

RECOMENDACIONES PARA LA INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS POR MEDIO DE ACELERÓGRAFOS DE MOVIMIENTO FUERTE.



Desarrollada por

José Pablo Pacheco Masís.

Cartago, Costa Rica.

Tabla de contenidos

Resumen.....	2
Introducción.....	3
Objetivo.....	4
Importancia de instrumentar sísmicamente edificios.....	5
Definición y tipos de acelerógrafos.....	7
Objetivos para instrumentar un edificio utilizando acelerógrafos de movimiento fuerte.....	8
Procedimiento para instrumentar un edificio.....	9
1. Determinar el objetivo de instrumentación.....	9
2. Recopilar información del edificio.....	9
4. Cantidad de acelerógrafos.....	10
5. Ubicación de acelerógrafos.....	10
6. Instalación.....	13
7. Procesamiento de datos.....	13
Mantenimiento.....	16
Costos.....	17
Reporte final.....	18
Conclusiones.....	19
Recomendaciones.....	20
Bibliografía.....	21
Apéndice.....	23
Apéndice 1.....	23

Resumen

Se propone una guía que establece los pasos básicos que se deben considerar al instrumentar sísmicamente un edificio por medio de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte. Se comienza por determinar si se requiere analizar o monitorear la estructura, luego se recopila información relevante como planos "as built" y estudios previos, posteriormente se realiza un análisis modal por medio de un modelo computacional para obtener parámetros dinámicos, a partir de los cuales se determina la cantidad, tipos y ubicación de los acelerógrafos.

Luego, una correcta instalación, procesamiento de datos y mantenimiento se vuelven cruciales para obtener registros confiables, por lo que se recomienda cumplir una serie de requerimientos mínimos a considerar respecto a los procesos mencionados.

Por otro lado, se muestran sugerencias respecto a cómo categorizar y estimar los costos asociados en el proyecto de manera que los montos sean fáciles de identificar y manejar.

Abstract.

A guide is proposed that establishes the basic steps that should be considered when seismically instrumenting a building by means of the installation of strong motion accelerographs. It begins by determining if it is necessary to analyze or monitor the structure, then relevant information is collected such as blueprints and previous studies, later a modal analysis is carried out through a computational model to obtain dynamic parameters, from which the number, types and location of the accelerographs are determined.

Then, a correct installation, data processing and maintenance become crucial to obtain reliable records, so it is recommended to accomplish a series of minimum requirements to consider regarding the mentioned processes.

On the other hand, suggestions are shown regarding how to categorize and estimate the costs associated with the project so that the amounts are easy to identify and manage.



Introducción.

La litósfera es la capa rígida conformada por la corteza y parte superior del manto terrestre la cual se encuentra dividida en fragmentos que están en constante movimiento denominados placas tectónicas. Debido a su movimiento cada cierto tiempo impredecible colisionan entre sí provocando una disipación de energía la cual se propaga por la superficie en forma de ondas provocando movimientos los cuales se denominan sismos. Estos inducen aceleraciones en la base de las estructuras alterando su estado de equilibrio y en el caso de estructuras con largos años de vida útil, malas prácticas constructivas o errores en cuanto al diseño estructural, aumenta el riesgo de fallas poniendo en riesgo no solo la estabilidad del edificio sino aún más importante, la vida de las personas. Es por esto que registrar la respuesta dinámica de edificios ya sea nuevos o en servicio, permite encontrar anomalías anticipando y evitando futuros accidentes, o bien tomar mejores decisiones de intervención luego de un evento de alta intensidad.

Existen varias formas de registrar la respuesta dinámica de las estructuras, una de ellas es la instrumentación sísmica por medio de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte en puntos estratégicos, los cuales registran aceleraciones producto de vibraciones ambientales o inducidas a través de eventos externos como sismos. Dichos datos luego de un adecuado procesamiento puede traducirse en obtener frecuencias, las cuales están asociadas a las particulares formas de vibrar de la estructura.

Estos registros pueden ser utilizados para calibrar modelos computacionales, identificar malas prácticas constructivas, evaluar la idoneidad de los códigos estructurales, monitorear la salud estructural en tiempo real ante condiciones ambientales o identificar posibles producidos por sismos, por ejemplo.

Debido a la limitada información del tema tanto a nivel de Costa Rica como global, nace la necesidad de recopilar y adecuar lineamientos y recomendaciones generales que puedan ser utilizados por profesionales ligados al área sobre los pasos a seguir para instrumentar un edificio por medio de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte enfocado ya sea a monitorear o analizar la respuesta dinámica, así requerimientos mínimos para un correcto procesamiento de datos, mantenimiento y costos asociados.



Objetivo.

El objetivo principal es facilitar al lector lineamientos básicos que debe considerar al proponer la instrumentación sísmica de un edificio por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte, así como requerimientos mínimos en cuanto a su instalación y mantenimiento.



