

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MODULO PARA LA EXCITACIÓN DINAMICA Y ANALISIS VIBRACIONAL DE ESTRUCTURAS

Ing. Avid Román González
Procesamiento de Señales
a.roman@ieee.org

RESUMEN

El presente trabajo esta orientado a evaluar la vulnerabilidad y comportamiento sísmico de edificios, para lo cual se ha desarrollado un excitador de masa excéntrica, se ha diseñado una tarjeta de adquisición de datos, se ha diseñado un software para el procesamiento digital de las señales de vibración y con la ayuda de un acelerómetro y un variador de velocidad podremos obtener las características dinámicas del edificio bajo prueba.

*El primer objetivo es el de **diseñar y construir un modulo electrónico para producir y medir vibración en las estructuras de construcción civil a escala real, a efectos de poder conocer las características dinámicas de esta para tomar las decisiones correspondientes.***

*El segundo objetivo es la **aaproximación a la problemática de la respuesta de una estructura a una vibración.***

*El tercer objetivo es desde el punto de vista del análisis estructural, **brindar al especialista los parámetros que le permitan tomar decisiones y evaluar la estructura bajo prueba.***

*El cuarto objetivo es **proponer el prototipo a los especialistas, como metodología alternativa para evaluar el riesgo sísmico de las construcciones de manera experimental y a escala real.** Ellos determinarán si puede servir como tal.*

ABSTRACT

The present work this oriented to evaluate the vulnerability and seismic behavior of buildings, for which an exciter of eccentric mass has been developed, has designed a card of data acquisition, a software for the digital processing of the vibration signals has been designed and with the aid of an accelerometer and a variador of speed we will be able to obtain the dynamic characteristics of the building under test. Immediate goal is the one to design and to construct an electronic unit to produce and to measure vibration in the structures of civil construction on accommodation ladder, with the object of being able to know the dynamic characteristics this to make the corresponding decisions. The second objective is the approximation to the problematic one of the answer of a structure to a vibration. The third objective is from the point of view of the structural analysis, to offer to the specialist the parameters that allow him to make decisions and to evaluate the structure under test. The fourth objective is to propose the prototype to the specialists, like alternative methodology to evaluate the seismic risk of the constructions of experimental way and on accommodation ladder. They will determine if she can serve like so.

1. INTRODUCCION

Es necesario evaluar la vulnerabilidad y comportamiento sísmico de edificios que es el factor sobre el que puede actuarse hasta el punto de conseguir la disminución de riesgo en los hogares durante y después de la ocurrencia de un terremoto y no exista, como ahora, la probabilidad muy grande de su colapso. Este trabajo es pionero en la ciudad del cusco, constituye una contribución al conocimiento

del comportamiento dinámico de estructuras y contiene elementos metodológicos y de aplicación importantes que permitirán fácilmente su aplicación en áreas de sismicidad elevada en las que el estudio del comportamiento dinámico de los edificios es más importante y urgente. La finalidad de este trabajo es de poder diseñar y construir un excitador de masa excéntrica capaz de forzar la vibración de una construcción a escala real para realizar las pruebas respectivas.

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

Excitador De Masa Excéntrica.- El vibrador de masa excéntrica se desarrolla para proporcionar una fuente de excitación apropiada y probar estructuras. Este equipo desarrolla fuerzas armónicas a través de la rotación de masas unidas al eje. La respuesta de la estructura a la fuerza armónica, evalúa las propiedades dinámicas de las estructuras (por ejemplo, frecuencias naturales, modos naturales, etc.). La respuesta de una estructura a las fuerzas armónicas sobre un rango de frecuencias, nos da como resultado la curva de respuesta en frecuencia, el cual nos muestra los picos de resonancia correspondientes a cada frecuencia natural de la estructura. Conociendo las propiedades dinámicas reales podemos usarlas para validar y mejorar los modelos analíticos, determinar las causas de vibraciones molestosas, detectar daños, etc.

