondientes. Se plantearon posibles alternativas de solución, que cumplan con

los requisitos especificados. La mejor alternativa fue la de usar un absorbedor masa – viga, seleccionada la mejor alternativa, se procede con el diseño de todos los elementos que permiten el funcionamiento del equipo, El Sistema de Adquisición de Datos incluye tarjetas de acondicionamiento de señales, un software que controla la adquisición, visualización, manipulación, almacenamiento, facilitando de esta manera al usuario a visualizar las distintas gráficas y datos, obteniendo como resultado la longitud óptima donde se absorbe la mayor vibración es de 240mm.

PALABRAS CLAVES

- Absorbedor
- Vibración
- Dinámica
- Adquisición
- Datos

ABSTRACT

It is common practice, in the study of solid mechanics and mechanical vibrations, to assume that a cantilever in a beam is completely rigid. However, since 50 years ago it is well known that even if a cantilevered beam is monolithically machined from a material with a high elastic modulus there will be significant differences between the deflections predicted by the classical flexion theory and the real deflections. This contribution presents experimental evidence of this phenomenon and its consequences in the determination of the first natural frequency of a vibratory system formed by a cantilevered beam.

1. INTRODUCCIÓN

El Prototipo Experimental para el Análisis de las Curvas características de un Absorbente de Vibraciones Dinámicas y el Sistema de Adquisición de Datos que se va a implementar en el Laboratorio de Mecanismos y Servomecanismos del DECEM, está dotado de un motor de 1/4 de Hp, en la parte superior del equipo está una viga rectangular, en la cual está acoplado un Absorbente, además en el acople de la viga se ha adherido un acelerómetro el que se encargará de medir las vibraciones, la señal

eléctrica proveniente del acelerómetro y podrá ser visualizada en la pantalla del computador.

La señal eléctrica proveniente del acelerómetro, que será alimentado al sistema de adquisición de datos y mostrara en la pantalla del computador.

Mediante el gráfico de las curvas características mostradas en la pantalla del computador, los alumnos que utilizarán este equipo analizaran las curvas características de aceleración, velocidad y desplazamiento a partir de las vibraciones que emite el sistema y su decaimiento con el absorbente, las cuales se reflejaran en un software.

El Sistema de Adquisición de Datos incluye el desarrollo de las tarjetas de acondicionamiento de señales de un software que controle la adquisición, visualización, manipulación y almacenamiento de los datos obtenidos a través de un puerto del computador, capaz de interactuar con el usuario mediante un interface gráfico en donde el usuario pueda observar los datos obtenidos.

2. DISEÑO DEL EQUIPO

Todo sistema vibratorio forzado tiene mejor comportamiento o es mucho más estable cuando la frecuencia de excitación (rpm del motor) es mucho más alta que la frecuencia natural del sistema por lo que uno de los factores principales para el diseño es conseguir que esta relación sea mucho mayor que uno considerando variables que influyan en este parámetro como son la masa, o peso propio del sistema, la constante de rigidez de la viga, la longitud, inercia de

la viga, módulo de Young y en menor importancia la potencia.

2.1. PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO

Para el diseño del equipo se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Peso del sistema
- Frecuencia natural
- Potencia
- Frecuencia de Excitación
- Módulo de Young
- Inercia y Longitud de la viga.

2.2. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

La relación de transmisión debe ser una relación tal que nos permita trabajar en un punto más alto que la de la resonancia por lo que primero se debería calcular la frecuencia natural del sistema. La r_t está en función de la ω_f que debe ser mayor a la ω_n , la r_t es inversamente proporcional al valor de ω_f y es directamente proporcional al peso. Los motores de Corriente alterna normalmente trabajan en rangos de velocidad de 1750 a 3700 rpm, por eso tomamos un valor de 3500 rpm.

r_t	ω_M	ω_f	ω_n	Res.
0.5	3500	7000	866,4	8,08
1	3500	3500	866,4	4,04
1.5	3500	2333.3	866,4	2,7
2	3500	1750	866,4	2,02
2.5	3500	1400	866,4	1,62
3	3500	1166,6	866,4	1,35

La r_t más adecuada para este proyecto es la de 1.5 porque se puede obtener un valor que está alejado de la zona de resonancia, sabiendo que cuando la frecuencia de excitación coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, tiene lugar un fenómeno de resonancia. La característica más importante de la resonancia es que da lugar a grandes desplazamientos, en la mayor parte de los sistemas mecánicos, la presencia de grandes desplazamientos es un fenómeno indeseable ya que provoca la aparición de tensiones y deformaciones igualmente grandes que pueden ocasionar el fallo del sistema.