Importancia de instrumentar sísmicamente edificios.

Para poder comprender la importancia de la instrumentación de edificios por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte, inicialmente es esencial conocer la forma en cómo se producen los sismos y su influencia con las estructuras civiles.

Según (Tarbuck & Lutgens , 2005) el manto superior terrestre, junto con la corteza suprayacente se comportan como una capa rígida denominada litosfera que está fracturada en fragmentos denominados placas tectónicas (Ver figura 1), las cuales se encuentran en constante movimiento y cambian de tamaño continuamente. (Sauter F., 1989) menciona que este movimiento puede provocar un choque o fricción entre dos placas adyacentes produciendo esfuerzos que de ser el caso que supere la resistencia de las rocas, se genera una liberación de energía, misma que es irradiada desde el foco o fuente sísmica en forma de ondas que se propagan en todas direcciones a través del medio sólido de la Tierra. Estas vibraciones las percibimos en la superficie como temblores, que denominamos terremotos cuando son destructivos. Dichas vibraciones en el terreno pueden ser medidas en términos de aceleración e influyen directamente en el comportamiento de estructuras civiles como por ejemplo edificios los cuales son el caso específico de la presente guía.

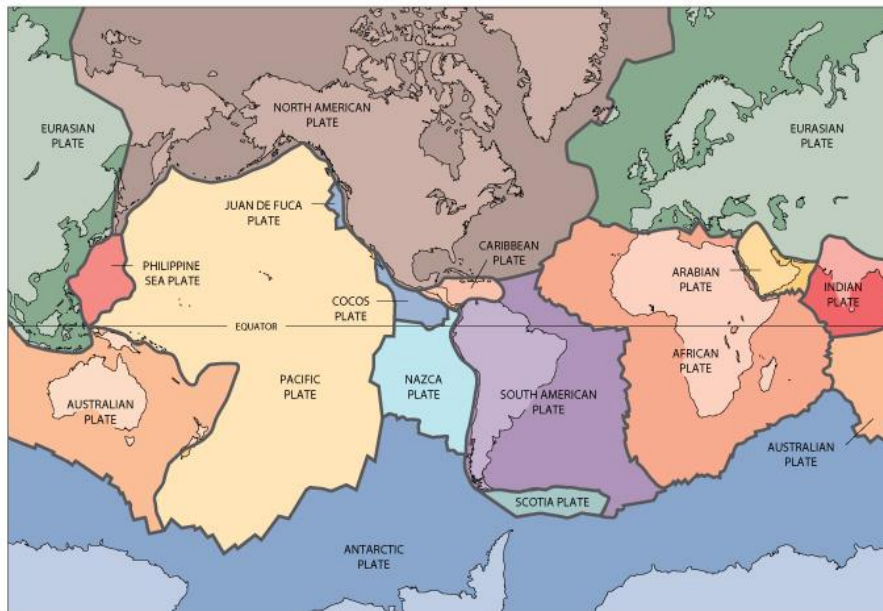


Figura 1. Placas tectónicas terrestres.

Fuente. (Kious & Tilling, 2011)

Cuando una estructura es sometida a un movimiento en su base, esta presenta una respuesta dinámica generando movimientos particulares conocidos como formas propias de vibración. Cada una de estas formas está asociada a periodos de oscilación, que según (Chopra, 2014) corresponde al tiempo requerido para completar un ciclo de movimiento armónico en cada deformación particular del sistema. Estos periodos de vibración guardan una relación directa con



las frecuencias, de manera que se convierten en parámetros dinámicos esenciales para describir el comportamiento de los edificios.

En este punto es donde la instrumentación sísmica se convierte en una herramienta muy útil para ampliar el conocimiento del comportamiento de los edificios. Al colocar acelerógrafos de movimiento fuerte en lugares adecuados, se puede registrar sus respectivas aceleraciones. Estos registros luego se interpretan y procesan para obtener las propiedades dinámicas de la estructura por medio de espectros de Fourier y funciones de transferencia.

Las estructuras se ven sometidas a cambios en sus propiedades dinámicas a través del tiempo por razones como deterioro de materiales afectando la rigidez, cambios de uso modificando la cantidad de masa, entre otros, por lo que la instrumentación sísmica por medio de acelerógrafos se vuelve muy útil para detectar este tipo de variaciones a través del tiempo. Por otro lado, los datos obtenidos pueden tener múltiples aplicaciones como calibrar modelos estructurales computacionales, mejorar códigos de diseño sísmico y prácticas constructivas, por mencionar algunos.



Definición y tipos de acelerógrafos.