Los vibradores de masa excéntrica usan uno o más masas excéntricas girando para producir una fuerza. Una sola masa excéntrica girando produce un vector de fuerza omnidireccional. Esta fuerza tiene la magnitud proporcional a la masa del peso (M), excentricidad del eje (e) y al cuadrado de la frecuencia circular (ω^2). La dirección de la fuerza cambia con el tiempo por que la fuerza de inercia de la masa rotante actúa hacia el origen. En otras palabras, esta fuerza puede expresarse como la suma de dos fuerzas sinusoidales perpendiculares con el retraso de fase de 90-grados.

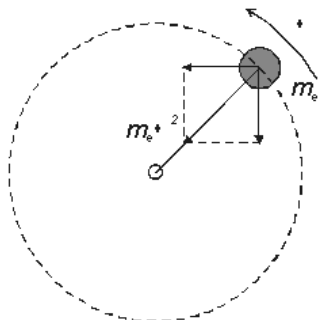


Fig. 1 Vibrador de masa excéntrica omnidireccional

Cuando el vibrador de masa excéntrica tiene dos masa rotando en dirección opuesta sobre el eje vertical. Si las dos masas tienen el mismo peso y con igual excentricidad respecto del eje de giro, la componente de la fuerza de inercia en una de las direcciones se cancela y los componentes de la otra dirección se combinan para producir una fuerza sinusoidal. Es decir:

$$P(t) = (M_e \omega^2) \sin \omega t \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

M_e = Masa Total

e = Excentricidad

ω = Frecuencia Circular de Rotación

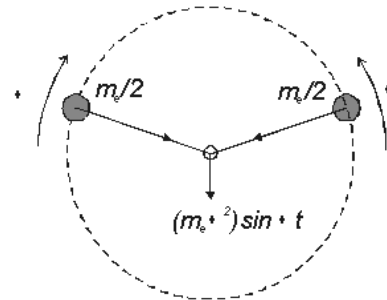


Fig. 2 Vibrador de Masa Excéntrica Unidireccional

La amplitud de la fuerza de excitación es proporcional al cuadrado de frecuencia circular de giro de la masa. Por consiguiente, es difícil de generar la fuerza a frecuencias bajas e impráctico para obtener la respuesta estática de la estructura.

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Sabemos que la fuerza máxima, el pico de fuerza producida por el excitador de masa excéntrica esta dado por:

$$F := M_t \cdot e \cdot \omega^2$$

Donde:

F : Fuerza

M_t : Masa total

e : Excentricidad

ω : Frecuencia de rotación

Se desea una fuerza máxima aproximada de 1200 N, si consideramos una masa de 20 Kg, entonces necesitaríamos una excentricidad de 10 cm, así tenemos:

$$e := 0.1 \quad M_t := 20 \quad f := 4 \quad \omega := 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$F := M_t \cdot e \cdot \omega^2$$

$$F = 1263 \text{ N}$$

Por lo tanto se hizo el siguiente diseño:

Fotografías del Excitador de Masa Excéntrica Diseñado

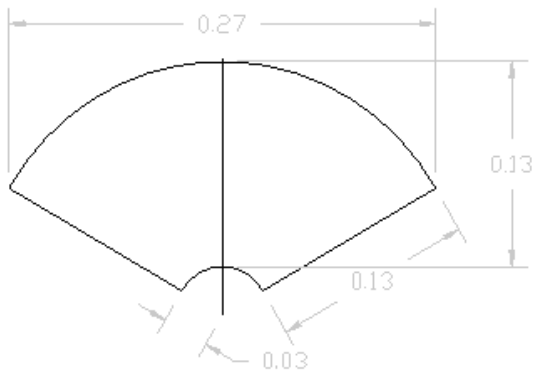


Fig. 3 Fotografía de la Masa Excéntrica



Fig. 4 Fotografía del Excitador Completo

Para Calcular la excentricidad de la masa, solo tenemos que hallar el centro de masa, así tenemos:



$$R := 0.16$$

$$X_{cR} := \frac{\int_{-\pi}^{\pi} \frac{R^3 \cdot \cos(\theta)}{3} d\theta}{3}$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} \frac{R^2}{2} d\theta$$

$$X_{cR} = 0.088 \text{ m}$$

$$r := 0.03$$

$$X_{cr} := \frac{\int_{-\pi}^{\pi} \frac{r^3 \cdot \cos(\theta)}{3} d\theta}{3}$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} \frac{r^2}{2} d\theta$$

$$X_{cr} = 0.017 \text{ m}$$

Entonces la excentricidad será:

$$e := \frac{\pi \cdot R^2 \cdot X_{cR} - \pi \cdot r^2 \cdot X_{cr}}{\pi \cdot R^2 - \pi \cdot r^2}$$

$$e = 0.091 \text{ m}$$

Para nuestra masa que es de 20 Kg y una frecuencia de 4Hz tenemos:

$$e = 0.091 \quad M_t := 20 \quad f := 4 \quad w := 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$F := M_t \cdot e \cdot w^2$$

$$F = 1147 \text{ N}$$

Equipo De Adquisición De Datos.- Para el diseño de la Tarjeta de Adquisición de Datos, se utilizó el integrado AD1674, que es un conversor análogo digital de 12 bits de resolución y con un rango de $\pm 5V$ en la entrada, capaz de entregar primero 8 bits y luego 4 bits, dependiendo de los controles con los que cuenta como: A0, CS, R/C, etc.

En la entrada se ha implementado un filtro pasa bajo con una ganancia de 200. Para este trabajo y para poder determinar de mejor manera la frecuencia natural de las estructuras bajo prueba se desea eliminar las señales cuya frecuencia estén por encima de 10 Hz, ya que las frecuencias naturales de las estructuras están por debajo de los 10 Hz, es así que al diseñar el filtro para este propósito se cuenta con $C = 220 \text{ nF}$, por lo tanto la resistencia aproximada para lograr nuestro objetivo sería 68K.

La frecuencia de Corte sería:

$$R := 68000 \quad C := 220 \cdot 10^{-9}$$

$$F_c := \frac{1}{2\pi R \cdot C}$$

$$F_c = 10.639 \text{ Hz}$$

Es así que se tiene el siguiente diseño:

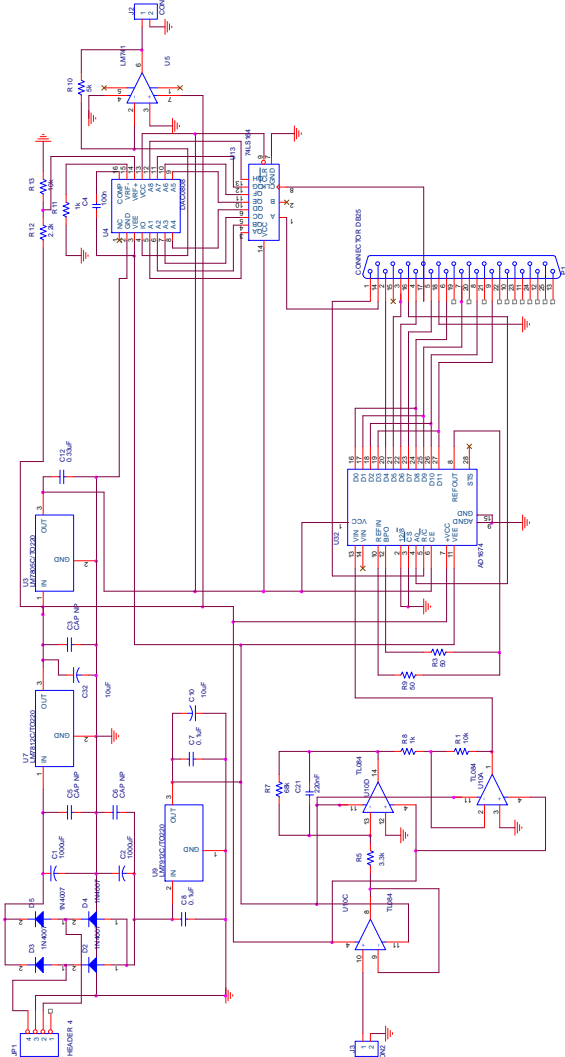


Fig. 5 Diseño de la tarjeta de Adquisición de Datos

Algoritmos De Caracterización Y Control.- El programa para la adquisición y análisis de resultados ha sido desarrollado con el compilador Borland C++ Builder 6, que nos permite una programación visual para Windows, con formularios, botones, etiquetas, etc., tal como se puede observar en el siguiente grafico, de tal manera que la interfaz con el usuario sea mas amigable y de fácil uso.

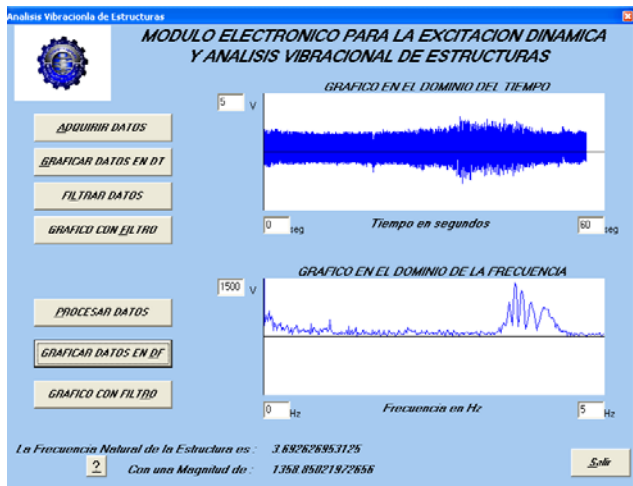


Fig. 6 Interfaz del software Diseñado

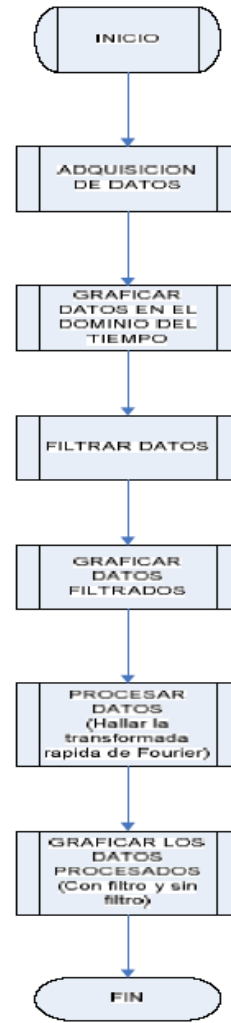


Fig. 7 Diagrama de Flujo General

4. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Se fijo y se enclavo el Excitador de Masa Excéntrica en el piso de la construcción bajo prueba.



Fig. 8 Fotografía de la Instalación del Excitador

Para efectuar el ensayo, se conecta el motor del Excitador de Masa Excéntrica a un variador de velocidad para lograr un barrido en la frecuencia de rotación. En este caso usamos el variador Siemens Micromaster.

Programando el Variador de Velocidad:

Lo que se quiere lograr es conseguir una variación de frecuencia que se comporte como una rampa de subida durante 30 segundos y luego una rampa de bajada de otros 30 segundos para completar el minuto de prueba para la cual hemos diseñado la tarjeta.

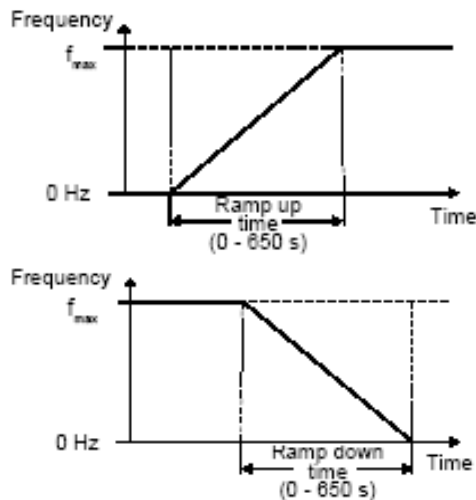


Fig. 9 Significado de los parámetros de frecuencia del variador Micromaster

Lo primero que se tiene que hacer es fijar la frecuencia máxima de la rampa, para lo cual recurrimos al parámetros P005 del variador de velocidad y fijamos la frecuencia máxima.

