

DIAGNOSIS Y REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS SINIESTRADOS MEDIANTE TÉCNICAS DE MONITORIZACIÓN

Aplicación de sistemas de “hardware” y “software” libres

Emilio J. Mascort-Albea¹
emascort@us.es

Antonio Jaramillo-Morilla²
jarami@us.es

Rocío Romero-Hernández³
rocirome@us.es

Luis Povedano-Moreno⁴
Luispovedano-ext@us.es

Gloria Sánchez-Díaz⁴
gloriasanchezdiaz-ext@us.es

Jonathan Ruiz-Jaramillo⁵
jonaruizjara@uma.es

Resumen

Uno de los sistemas para cuantificar la rigidez estructural de un edificio, antes y después de un siniestro, se basa en la medición de su frecuencia natural de vibración en condiciones ambientales. Los acelerómetros instalados en edificios permiten el registro tridimensional de sus aceleraciones y la transmisión de dichos datos a un equipo de control que proporciona la frecuencia fundamental y su intensidad. Se describe el desarrollo de un sistema multi-parámétrico para monitorizar edificios existentes, permitiendo el acceso remoto y la conexión de varios módulos entre sí. El empleo del hardware libre, Arduino, aporta gran flexibilidad de componentes y fácil manejo. Esto proporciona, a un bajo coste, toda la información requerida de los movimientos del propio edificio, también controlados mediante dispositivos DGPS, proporcionándonos precisiones de centímetros, con gran estabilidad y bajo consumo energético. Algunas de las principales causas de siniestros para los que puede servir la monitorización son los deslizamientos del terreno y los terremotos.

Palabras-claves: Diagnosis, Monitorización, Arduino, Rehabilitación sísmica.

¹ Profesor Sustituto Interino de Ingeniería del Terreno, Universidad de Sevilla.

² Catedrático de Ingeniería del Terreno, Universidad de Sevilla.

³ Profesora Colaborador Doctor de Ingeniería del Terreno, Universidad de Sevilla.

⁴ Arquitecto

⁵ Profesor Ayudante Doctor. Universidad de Málaga.

1 Introducción

En este trabajo se describe el desarrollo experimental de un sistema multi-parámtrico diseñado para monitorizar edificios existentes. El sistema permitirá el acceso remoto y la conexión de varios módulos en un único sistema. El hardware que utilizaremos para el control de los diferentes dispositivos será Arduino. Se trata de una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, el cual nos permite una gran flexibilidad a la hora de escoger componentes. Esto proporciona todas las capacidades requeridas, una gran estabilidad con un consumo energético y un gasto relativamente bajo, ya que son ampliamente utilizados en diferentes campos. Sensores y módulos comerciales se han combinado con módulos de desarrollo propio.



Figura 1: Medidas dinámicas en la cubierta de la Iglesia del Salvador.

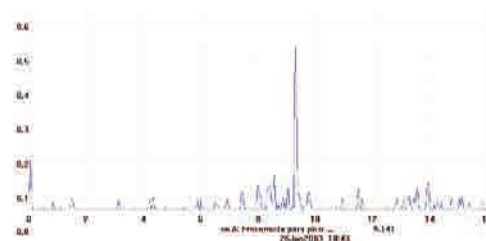


Figura 2: Ejemplo de determinación del periodo fundamental en el Salvador.

2 Objetivos y metodología

La medición de las vibraciones ambientales y la incorporación de puntos de referencia, antes y después de la ocurrencia de un sismo, son algunos de los sistemas más usuales para cuantificar la rigidez estructural y los posibles deslizamientos que pudieran tener lugar en el terreno. Dado el alto coste que suponen en la actualidad, se tiende a emplear estos sistemas solo en casos de alta necesidad, y no como una medida de análisis preventivo. Gracias a los nuevos sistemas que planteamos de hardware libre, estamos desarrollando prototipos más eficientes para estas tareas y de un coste sustancialmente más bajo.

Estos nuevos equipos instalados en los edificios nos permitirán el registro de las aceleraciones en las tres direcciones y los desplazamientos que en él pudieran ocurrir. La transmisión de dichos datos se producirá en tiempo real a un equipo de control que nos proporciona la frecuencia fundamental, intensidad y posición.