Una de las formas más utilizadas para evaluar los parámetros dinámicos de un edificio es por medio de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte como el mostrado en la figura 2, los cuales permiten la obtención de un gráfico denominado (acelerograma), mostrando la variación de aceleraciones en el lugar determinado. Son instrumentos que utilizan acelerómetros internos los cuales son mucho menos sensibles que los sismómetros activándose solamente ante movimientos fuertes, dejando por fuera del acelerograma señales muy débiles que claramente no afectarán la integridad estructural del edificio (SRC, 2014). A pesar de esto mantienen un grado de susceptibilidad para registrar vibraciones ambientales.



Figura 2. Ejemplo gráfico de un acelerógrafo.
Fuente: Nanometrics

Existen muchas marcas dedicadas a la fabricación y distribución de modelos de acelerógrafos de movimiento fuerte, los cuales como cualquier otro dispositivo electrónico ofrecen al usuario diferentes tipos de facilidades tecnológicas y costos, sin embargo todos ellos se rigen bajo el mismo principio de funcionamiento y pueden ser categorizados en tres tipos:

1. **Uni-axial:** Capaz de registrar el movimiento en una dirección, construido con sensores de un solo eje.
2. **Bi-axial:** Capaz de registrar el movimiento en dos direcciones, construido con sensores de dos ejes.
3. **Tri-axial:** Capaz de registrar el movimiento en tres direcciones, construido con sensores de tres ejes.

Tanto los acelerógrafos uni-axiales como bi-axiales a lo largo de los años han perdido posicionamiento en el mercado, ya que según (Van Der Weth, 2020) dado que un componente significativo de los instrumentos es el digitalizador los precios no van varían de forma importante entre uno y otro, son más fáciles de manejar, los sensores bi-axiales y uni-axiales limitan los casos en los que se pueden utilizar en un futuro y el rendimiento es mejor en los acelerógrafos tri-axiales.



Objetivos para instrumentar un edificio utilizando acelerógrafos de movimiento fuerte.

Existen múltiples razones para registrar respuestas dinámicas de sistemas estructurales, sin embargo a través del uso de acelerógrafos de movimiento fuerte pueden verse resumidas en dos objetivos principales:

- **Monitorear.** En este caso, los parámetros dinámicos a obtener son básicos utilizados generalmente para detectar comportamientos atípicos en donde no es necesario precisiones muy altas.
- **Analizar.** Se requiere una respuesta dinámica con formas modales y frecuencias o periodos muy precisa, la cual puede ser utilizada para calibrar modelos estructurales, analizar el comportamiento de diafragmas flexibles, entre otros.

La distribución geométrica tanto vertical como horizontal, así como los tipos de acelerógrafos a instalar, presentan una dependencia directa del objetivo primordial, tal y como se detalla más adelante en la sección “Pasos para instrumentar un edificio” del presente documento.



Procedimiento para instrumentar un edificio

El procedimiento para instrumentar sísmicamente un edificio por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte debe basarse en lineamientos básicos regidos por un orden lógico a seguir. A continuación se presenta una serie de pasos propuestos los cuales resumen las consideraciones mínimas tanto para proponer los tipos de acelerógrafos y su respectiva ubicación como para la instalación, procesamiento de registros, costos y mantenimiento.

1. Determinar el objetivo de instrumentación

Como se menciona en la sección “Objetivos para instrumentar un edificio” del presente documento, los objetivos para evaluar la respuesta dinámica de un edificio por medio de la utilización de acelerógrafos de movimiento son analizar o monitorear. La definición de este apartado es un primer indicio para tener una idea preliminar de la cantidad y distribución de instrumentos a considerar.

2. Recopilar información del edificio

Cualquier información relevante y que tenga relación con el edificio a instrumentar es un insumo importante al momento de tomar decisiones del equipo y distribución respectiva. En general, es recomendable contar, como mínimo, con la siguiente información.

- **Planos As Built.** Se recomienda planos as built ya que en ellos se muestra los detalles finales de cómo se construyó o construirá el edificio. De ellos se puede obtener también información relevante como la ocupación de la estructura, sistema estructural con los detalles de los elementos que lo componen, distribución de espacios, entre otros, los cuales son insumos base para realizar modelos computacionales. Por otro lado, se referencia de una mejor manera el posicionamiento de los equipos.
- **Información de diseño.** La respuesta dinámica registrada por medio de la instrumentación puede verificar el comportamiento previsto en el diseño. También, en muchos casos la estructura suele tener muchos años en servicios, de tal forma que al tener información inicial de diseño se puede tener un punto de comparación en cuanto al cambio en el comportamiento y prever futuros problemas importantes en la estructura.
- **Estudios previos.** Estos permiten tener una mejor aproximación del comportamiento, tales como estudios de vulnerabilidad sísmica, inspecciones estructurales, estudios de suelos, entre otros.

La información indicada es mínima, sin embargo cada proyecto tiene particularidades que los pueden hacer requerir de más información, por lo que es recomendable tomar en consideración todos los datos que sean relevantes para tomar decisiones de una mejor manera.