- P005: SetPoint de la frecuencia digital (Hz).

Luego fijamos el tiempo que va a demorar el variador en llegar a la frecuencia máxima, para lo cual recurrimos al parámetro P002 del variador y lo fijamos en 30 segundos.

- P002: Tiempo de la Rampa de subida (seg).

Luego fijamos la pendiente que tendrá nuestra rampa, para lo cual recurrimos al parámetro P013 del variador y lo fijamos en el mismo valor de la frecuencia máxima para tener una rampa la cual en el tiempo de 30 segundos llegue a la frecuencia máxima.

- P013: Máxima frecuencia del motor (Hz).

Por último fijamos el tiempo de la rampa de bajada, para lo cual recurrimos al parámetro P003 del variador y también lo fijamos en 30 segundos.

- P003: Tiempo de la Rampa de bajada (seg).



Fig. 10 Fotografía del variador de Velocidad

Se instaló 1 acelerómetro Bruel&Kjaer en la pared del laboratorio:

Parámetros De La Adquisición De Datos

- ◆ Frecuencia de muestreo $f_s=500\text{Hz}$
- ◆ Resolución de la conversión: 12 bits
- ◆ Rango de voltaje del convertidor A/D: $\pm 5\text{V}$
- ◆ Configuración del amplificador de carga:
 - Sensibilidad: 1 pC/ms^{-2}
 - Ganancia: $0.316\text{ Voltios/ms}^{-2}$
 - Frecuencia de corte filtro pasabanda: 0.2 Hz
 - Frecuencia de corte filtro pasabajo: 100 Hz

5. RESULTADOS

Para poder realizar un buen análisis de los resultados obtenidos se debe calcular para cada registro la aceleración rms en m/s^2 y la frecuencia a la cual se presenta el pico más alto.

Prueba 1 0 - 70 Hz	
Aceleración rms (m/s^2)	Frecuencia con el pico mas alto encontrado (Hz)
0.865 m/s^2	3.72 Hz



Fig. 11 Grafico en el dominio de la Frecuencia de la Prueba 1

Prueba 2 0 - 74 Hz	
Aceleración rms (m/s^2)	Frecuencia con el pico mas alto encontrado (Hz)
0.869 m/s^2	3.69 Hz



Fig. 12 Grafico en el dominio de la Frecuencia de la Prueba 2

Prueba 3 0 - 80 Hz	
Aceleración rms (m/s^2)	Frecuencia con el pico mas alto encontrado (Hz)
0.871 m/s^2	3.72 Hz



Fig. 13 Grafico en el dominio de la Frecuencia de la Prueba 3

Prueba 4 0 - 60 Hz	
Aceleración rms (m/s^2)	Frecuencia con el pico mas alto encontrado (Hz)
0.757 m/s^2	3.34 Hz

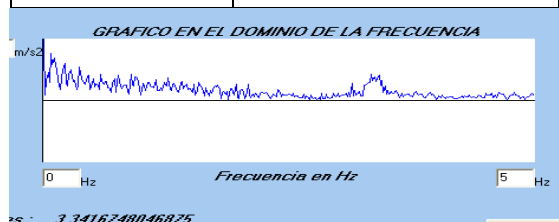


Fig. 14 Grafico en el dominio de la Frecuencia de la Prueba 4

Prueba 5 0 - 70 Hz	
Aceleración rms (m/s^2)	Frecuencia con el pico mas alto encontrado (Hz)
0.776 m/s^2	3.45 Hz