3 Cálculo de aceleraciones.

Los estudios de vibraciones ambientales se han usado con éxito para la identificación de las características dinámicas de edificaciones desde hace más de 35 años (Ivanovic et al., 2000), y en tiempos más recientes se ha demostrado que este tipo de ensayo arroja datos de los que se pueden determinar frecuencias naturales, modos de vibración y amortiguamiento de edificaciones (Areiza, 1999; Marulanda et al., 2006). Estas características se pueden usar entonces para el ajuste de los modelos analíticos, que predicen de manera más fiable la respuesta de la estructura ante las cargas de servicio esperadas. En nuestro caso, la aplicación de este sistema en edificaciones, nos permitirá observar el efecto del refuerzo sismo-resistente sobre las mismas, tomando registros antes y después de la intervención. Se han obtenido resultados positivos, que demuestran el aumento de las frecuencias naturales después del refuerzo, indicativo de mayor rigidez, entre otros (Ruiz et al., 2000; Tischer et al., 2006). Por otro lado, se ha hecho el intento de monitorizar en tiempo real la salud estructural de una edificación, mediante registros de vibraciones ambientales, identificando los cambios en las frecuencias naturales.

3.1 Ensayos. Métodos de cálculo.

En la actualidad, se están realizando ensayos de campo para comprobar la fiabilidad de los datos obtenidos por el acelerómetro. Se han colocado acelerómetros en edificios existentes como la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla y un bloque de viviendas en la Calle San Luis (Sevilla) para comprobar el estado de la estructura por posibles deformaciones. Los datos de aceleraciones recogidos han sido exportados a un programa de cálculo donde se está comprobando la fiabilidad de los mismos.

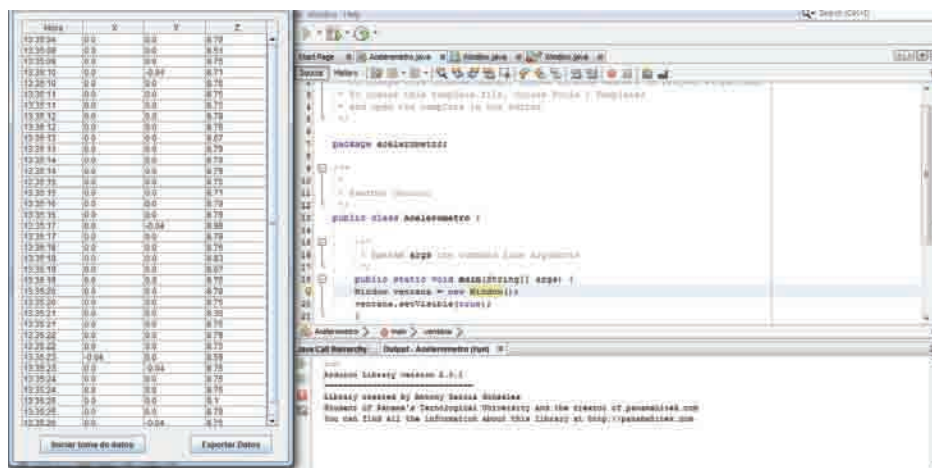


Figura 3: Programación y exportado de datos a Excel para su análisis.

Para proceder a la obtención de los periodos fundamentales, recurrimos a la exportación de los datos registrados a un programa de cálculo externo al prototipo donde procesamos los resultados mediante la transformada de Fourier.

En cuanto a la identificación de las frecuencias naturales de la edificación, es necesario realizar un análisis usando distribuciones tiempo-frecuencia. Para aplicaciones con registros de tiempo limitado, se logra establecer que las frecuencias predominantes ocurran a lo largo de todo el registro, y no únicamente en parte del mismo. Esto permite corroborar que, efectivamente, las frecuencias corresponden a frecuencias características de la edificación y que no son producidas por una fuente externa de ruido en el sistema. También es de vital importancia el uso de distribuciones tiempo-frecuencia si se quiere monitorizar el posible cambio de frecuencia en periodos de tiempo prolongados.

3.2 Prototipo de acelerómetro

Para el cálculo de aceleraciones, hemos desarrollado un prototipo compacto y de reducidas dimensiones. Éste cuenta con una placa Arduino UNO para el control de los dispositivos y gestión de los datos, y un chip digital ADXL345 para la obtención de las aceleraciones. Este sensor cuenta con tres ejes de medida: X, Y y Z, gran precisión en la obtención de datos y un bajo coste. En este caso particular usaremos los pines I2C para efectuar la transmisión de datos, de esta manera no existiría conflicto si a posteriori se pretende conectar nuevos sensores. Se puede ajustar la sensibilidad a 2g, 4g, 8g y 16g. El menor valor da más resolución en movimientos lentos, mientras que los valores altos los usaríamos para movimientos rápidos.

Configuramos el prototipo (Figura 4 y 5) para que funcione de manera autónoma, mediante una batería externa y una shield con memoria SD.

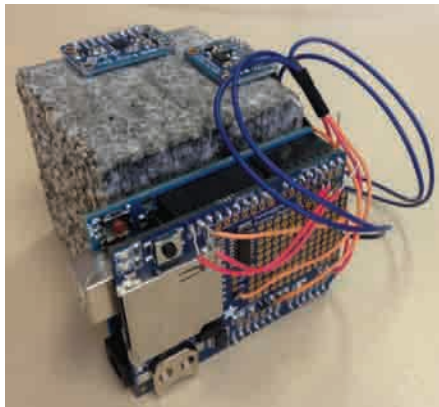


Figura 4: Prototipo Acelerómetro.