3. Análisis modal por medio de un modelo computacional

Una vez recopilada la información del edificio, se procede a realizar un modelo computacional. Básicamente este es el insumo principal ya que los resultados del análisis modal corresponden a las formas modales y periodos, datos que determinan los principales movimientos que representan el comportamiento dinámico del edificio y son la base para escoger tipos, cantidad



y ubicación de instrumentos. Por otro lado por medio del modelo se permite identificar la regularidad en planta de cada nivel y tener una idea de su comportamiento torsional y poder definir su relevancia en la propuesta desarrollada.

4. Cantidad de acelerógrafos

En el caso en que la razón principal para instrumentar un edificio sea monitorear la actividad, la cantidad de acelerógrafos va a ser menor, esto debido a que la información relevante a extraer de la respuesta dinámica se concentra en obtener periodos y en algunos casos información básica para tener una idea de los primeros modos de vibración. También, si se trata de una estructura que mantiene regularidad tanto en altura como en planta la cantidad de instrumentos a utilizar puede ser mínima ya que probablemente se puedan obviar movimientos rotacionales. Dependiendo del enfoque de la instrumentación, la cantidad puede variar en un rango entre uno y cuatro acelerógrafos.

Por otro lado si se quiere registrar información suficiente para reconstruir una respuesta dinámica de la estructura con precisiones muy altas de manera tal que sirva de base para la calibración o verificación de modelos computacionales, o bien si se trata de estructuras irregulares en altura y planta provocando modos de vibración importantes con formas complicadas, es decir una instrumentación enfocada a analizar la estructura, la cantidad de instrumentos a utilizar va a ser mayor permitiendo obtener información más detallada. Dependiendo del enfoque, la instrumentación extensiva puede comenzar con un mínimo de cinco acelerógrafos extendiéndose a hasta tres o cuatro por nivel.

5. Ubicación de acelerógrafos

El Programa de Instrumentación de Movimiento Fuerte de California (CSMIP, por sus siglas en inglés), sugiere seis modelos base para el posicionamiento de acelerógrafos los cuales se muestran en la figura 3. Por otro lado, (Çelebi, 2000) muestra otras configuraciones a las cuales denominó instrumentaciones extensivas (figura 4), las cuales están enfocadas a captar respuestas dinámicas en edificios de manera muy precisa. El cuadro 1 muestra un resumen que categoriza cada una de estas distribuciones propuestas con relación a los objetivos descritos en la presente guía, así como respuestas esperadas que se pueden registrar a través de ellas.



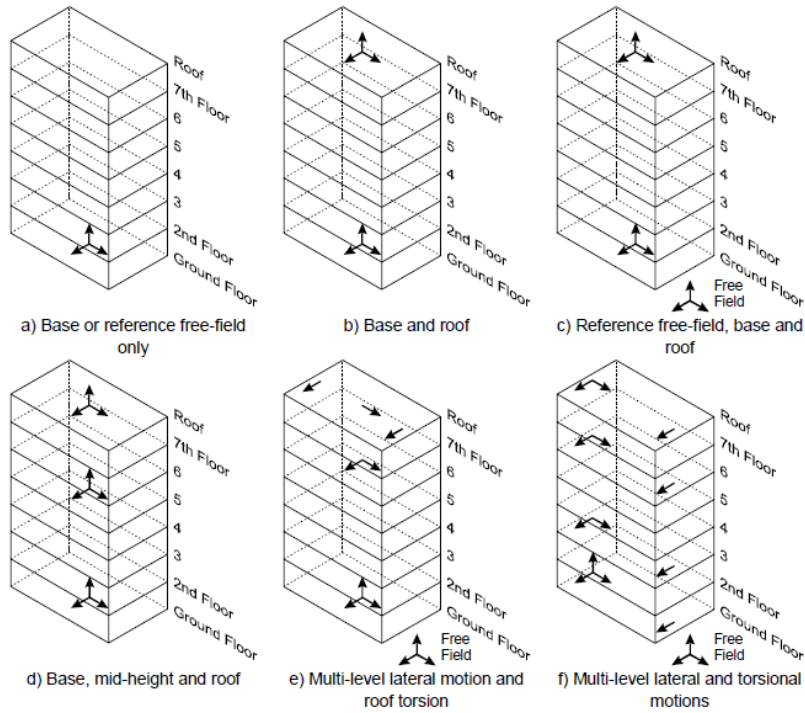


Figura 3. Distribución de instrumentación sugerida por el CSMIP
Fuente. (Deam & Cousins, 2002)

