

# 1 Salud estructural

## 1.1 Antecedentes

Las obras de infraestructura de gran magnitud tales como puentes carreteros, túneles, presas y líneas de transporte colectivo, cumplen un papel estratégico en el desarrollo de muchas actividades que se llevan a cabo dentro de un entorno determinado. Estas estructuras benefician al ser humano en diversas formas. Sin embargo, cuando una obra de este tipo envejece o se ve sometida a acciones extraordinarias como sismos, estas pueden presentar fallas o un inadecuado funcionamiento, afectando de forma significativa las actividades culturales, sociales y económicas del ser humano.

La falta de acciones preventivas ante el deterioro y daño estructural en las obras civiles, trae diversas consecuencias negativas. La más importante es sin duda donde se involucra la integridad física de los miembros de una población. En general, aun cuando no se presenten pérdidas humanas, la población se ve afectada de gran manera ante una estructura parcial o totalmente fuera de servicio. El daño económico que se presenta también es de consideración. Esta puede ser directa e indirecta. En forma directa debido a los altos costos de reparación y de manera indirecta en las actividades económicas humanas que pudieran realizarse dentro de la estructura o cercana a ella.

Es por esto que las principales metas de la ingeniería estructural son lograr un buen diseño, calidad de construcción, durabilidad y seguridad de las estructuras. En la actualidad es reconocido el hecho que las construcciones más seguras y durables son aquellas que son vigiladas y controladas, es en este sentido que el monitoreo de la salud estructural suele jugar un papel importante para cumplir este propósito.

El estudio de la salud estructural en la ingeniería civil ha tomado gran importancia en los últimos años, llamando la atención del mundo académico y de investigación. El gran desarrollo y avance que ha experimentado en las últimas décadas se debe en parte a dos motivos principales. El primero es la gran aceptación en el sector de la construcción por los beneficios potenciales que puede llegar a reportar y el

segundo motivo es el surgimiento de nueva tecnología que hace posible el monitoreo de forma eficiente.

Los beneficios que representa el uso de sistemas de monitoreo se basan principalmente en la optimización de la operación, el mantenimiento y reparación de la infraestructura, lo cual ayuda a minimizar el riesgo de posibles colapsos repentinos que pudieran poner en riesgo vidas humanas. Una temprana detección de fallas en la estructura, permite que los costos de mantenimiento y reparación sean menores que si se detectan en una etapa futura cuando el problema haya agudizado.

## 1.2 El monitoreo de la salud estructural

En el comportamiento humano, el sistema nervioso detecta anomalías en el funcionamiento del cuerpo y manda dicha información al cerebro. El paciente acude al médico para ser examinado, obtener un diagnóstico y finalmente una cura. De manera similar, lo mismo ocurre en una estructura monitoreada, ya que el objetivo del monitoreo es detectar comportamientos inusuales que indiquen el inadecuado funcionamiento de una estructura. Esta detección de comportamientos inusuales requerirá una inspección, un diagnóstico y finalmente reparación (Glisic e Inaudi 2007).

El monitoreo de la salud estructural se define como un proceso cuyo objetivo es recabar información acerca de la condición y comportamiento de una estructura a través del tiempo. Este proceso consiste en la continua recopilación de los parámetros más representativos que indican el estado de una estructura.

La selección de los parámetros a recopilar dependen de varios factores, como el tipo de estructura, el propósito de la misma, los materiales de construcción, ciertas condiciones ambientales, etc. En términos generales estos factores pueden ser mecánicos, físicos o químicos. Algunos de estos parámetros se presentan en la *Tabla 1.1*.

La observación y recopilación de parámetros puede realizarse tanto de forma local como de forma global. Se refiere un monitoreo en forma local, a la observación del comportamiento de un material en específico, y un monitoreo en forma global a la observación de la estructura en conjunto. El uso del monitoreo en forma local o global dependerá del tipo de estructura. Normalmente estructuras innovadoras que implementen nuevos materiales de construcción requerirán un monitoreo local, mientras que estructuras convencionales así como construcciones antiguas, requieran un monitoreo global.