2.3. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

Para determinar la potencia requerida del motor es necesario conocer los siguientes parámetros:

- Inercia de las masas en movimiento.
- Aceleración angular desde la velocidad angular inicial hasta la velocidad de trabajo.
- El torque necesario para mover los elementos y a partir de este determinar la potencia requerida.

3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) es una configuración física y lógica que permite realizar captura de información de un experimento. La configuración física o hardware viene dada por un conjunto de dispositivos electrónicos que permiten la conversión de señales analógicas en datos digitales. Por configuración lógica o software se entiende al sistema que realiza el control del hardware y transporta los datos a un computador, para procesarlos y analizarlos. La principal función de un sistema de adquisición de datos es transmitir las señales analógicas y/o discretas por medio de sus canales de entrada tomadas a través diferentes sensores de un proceso cualquiera.

El periodo de Adquisición de Datos tiene como objetivo fundamental transformar la señal en un formato que acepta la computadora o el sistema de control, en la que se puede: procesar, almacenar, analizar y desplegar la información ingresada. Consiste en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en intenciones eléctricas y digitalizarlas de manera que se pueda procesar en una computadora o PLC. Se requiere una etapa de acondicionamiento que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital, el módulo o tarjeta de adquisición de datos (DAQ) es el encargado de realizar dicha transformación.

3.1. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DAQ.

Un sistema de adquisición de datos DAQ, permite capturar, leer, medir datos, almacenarlos, procesarlos y exhibirlos en alguna forma.

Las partes que conforman un DAQ típico son:

- Transductores que transforman las variables físicas a medir en señales eléctricas.
- Canales analógicos para la recepción de las señales de los transductores.
- Un convertidor A/D para digitalizar las señales analógicas.
- Canales digitales de entrada.
- Canales digitales de salida.
- Canales analógicos de salida.
- Contadores/Temporizadores.
- Un circuito de control para manejar las partes anteriores.
- Una interfase para computadora.
- Un software para que el usuario interactúe con el DAQ.

Cualquier experimento requiere del empleo de un DAQ. Algunos DAQs pueden integrar todas estas partes en un solo aparato como es el caso del osciloscopio. Otros DAQs pueden estar repartidos en múltiples unidades, sobre todo cuando presentan amplias prestaciones.

3.2. ARDUINO

Es una plataforma de hardware de código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing, sin embargo es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones de Arduino; como por ejemplo:

- Java
- Flash
- Pure Date
- C
- C++
- Matlab
- Visual Basic.NET

Arduino es un dispositivo que conecta el mundo físico con el mundo virtual, o el mundo analógico con el digital y puede ser usado para crear objetos interactivos, leyendo datos de una gran variedad de interruptores y sensores y controlar multitud de tipos de luces, motores y otros actuadores físicos.

4. CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR DE VIBRACIÓN

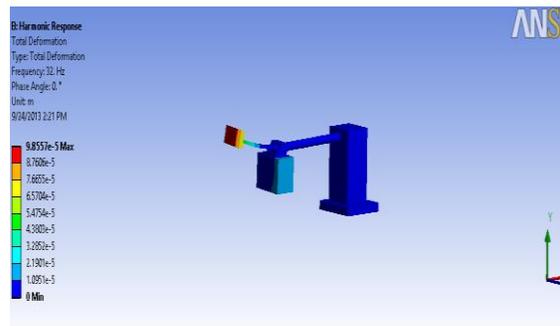
La construcción del Prototipo experimental de un Absorbente dinámico de vibraciones, no representa gran dificultad, por lo que se realizó en un taller que cuenta con máquinas y herramientas apropiadas para llevar a cabo este objetivo.

4.1. MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS

Para la realización de los diferentes elementos a construirse se emplean diversas máquinas herramientas como son: torno, fresadora, limadora, soldadora, rectificadora; herramientas manuales como: taladro, machuelos limas e instrumentos de medición como: calibrador, galgas, escuadras y flexómetro.