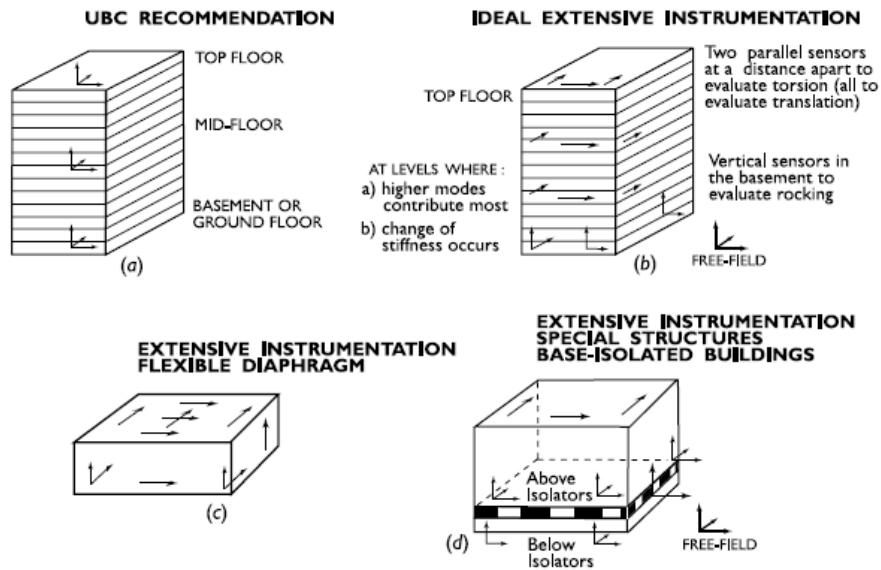


Figura 4. Esquemas típicos de instrumentación sísmica
Fuente. (Çelebi, 2000)



Objetivo	Figura	Resultados esperados
Monitorear	3a) Base o estación de campo libre de referencia*	Respuesta limitada a movimiento de fundaciones
	3b) Base y techo	Respuesta limitada a movimiento de fundaciones y techo en direcciones ortogonales
	3c) Base y techo con estación de campo libre de referencia*	
	3d) y 4a) Base, nivel intermedio y techo	Configuración ideal de monitoreo ya que permite obtener parámetros dinámicos en tres niveles de referencia y tener una idea general de las formas modales traslacionales
	3e) Movimientos laterales en múltiples niveles, torsión en techos y estación de campo libre*	Al igual que las figuras 3d y 4a representa una configuración ideal para registrar movimientos traslacionales, sin embargo de ser requerido monitorear movimientos torsionales se recomienda ubicar un instrumento más en el extremo del techo o nivel intermedio en una de las dos direcciones horizontales
Analizar	3f) Movimientos laterales y torsionales en múltiples niveles con estación de campo libre*	Se obtiene respuesta dinámica de movimientos traslacionales y rotacionales con precisiones altas
	4b) Instrumentación extensiva con estación de campo libre*	
	4c) Instrumentación extensiva para diafrámas flexibles	Registra respuesta dinámica de entrepisos flexibles para reconstruir su comportamiento de manera precisa
	4d) Instrumentación extensiva enfocada a estructuras con bases aisladas, con estación de campo libre	Registra el comportamiento de bases aisladas en estructuras asiladas sísmicamente
*Estación de campo libre. Se utiliza para estudiar la interacción suelo-estructura, sin embargo en zonas urbanas, esto puede ser un problema debido a la densidad de instalaciones construidas.		

Cuadro 1. Objetivo y respuesta asociada a cada configuración propuesta.

Por otro lado, luego de haber escogido los puntos adecuados para la instalación de los acelerógrafos de movimiento fuerte, se aconseja validarlos por medio de una visita a sitio y aprobación por parte del encargado del edificio a analizar. Esto debido a que la ubicación preliminar puede no ser accesible o bien presentar factores externos no previstos que pueden afectar los registros. Una vez validados los puntos, es recomendable realizar una esquematización básica que pueda servir de guía y facilitar la instalación.



6. Instalación.

La precisión de los registros está directamente relacionada con un correcto proceso de instalación. Este paso puede desarrollarse de manera diferente entre un proyecto de instrumentación y otro dependiendo de los lineamientos seguidos por los profesionales o entes encargados. Sin embargo, es importante cumplir con una serie de requerimientos mínimos para una correcta instalación:

- Debe ser efectuada por personal con conocimientos técnicos en electrónica y con experiencia en el campo para una correcta manipulación.
- Usar esquemas de referencia que muestren el espacio destinado para la instalación de los equipos.
- Los acelerógrafos deben ser instalados cumpliendo con estándares de seguridad laboral. (USGS, 2005)
- Asegurarse de nivelar correctamente los equipos, (Esquivel & Schmidt, 2016) recomiendan limpiar la superficie para evitar la interferencia de objetos bajo los tornillos de nivelación de los acelerógrafos.
- Identificar el sistema de coordenadas global de manera que los sensores se ubiquen con una tolerancia de ± 0.5 grados respecto a la dirección deseada (USGS, 2005).
- Designar un instrumento de referencia a partir del cual los demás acelerógrafos se orienten respetando una precisión de 10mm o menos en cada dirección a registrar (USGS, 2005).
- Definir las ventanas de tiempo con las que se requiere trabajar, las cuales como mínimo deben ser de 1000 veces el periodo fundamental del edificio en estudio (Esquivel & Schmidt, 2016).