El tiempo de duración del monitoreo también se selecciona de acuerdo al tipo de estructura, así, este puede ser de corto, mediano o largo plazo. Al monitoreo de corto y largo plazo se les suele denominar también temporal y permanente, respectivamente.

El monitoreo permanente se utiliza cada vez con más frecuencia inclusive implementándose desde la etapa constructiva debido a que ayuda a los ingenieros a conocer y entender el comportamiento real de la estructura. En ciertos casos ayuda también a detectar errores constructivos que pueden inferir en el

funcionamiento futuro de la estructura, permitiendo aplicar las acciones correspondientes para corregir el problema.

Tipo	Parámetro
Mecánicas	Esfuerzo
	Defromación
	Desplazamiento
	Cargas actuantes
Físicas	Temperatura
	Humedad
	Presión de poro
Químicas	Penetración de cloro, sulfatos
	pH
	Oxidación del acero

*Tabla 1.1 Parámetros más representativos de una estructura*

Recientes tecnologías surgidas de las industrias aeronáutica, espacial y automotriz principalmente, aplicadas al monitoreo ha permitido un gran avance avances en este campo. No obstante, sólo un limitado número de aplicaciones son llevadas a la práctica. Esta situación se debe principalmente a tres problemas. El primero de ellos es que las técnicas de monitoreo estructural no son aún integradas en los programas de estudio de la ingeniería civil, por lo que existe cierto desconocimiento del tema. El segundo problema es que la eficiencia de los sistemas de monitoreo estructural sólo se puede apreciar a mediano plazo. El tercer problema es el manejo e interpretación de los grandes volúmenes de información que suelen obtenerse al aplicar un monitoreo a una estructura.

### 1.3 Etapas del monitoreo de la salud estructural

Las principales actividades que conforman el monitoreo estructural son: selección de la estrategia del monitoreo, instalación y mantenimiento del sistema seleccionado, procesamiento de la información y en caso de que sea interrumpido el monitoreo se procederá a desinstalar el equipo y a su almacenamiento. Cada una de estas etapas dividiéndose a su vez en sub-actividades que complementan el monitoreo de la salud estructural.

La *Figura 1.1* muestra un resumen de las actividades que conforman el monitoreo estructural y las sub-actividades que conlleva (Glisic e Inaudi 2007).

Como se puede apreciar en dicha figura, el desarrollo que presenta el monitoreo de estructuras lleva consigo la participación de un número importante de disciplinas, es decir, la intervención de distintos especialistas de los diversos campos de la ingeniería, así como de otras áreas. Resultan de ello, una gran cantidad de aspectos de interés a ser estudiados.

Sin dejar de lado los problemas de carácter operativo y de integración, que están relacionados con la selección los sistemas de adquisición, almacenamiento y transmisión de datos, así como las formas de comunicación entre los distintos componentes del sistema, es en el manejo y selección de información

y en el desarrollo de algoritmos para la evaluación del estado que guarda una estructura, en los cuales se pretende profundizar en esta propuesta de tesis.

En este sentido y de manera particular se busca indagar en la aplicación de algoritmos, que partiendo del hecho de que la información que se obtiene de manera experimental puede ser tratada bajo el campo de las series de tiempo, desembocan en la elaboración de modelos estadísticos que permitan tanto describir, como llegar a predecir, el comportamiento de una obra civil determinada, a través de los parámetros más representativos que lo permitan.

Estrategia de monitoreo	Instalación del sistema de monitoreo	Mantenimiento del sistema de monitoreo	Manejo de la información	Actividades finales
<ul style="list-style-type: none"> <li>Objetivos del monitoreo</li> <li>Selección de los parámetros a monitorear</li> <li>Selección del sistema de monitoreo</li> <li>Ubicación de sensores</li> <li>Calendario de actividades</li> <li>Costos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación de sensores</li> <li>Instalación de accesorios</li> <li>Instalación de programas</li> <li>Instalación de interfaces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abastacimient de energía eléctrica</li> <li>Mantenimiento de líneas de comunicación</li> <li>Planes de mantenimiento</li> <li>Reparaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ejecución de mediciones</li> <li>Almacenamiento de la información</li> <li>Acceso a la información</li> <li>Visualización</li> <li>Exportación de información</li> <li>Interpretación</li> <li>Análisis</li> <li>Uso de la información</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Finalización del monitoreo</li> <li>Retiro del sistema de monitoreo</li> <li>Almacenamiento del sistema de monitoreo</li> </ul>