Figura 5: Toma de datos.

4 Mediciones de posicionamiento

El método antes mencionado tiene como desventaja que las frecuencias naturales podrían variar sin presentar daños en la estructura. Es por ello que se estima que la monitorización de los edificios construidos debe complementarse con sensores que determinen las deformaciones permanentes de la edificación por medio de GPS Diferencial (Global Positioning System).

El GPS Diferencial (Peci, L. M. Embedded, 2014) introduce una mayor exactitud en el sistema. Este tipo de receptor, además de recibir y procesar información procedente de los satélites, recibe y procesa, simultáneamente, otra información adicional que proviene de una estación terrestre situada en un lugar cercano y reconocido por el receptor. Esta información complementaria permite corregir las inexactitudes que se puedan introducir en las señales procedentes de los satélites. En este caso, la estación terrestre transmite al receptor GPS (Talavera, M. 2012) los ajustes necesarios, éste los contrasta con su propia información y realiza las correcciones oportunas mostrando en su pantalla los datos con una gran exactitud.

4.1 Prototipo de GPS Diferencial

El DGPS (Differential GPS), o GPS diferencial, es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada.

El GPS Diferencial usa dos o más receptores GPS para la recepción simultánea y procesamiento de señal. Estas señales, que han recorrido el mismo camino atmosférico, inciden con la misma distorsión. A partir de este concepto se pueden lograr dos resultados: posicionamiento absoluto y posicionamiento relativo.

El posicionamiento absoluto se calcula mediante la triangulación de 4 satélites y un puesto GPS de control. Con este método se obtienen precisiones de entre 2 y 3 m. El posicionamiento relativo calcula la posición de un receptor móvil a partir de la posición de un fijo de coordenadas conocidas. Alcanzamos precisiones < 3 cm.

Para la obtención de datos más precisos será necesario el uso de posicionamientos relativos. Usaremos un receptor GPS fijo en tierra (referencia) que conoce exactamente su posición basándose en otras técnicas, recibe la posición dada por el sistema GPS, y puede calcular los errores producidos por el sistema GPS, comparándola con la suya, conocida de antemano. Este receptor transmite la corrección de errores a los receptores próximos a él, y así estos pueden, a su vez, corregir también los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo GPS de referencia.

Para desarrollar este prototipo será necesaria la colocación de dos o más receptores GPS, que montaremos, como en el prototipo antes mencionado, mediante una placa Arduino UNO, un GPS de uso comercial (Figura 6) y una tarjeta de comunicación mediante radio frecuencia (Figura 7).

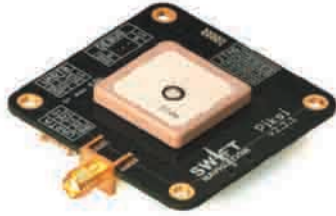


Figura 6: GPS Swift Navigation (RTK).



Figura 7: 3DR Radio.

5 Agradecimientos

Los autores deseamos agradecer a FEDER de la Unión Europea la financiación para el proyecto "Norma sísmica. Análisis previo y rehabilitación de edificios e infraestructuras existentes." del "Programa Operativo FEDER de Andalucía 2007-2013". También agradecemos a la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía de la Consejería de Fomento y Vivienda y al personal investigador por su dedicación y profesionalidad.

6 Bibliografía

- [1] Ivanovic, S.S., Trifunac, M.D., & Todorovska, M. I. Ambient vibration tests of structures: a review. *Bulletin of Indian Society of Earthquake Technology*, 2000 pp 165-197.
- [2] Areiza G. Incremento de capacidad de carga de puente metálico usando torones de tensionamiento. Departamento de Mecánica de Sólidos, Universidad del Valle, Cali. 1999
- [3] Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. Tratamiento digital de señales. Madrid: Prentice Hall Ltda. 1998.
- [4] Ruiz, M., Ramírez, M., & Iglesias, J. A study of the variation of the dynamic properties of a building during seismic retrofit. In *Proceedings of the Fourteenth Engineering Mechanics Conference*, American Society of Civil Engineers, Austin, Texas. 2000.
- [5] Peci, Luis M. Embedded ARM System for Volcano Monitoring in Remote Areas: Application to the Active Volcano on Deception Island (Antarctica) 2014.
- [6] J María Martín Talavera. Posicionamiento por Radiofrecuencias basado en robots colaborativos. Universidad autónoma de Madrid. 2012. *Métodos de Cálculo. Ensayos*.