Luego de una correcta instalación de los instrumentos, el sistema comienza a operar registrando la respuesta dinámica del edificio en estudio.

7. Procesamiento de datos.

Se describe de manera general el procedimiento para procesar los datos obtenidos por los acelerógrafos y traducirlos en frecuencias/periodos de manera que puedan ser utilizados para el objetivo definido.

Los registros obtenidos a través de acelerógrafos de movimiento fuerte se muestran como gráficas de aceleración en función del tiempo lo cual se conoce como acelerograma. Un ejemplo de este tipo de registro se muestra en la figura 7, haciendo referencia al terremoto de El Centro en el Valle Imperial ubicado al sureste de California.



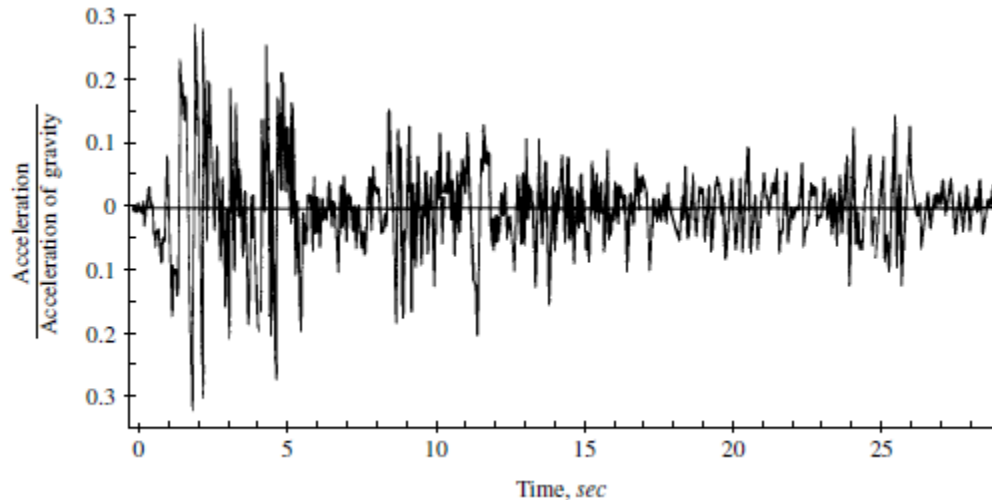


Figura 7. Acelerograma del terremoto El Centro, Valle Imperial, California, 1940.
Fuente. (Penzien & Clough, 2003)

Los registros obtenidos deben ser corregidos y filtrados. Inicialmente se hace una inspección visual para eliminar incongruencias producto de golpes, vibraciones por maquinaria, entre otros. Seguidamente se realizan correcciones de las señales, filtrándolas entre los 0.3 Hz y los 30 Hz, los cuales son límites utilizados ampliamente en procesamiento de registro de acelerogramas en estructuras (Dominguez, 2012), sin embargo estos rangos pueden variar, por ejemplo (Çelebi, 2000) muestra valores máximos de 50Hz. Finalmente se aplica una disminución gradual llamada (taper) al inicio y final de la señal para que empiece y termine en cero (Esquivel & Schmidt, 2016). Este proceso se representa por medio de un diagrama de flujo el cual se muestra en la figura 8.



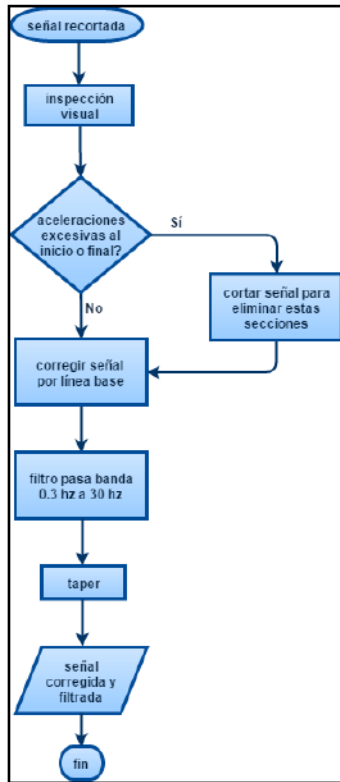


Figura 8. Corrección y filtrado de señal.
Fuente: (Esquivel & Schmidt, 2016)

Posteriormente, “el contenido frecuencial de los movimientos se puede identificar convirtiéndolo del dominio del tiempo al dominio de frecuencia” (Reyes, 1998), es decir como espectros de Fourier. Por otro lado “la función de transferencia nos sirve para encontrar la relación de amplitudes que tienen dos señales” (Dominguez, 2012), de esta manera es posible comparar dos señales para eliminar datos registrados por accidentes. En la figura 9 se observa el espectro de Fourier y función de transferencia para un mismo punto de medición.