4.2. ABSORBEDOR

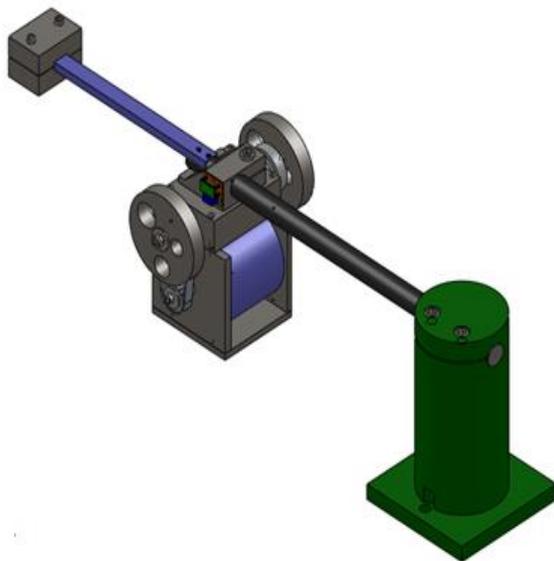
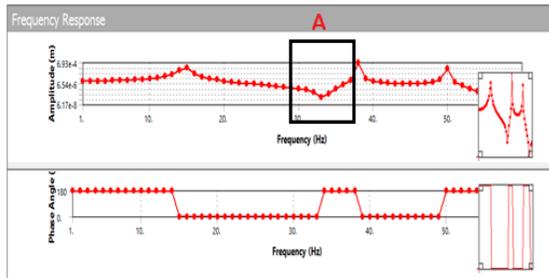
Se analiza que con la presencia del absorbedor la viga permanece completamente estática, y la viga donde está colocado el absorbedor, absorbe toda la vibración.



4.3. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS

La Figura muestra el análisis de frecuencia lo que quiere decir que en la posición A la frecuencia con la que el equipo está en movimiento está próxima a la ω_f del sistema que es de 38.8 Hz, se puede concluir que las medidas de la viga del absorbedor y del absorbedor son las necesarias para nuestro equipo, la longitud donde está colocado el absorbedor es la ideal y es donde disminuye la vibración completamente.

- Longitud de la viga del Absorbedor: 270 mm
- Relación de transmisión : 1.5



4.4. OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Para la operación y funcionamiento del equipo se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Peso del sistema: 14 Kg
- Frecuencia natural: 15,26 Hz
- Potencia: ¼ hp
- Frecuencia de Excitación: 38,8 Hz
- Inercia de la viga: $2,048 \times 10^{-8} \text{ m}^4$
- Inercia del absorbedor: $4,57 \times 10^{-10} \text{ m}^4$
- Longitud de la viga: 500 mm

4.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas de funcionamiento son esenciales para analizar, verificar, comprobar y validar el estado completo del equipo.

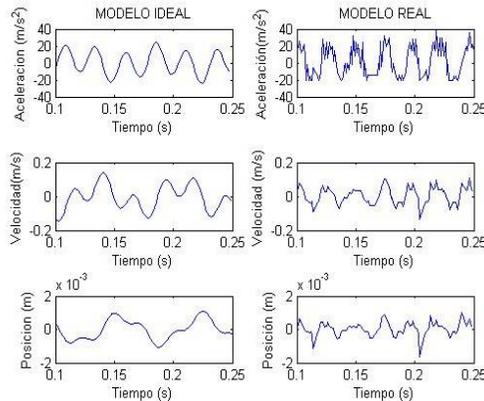
Antes de proceder a las pruebas del equipo es necesario conocer el procedimiento que se debe realizar.

4.5.1. PROCEDIMIENTO

1. Determinar la frecuencia natural del sistema principal, usando la fórmula
2. Para la frecuencia forzada de operación del motor, se varió la longitud de la masa entre 80mm, 160mm y 240mm, hasta encontrar la
3. posición en la cual desaparece la vibración de la viga principal $L=240\text{mm}$; determinar la amplitud de vibración.
4. Repetir el mismo proceso para distintas masas de los discos de desbalance.

4.5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y GRÁFICOS

- ANÁLISIS SISTEMA IDEAL - SISTEMA REAL SIN ABSORBEDOR



Análisis Sin Absorbedor

Análisis Ideal

Las vibraciones forzadas se deben a la acción de una fuerza o desplazamiento externo al sistema, que actúa durante el movimiento, en primer lugar se tomó en cuenta la respuesta a una excitación armónica (fuerza o desplazamiento) de un sistema de 1 gdl.