Fig. 15 Gráfico en el dominio de la Frecuencia de la Prueba 5

1	0 - 70 Hz	0.865 m/s ²	3.72 Hz
2	0 - 74 Hz	0.869 m/s ²	3.69 Hz
3	0 - 80 Hz	0.871 m/s ²	3.72 Hz
4	0 - 60 Hz	0.757 m/s ²	3.34 Hz
5	0 - 70 Hz	0.776 m/s ²	3.45 Hz
6	0 - 75 Hz	0.805 m/s ²	3.39 Hz
7	0 - 80 Hz	0.845 m/s ²	3.46 Hz
PROMEDIO		0.827 m/s²	3.54 Hz

Tabla 1 Resultado Obtenido de Todas las Pruebas

Prueba 6 0 - 75 Hz	
Aceleración rms (m/s ²)	Frecuencia con el pico mas alto encontrado (Hz)
0.805 m/s ²	3.39 Hz

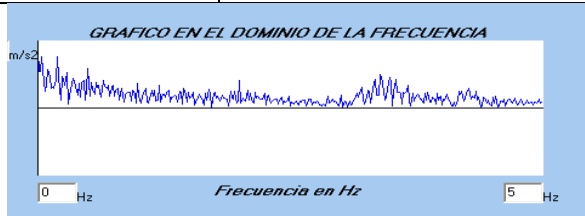


Fig. 16 Gráfico en el dominio de la Frecuencia de la Prueba 6

Prueba 7 0 - 80 Hz	
Aceleración rms (m/s ²)	Frecuencia con el pico mas alto encontrado (Hz)
0.845 m/s ²	3.46 Hz



Fig. 17 Gráfico en el dominio de la Frecuencia de la Prueba 7

En el espectro de Fourier de la aceleración medida se suele identificar el periodo fundamental del edificio, como el de máxima amplitud espectral de menor frecuencia que se halla dentro del intervalo de frecuencias propias del edificio.

Resultados de los ensayos			
Nº	Barrido de Frecuencia (Hz)	Aceleración RMS (m/s ²)	Frecuencia con el pico mas alto encontrado (Hz)

BIBLIOGRAFIA

- THOMSOM, William T. "Teoría de Vibraciones, Aplicaciones". México, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A., Segunda Edición, 1990, 491pp.
- PALLAS ARENY, Ramón. "Sensores y Acondicionadores de Señal", Barcelona España,

La frecuencia natural encontrada sería:
3.54 Hz

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Se logro construir un modulo electrónico para producir y medir vibraciones en las estructuras de construcción civil a escala real.
- El Excitador de Masa Excéntrica produce la fuerza necesaria para poder excitar a la estructura con una señal de entrada, por lo tanto es viable la construcción de Excitadores de Vibración.
- La respuesta de la estructura a la excitación producida por el Excitador de Masa Excéntrica tiene un pico en la frecuencia de 3.6 Hz, la cual coincide en todas las pruebas realizadas.
- A pesar de tener un filtro pasa bajo implementado en la Tarjeta de Adquisición de Datos, la señal de 60Hz se introduce dentro de los datos.
- Los resultados obtenidos deben ser comprobados por otros ensayos con excitación impulsiva, las cuales no se realizaron por no estar dentro de los alcances y por no contar con recursos.
- El barrido de frecuencia producido por el variador puede ser controlado mediante el software desarrollado y de esa manera se obtenga de manera automática el rango de frecuencia.
- Las frecuencias naturales de las estructuras siempre están a bajas frecuencias.
- Para obtener mejores resultados, el acelerómetro debe ser fijado a la pared de la mejor manera posible y así evitar datos falsos que nos lleven a cometer error en el cálculo.

Editorial Alfaomega Marcombo, Tercera Edición, 2000, 480pp.

- SERRIDGE, Mark - LICHT, Torben R. "Piezoelectric Accelerometer and Vibration Preamplifier Handbook". USA, Editorial Prentice Hall, Primera Edición, 1987, 150pp.
- Bruel & Kjaer, Charge Amplifier Type 2635 User Manual.
- Normas peruanas de estructuras, segunda edición 2001, 495pp