*Figura 1.1 Etapas del monitoreo estructural*

## 1.4 Manejo de la información

El manejo de la información producto del monitoreo estructural puede ser básico o avanzado. El manejo básico de la información consiste en la captura y almacenamiento de la información. La captura de datos puede ser manual, semi-automática o automática, en sitio o remotamente, periódica o continuamente, estáticamente o dinámicamente. Estas opciones pueden ser combinadas de diferentes maneras según sea necesario. Por ejemplo, en el caso del monitoreo permanente es preferible una captura automática y continua, cuya información se pueda acceder de forma remota sin necesidad de presencia humana en el sitio. Algunos posibles métodos de captura se presentan en la *Figura 1.2*.

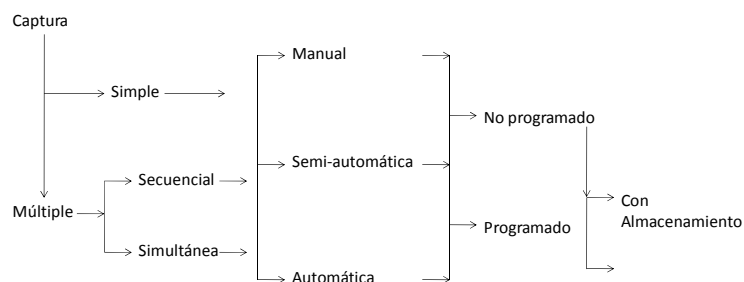
El almacenamiento de la información puede ser en forma de tablas, diagramas, etc., guardados en distintos medios electrónicos (CD, DVD, etc.) o impresos en papel. El medio de almacenamiento debe ser seguro y contar con copias de seguridad a fin de garantizar que la información nunca se pierda, además de ser de fácil acceso. La *Figura 1.3* muestra los dos tipos de almacenamiento que se puede tener.

El manejo de la información producto de la captura requiere el uso de programas y sistemas de cómputo ya que sin ellos sería difícil el manejo de grandes volúmenes de información.

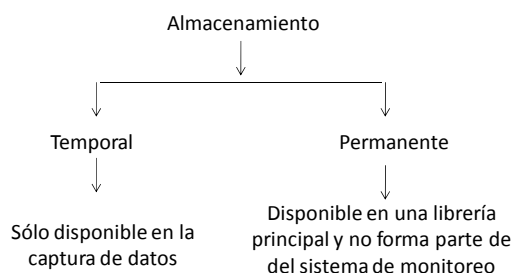
Los programas utilizados para el manejo de la información son herramientas muy completas que ayudan a la interpretación, visualización, exportación análisis y uso de la información. El uso de estas herramientas ayudan a transformar la datos obtenidos en información útil que darán cuenta del estado de la estructura; sin éstas, las capturas sólo representarían una lista interminable de números. Igualmente que en la captura de datos, la transformación de la información puede ser manual, semi-automática o automática.

El tratamiento de la información de forma manual consiste en la interpretación, visualización, exportación y análisis. Es práctico cuando la cantidad de información es limitada. El tratamiento de forma semi-automática consiste normalmente en la exportación de datos en forma manual y un análisis automático de la información. El tratamiento de forma automática es la más conveniente debido a que puede ser realizada de forma rápida y no depende de la cantidad de información recopilada.

Finalmente el tipo de manejo de la información a utilizar deberá planearse en conjunto con la selección de la estrategia de monitoreo. Los procedimientos y herramientas a utilizar deberán ser compatibles con el sistema de monitoreo seleccionado.



*Figura 1.2 Métodos de captura*



*Figura 1.3 Tipos de almacenamiento*