Se considera un sistema de 1 gdl, sin amortiguamiento, que se excita con una fuerza externa armónica, que puede tener la forma de un seno o coseno, función de una única frecuencia ω . Para el desarrollo de la respuesta se ha elegido la fuerza excitadora como $F(t) = F_0 \sin(\omega t)$, donde F_0 representa la máxima amplitud de la fuerza aplicada.

Para este análisis se considera el caso ideal de un sistema no amortiguado, la ecuación que describe el movimiento es la Ec. 50.

$$m\ddot{x} + kx = F_0 \sin(\omega t)$$

La solución particular se obtiene por el método de los coeficientes indeterminados.

$$X_p(t) = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t)$$

La respuesta general del sistema es:

$$x(t) = x_0 \cos(\omega_n t) + \left(\frac{x_0}{\omega_n} - r \frac{x_{est}}{1-r^2} \right) \sin(\omega t) + \frac{x_{est}}{1-r^2} \sin(\omega t)$$

Válida siempre que $r \neq 1$ y $\omega \neq \omega_n$.

Análisis Real

La longitud en la que el absorbedor disminuye por completo la vibración es en $L=240\text{mm}$, a continuación se realiza el análisis teórico y experimental del Modelo Ideal vs el Modelo Real del sistema sin absorbedor.

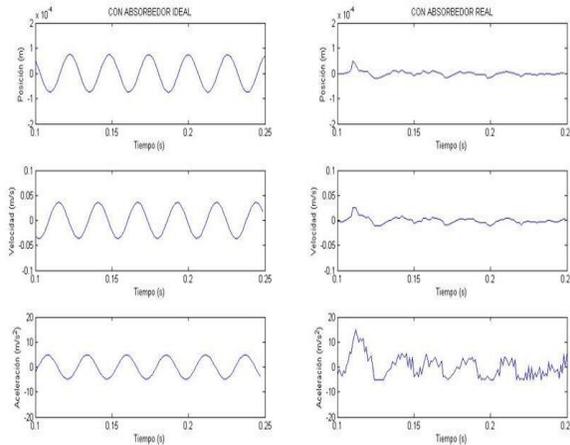
Como se puede observar en la Figura. 60, las gráficas obtenidas no están bien definidas en su forma senoidal, eso se debe a que el equipo es básico y no cuenta con filtros apropiados para eliminar el ruido. Se selecciona este controlador por el presupuesto los datos y resultados tienen una confiabilidad del **95%**.

Se puede observar con facilidad que las gráficas del modelo Ideal y el modelo Real tienen el mismo comportamiento con la única diferencia que las gráficas reales presentan interferencia debido al ruido que el sistema de adquisición de datos. Los rangos en los que se trabajó tanto para el modelo ideal como para el modelo real son: Aceleración $[-30, 30]$, Velocidad $[-0.1, 0.1]$ y Posición $[-2 \times 10^{-4}, 2 \times 10^{-4}]$.

En el sistema ideal la amplitud puede ser un poco menor debido a la fricción que

tiene el acelerómetro con el aire y otros factores que pueden influir en la toma de datos.

- **ANÁLISIS SISTEMA IDEAL - SISTEMA REAL CON ABSORBEDOR**



Análisis Con Absorbedor

Sistema Ideal

El absorbente dinámico de vibraciones es un dispositivo mecánico que se usa para disminuir o eliminar la vibración mecánica indeseada, además el sistema absorbente de vibraciones consiste de un resorte – masa.

Al aumentar el Absorbedor dinámico de vibraciones el sistema que originalmente es de 1 gdl, se convierte en un sistema de 2 gdl.