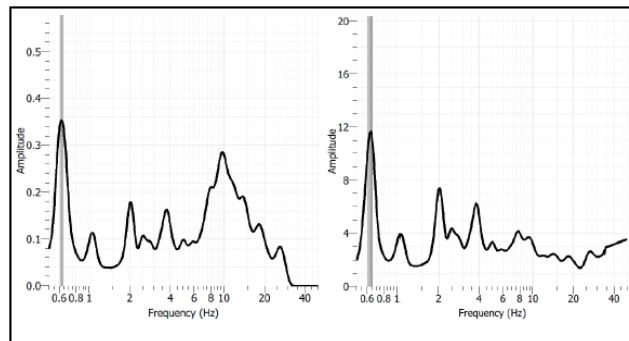


Figura 9. Espectro de Fourier (Izquierda) y función de transferencia (Derecha) para un mismo punto.
Fuente. (Esquivel & Schmidt, 2016)

Los picos representados en la figura 9 corresponden a la frecuencia fundamental de un mismo punto registrado.



Mantenimiento.

Un mantenimiento continuo de los equipos instalados se vuelve esencial, de manera que los registros obtenidos no se vean afectados por un mal funcionamiento. Para esto, se recomienda coordinar visitas al edificio con personal con conocimientos técnicos en electrónica y experiencia, para verificar como mínimo los siguientes apartados:

- La ubicación de los instrumentos no haya sido alterada.
- Revisar que los equipos estén calibrados, de lo contrario realizar los ajustes necesarios.
- Verificar la vida útil de las baterías las cuales deben ser remplazadas cada 3 años (Çelebi, 2000), sin embargo para mantener un mejor control es aconsejable consultar con el respectivo fabricante.
- Asegurarse que el cableado y conectividad de los acelerógrafos funcione correctamente.

El tiempo definido entre cada inspección de mantenimiento depende de la experiencia, salud estructural del edificio y distribución de instrumentos escogida, sin embargo es esencial realizar la visita luego de que la estructura esté sometida a un evento que ponga en riesgo la integridad del equipo, como un sismo.



Costos.

Los costos asociados se pueden categorizar en costos directos e indirectos, los cuales se diferencian por la relación que mantienen con el producto final proyectado en el proyecto.

Los costos directos hacen referencia a todos los materiales consumibles, es decir todos los insumos que mantienen una relación directa con el producto final. En este apartado se incluye los costos de los acelerógrafos de movimiento fuerte con sus respectivos accesorios. También, los montos relacionados a la mano de obra ya sea técnica o profesional necesaria para la respectiva instalación y subcontratos forman parte de esta categoría.

Por otro lado, se encuentran los costos indirectos, los cuales no quedan pactados directamente en el producto final pero que de alguna u otra forma son necesarios para poder desarrollar el proyecto. En este caso se incluyen los montos relacionados a alimentación, transporte, equipo de protección personal, herramientas, entre otros. Lo recomendable es realizar un presupuesto detallado considerando cada uno de ellos por separado, sin embargo en muchas ocasiones por las condiciones particulares de cada proyecto estos montos son difíciles de definir preliminarmente. En estos casos, (Esquivel L. , 2020) profesional del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica (LIS) con amplia experiencia en el tema, menciona que “la última estimación que se había hecho era de que el costo de instalación como un único rubro conteniendo lo que usted me indica era del 10% de costo de los equipos”, por lo que en estos casos de manera muy general se recomienda utilizar un valor cercano al recomendado.



Reporte final.

Luego de haber realizado todo el análisis necesario para escoger de manera adecuada la distribución, tipos de acelerógrafos de movimiento fuerte a utilizar y su respectiva estimación de costos, se recomienda realizar un pequeño reporte que resuma toda la información relevante del proyecto, lo cual puede ser un aporte muy útil tanto para el personal a cargo de la instalación, como para los representantes o dueños del edificio en estudio. Se aconseja que contenga como mínimo los siguientes datos:

- Datos de profesional(es) o ente encargado.
- Nombre del edificio con su respectiva ubicación.
- Objetivo principal.
- Tipos de acelerógrafos.
- Ubicación de acelerógrafos (Adjuntar esquemas de contar con ellos).
- Fecha y hora de instalación
- Ente encargado de instalación y mantenimiento
- Monto final.
- Comentarios o aclaraciones adicionales

En el apéndice 1 se adjunta una plantilla que sirve como ejemplo en cuando a su estructuración y contenido, la cual puede servir como punto de partida para adaptarla a las necesidades de cada profesional(es) o entidad a cargo del desarrollo del proyecto.