Las ecuaciones de movimiento para la masa principal y para el absorbente son:

$$-k_1x_1 + k_2(x_2 - x_1) + F_1 \sin(\omega_f t) = m_1\ddot{x}_1$$

$$-k_2(x_2 - x_1) = m_2\ddot{x}_2$$

Para la excitación forzada, cada masa se moverá con la frecuencia de la función forzante:

$$x_1 = X_1 \sin(\omega_f t)$$

$$x_2 = X_2 \sin(\omega_f t)$$

Tanto X_1 como X_2 están determinados, si se conoce la magnitud de la función forzante $F(t) = F_1 \sin \omega_f t$.

$$X_1 = \frac{F}{k_1} \frac{\left(1 - \frac{\omega_f^2}{\omega_2^2}\right)}{\left(1 + \mu \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} - \frac{\omega_f^2}{\omega_1^2}\right) \left(1 - \frac{\omega_f^2}{\omega_2^2}\right) - \mu \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}}$$

$$X_2 = \frac{F}{k_1} \frac{1}{\left(1 + \mu \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} - \frac{\omega_f^2}{\omega_1^2}\right) \left(1 - \frac{\omega_f^2}{\omega_2^2}\right) - \mu \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}}$$

La absorción óptima se define como la cantidad de absorción que hace que la curva de respuesta sea casi plana entre la frecuencia natural.

Sistema Real

Según la Figura se puede observar el modelo ideal vs el modelo real del sistema, donde se analiza que las gráficas tienen el mismo comportamiento, las mismas que se trataron como un sistema continuo es por esa razón que al momento de hacer el cálculo respectivo se toma en cuenta la masa equivalente m_{eq} y la rigidez equivalente k_{eq} .

$$m_{eq} = m_E + \frac{33}{140} m_V$$

La rigidez del sistema será la relación entre la carga aplicada sobre la masa y el desplazamiento de la misma.

$$k_{eq} = \frac{3EI}{l^3}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m_E + \frac{33}{140}m_V}}$$

Se puede observar con facilidad que las gráficas del modelo Ideal y el modelo Real tienen el mismo comportamiento con la única diferencia que las gráficas reales presentan interferencia debido al ruido que el sistema de adquisición de datos. Los rangos en los que se trabajó tanto para el modelo ideal como para el modelo real son: Aceleración [-3, 7], Velocidad [-0.03, 0.03] y Posición [-0.5x10⁻⁴, 0.5x10⁻⁴].

5. CONCLUSIONES

- No se trabajó en el rango de resonancia, ni cerca de ella para evitar la falla del sistema, porque existe un tiempo prudencial para que se estabilice y en ese tiempo exista un comportamiento regular.
- Con un analizador de vibraciones de marca registrada con certificación técnica internacional se validaría con mayor exactitud el desempeño del analizador de vibraciones.
- El sistema de adquisición de datos fue adquirido por razones de presupuesto es por eso que las gráficas no están bien definidas y pierden su tendencia por el ruido no controlado.
- En los resultados se observa que el Absorbedor Dinámico de Vibraciones disminuye la magnitud de deformación de la viga y en la longitud óptima disminuye en su totalidad la vibración.

5.1. RECOMENDACIONES

- Mejorar el sistema de adquisición de datos seleccionando el equipo de mayor rango y mejor precisión
- Se recomienda hacer una instalación en red para el sistema de Adquisición de Datos en la gran mayoría de equipos que se encuentran automatizados en el laboratorio de mecanismos
- Es recomendable que para cada práctica que se va a realizar, el desbalance debe ser de la misma magnitud y estar en la misma posición para evitar el desfase.
- Se recomienda que teóricamente la medida obtenida en los datos de la Adquisición de Datos es menos confiable tanto en velocidad y desplazamiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Stark, H. (1988).
<http://www.aiu.edu/publications/student/spanish/Comunicacion%20de%20Systemas.html>.
- Valles, A. D. (s.f.). Elementos flexibles para generar movimiento.
- Víctor Rastelli, N. M. (s.f.). Universidad Simón Bolívar. Venezuela, Caracas.
- Stark, H. et al. Modern Electrical Communications: analog, digital, and optical systems. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, 2a ed.(1988).

- Mecánica, I. (s.f.).
www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html#seccion3.
- Mechanic Vibration - Balance
quality requirements for rotors. (s.f.).
- Navarrensís, U. d. (s.f.). Sistema de 2
Grados de Libertad.
- Nave, M. O. (s.f.). Similitudes Lineal
- Rotacional.
- Nisbett, S. R. (s.f.). Diseño de
Ingeniería Mecánica .
- Pallás Areny, R. (s.f.). Adquisición y
distribución de señales.
- Rivadeneira., I. (s.f.). Centro de tesis.