Conclusiones

- La guía presenta requerimientos mínimos los cuales deben ser complementados y adaptados en función de las particularidades de cada proyecto.
- La cantidad y tipos de acelerógrafos guarda una dependencia directa del objetivo principal definido
- La ubicación preliminar puede no ser accesible o bien presentar factores externos no previstos que pueden afectar los registros
- Una correcta instalación y mantenimiento influyen directamente en la precisión de los registros
- Los acelerógrafos tri-axiales son los más utilizados debido a su mejor rendimiento, a pesar que no se utilice alguno de sus sensores.



Recomendaciones

- Desarrolla un reporte final que reúna la información relevante del proyecto, por lo que se adjunta una plantilla base con los datos mínimos a incluir.
- Validar puntos por medio de una visita a sitio y aprobación por parte del encargado del edificio a analizar.
- Desarrollar un presupuesto detallado para estimar costos lo más aproximados a la realidad
- Realizar un mantenimiento periódico para asegurar el buen funcionamiento de los equipos.
- Realizar esquemas que muestren la ubicación exacta prevista para colocar los acelerógrafos de movimiento fuerte.



Bibliografía

- ANSS Structural Instrumentation Guideline Committee. (2005). *Guideline for ANSS Seismic Monitoring of Engineered Civil Systems - Version 1.0*. U.S. Geological Survey.
- California Department of Conservation. (s.f.). *California Department of Conservation*. Recuperado el 11 de Agosto de 2020, de California Department of Conservation: <https://www.conservation.ca.gov/cgs/smip>
- Çelebi, M. (2000). *Seismic Instrumentation of Buildings*. California: United States Geological Survey.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de Estructuras Cuarta Edición*. Mexico: Pearson Educación.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Deam, B., & Cousins, W. (2002). Strong-motion instrumentation of buildings in New Zealand. *New Zealand Society for Earthquake Engineering 2002 Conference*. New Zealand Society for Earthquake Engineering.
- Dominguez, A. (2012). *Determinación de las propiedades dinámicas y efecto de interacción suelo-estructura de un edificio en la ciudad de México mediante un estudio de vibración ambiental*. Mexico D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Esquivel, L. C., & Schmidt, V. (2016). *METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EJECUTAR Y PROCESAR MEDICIONES DE VIBRACIONES AMBIENTALES UTILIZANDO ACELERÓGRAFOS TRIAXIALES EN EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO DE MENOS DE 100M DE ALTURA*. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras.
- Esquivel, L. (2020, Agosto 4). Consultas respecto a instrumentación. (J.P. Pacheco, Entrevistador)
- Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional . (s.f.). *Instituto Geofísico*. Recuperado el 11 de Agosto de 2020, de Instituto Geofísico: <https://www.igepn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografos>
- Kious, W., & Tilling, R. (2011, Septiembre 19). *U.S. Geological Survey*. Recuperado el 27 de Agosto de 2020, de U.S. Geological Survey: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/slabs.html>
- Penzien, J., & Clough, R. (2003). *Dynamics Of Structures*. California: Computers & Structures, Inc.
- Reyes, L. E. (1998). *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Rojahn, C. (1976). *California Building Strong Motion Earthquake Instrumentation Program*. California: U.S. Department of the Interior Geological Survey.
- Sauter F., F. (1989). *Introducción a la Sismología*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- SRC. (2014, Febrero 27). *Centro de Investigación Sismológica*. Recuperado el 27 de Agosto, 2020, de Centro de Investigación Sismológica:



Tarbuck, E., & Lutgens , F. (2005). *Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física (8va edición)*. Madrid: Pearson Educación S. A.

Van Der Werth, F. (2020, Julio 31). Request for quotation. (J. P. Pacheco, Entrevistador)



Apéndice

Apéndice 1

REPORTE DE INSTRUMENTACIÓN

Información del edificio			
Nombre		Fecha de instalación	
Encargado		Contacto	
Ubicación		Sistema estructural	
Instalación y mantenimiento			
Instalación por			
Profesionales encargados	1	Contacto	
	2	Contacto	
Mantnimeinto por			
Profesionales encargados	1	Contacto	
	2	Contacto	
Instrumentación			
Objetivo principal	<input checked="" type="checkbox"/> Monitorear	Breve descripción	
	<input type="checkbox"/> Analizar		
Tipos de acelerógrafos	<input type="checkbox"/> Uni-axial	Ubicación	
	<input type="checkbox"/> Bi-axial		
	<input type="checkbox"/> Tri-axial		
		Monto final	₡ -
Comentarios adicionales			
Firmas			
<hr/> Instalación		<hr/> Mantenimiento	
<hr/> Propietario			

