
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.

Las obras civiles tienen presencia en todas las sociedades, sin importar la cultura, religión, ubicación geográfica y desarrollo económico. En la actualidad es difícil imaginar una civilización sin casas, edificios, carreteras, ferrocarriles, puentes, túneles, presas y plantas de energía eléctrica. Por lo tanto, un buen diseño, económico, con una calidad constructiva que garantice una mayor durabilidad y seguridad, son algunos de los objetivos de la ingeniería estructural.

1.1 La importancia de la instrumentación.

El mal funcionamiento de las estructuras puede tener serias consecuencias. La ocurrencia de algún accidente derivado de esta situación puede involucrar vidas humanas o en su defecto, las poblaciones pueden sufrir carencias si la infraestructura queda parcial o completamente fuera de servicio. El colapso de bastimentos tales como redes de energía eléctrica, carreteras, tuberías de agua potable o drenaje, etc. pueden provocar el caos. En términos económicos el efecto puede ser de dos tipos, ya que esto implica un impacto directo, que es reflejado por los costos de reconstrucción y un impacto indirecto, que involucra a otras ramas de la economía. Mientras que el derrumbe de monumentos históricos tales como puentes, catedrales, edificios y palacios, es otro aspecto de cuidado, ya que su comportamiento estructural es complejo debido al carácter empírico de los métodos constructivos y de diseño que se emplearon en su elaboración (Meli, 2008). Estas cuestiones no pueden tomarse a la ligera, ya que representarían una lamentable pérdida para la sociedad.

Al monitorear las obras civiles, se fomenta la investigación y la adquisición de nuevos conocimientos que promueven un mayor entendimiento del comportamiento de los materiales y métodos tradicionales de construcción, lo cual puede reflejarse en un mejor aprovechamiento de la infraestructura existente. Inclusive puede implementarse desde la etapa constructiva sirviendo como apoyo para detectar errores constructivos que pueden inferir en su funcionamiento, permitiendo aplicar las acciones correspondientes para corregir el problema (Rodríguez, 2010). Y cuando la estructura ya no satisface el nivel de desempeño requerido y los costos de reparación o refuerzo son elevados. Permite la realización de las labores de desmantelamiento de un inmueble, evitando riesgos y con un alto grado de seguridad (Branko, et al., 2007).

En pocas palabras, la importancia de la instrumentación de obras civiles recae en la búsqueda de respuestas a diversas problemáticas. A pesar de ello, la cultura del monitoreo estructural aún no se ha extendido como debería ser. En muchas ocasiones, se considera como una actividad que solo tiene trascendencia en la investigación científica. Sin embargo, los hechos dicen todo lo contrario. Es un proceso encaminado a proporcionar información exacta, relativa a la condición y desempeño de una estructura a través del tiempo. Por lo tanto, frecuentemente tiene un papel esencial en las actividades administrativas de un proyecto, ya que con la ayuda de los datos obtenidos del programa de monitoreo se pueden establecer las medidas necesarias que permiten planificar las acciones destinadas a optimizar la operación, proporcionar mantenimiento, reparación y remplazo de los elementos de una estructura, basándose en datos seguros y objetivos que permiten verificar hipótesis y reducir incertidumbres, lo cual fomenta el desarrollo de construcciones confiables, seguras y durables.

1.2 Reseña histórica de la instrumentación de obras civiles.

Durante el siglo anterior, se estudiaron y se observaron una serie de fenómenos físicos que tuvieron un significado importante en el desarrollo de sensores y de la instrumentación. Estos fenómenos constituyen la base de los aparatos de medición que conocemos hoy en día. Es por ello que podemos hablar del efecto termo eléctrico, piezoeléctrico, de la interacción entre la deformación mecánica, la variación de resistencia eléctrica y aplicarlo al monitoreo estructural.

A finales del siglo XIX, ya se utilizaban muchos transductores que eran capaces de medir variables que no podían detectar los seres humanos como diversas partes no visibles del espectro electromagnético y la radiación infrarroja. Los conflictos militares contribuyeron a encontrar nuevas ideas y tecnologías. La primera guerra mundial (1914-1918) precipitó el desarrollo de las radiocomunicaciones. La necesidad de implementar sistemas de comunicación de radio marítimos permitió establecer buenas comunicaciones entre los barcos mediante el desarrollo de detectores, amplificadores y generadores de señales de radiofrecuencia que sirven para acondicionar las lecturas obtenidas con diversos instrumentos. Gracias a estos adelantos tecnológicos, la variedad de efectos e interacciones físicas que se descubrieron en el siglo XIX encontraron su aplicación como sensores cuando se dispuso de los amplificadores electrónicos a partir del año de 1920. La variación de la resistencia de los metales sometidos a una deformación se comienza a utilizar en medidas de esfuerzo con deformímetros en 1930. La sensibilidad a la luz del selenio se utilizó en el control de la intensidad de la luz. Los termopares y las resistencias de platino se emplearon para el diseño de termómetros que comenzaron a utilizarse en las fábricas para realizar procesos de control de calidad, entre otras tantas aplicaciones.

Durante la segunda guerra mundial (1939-1945) se desarrollaron los sistemas de radar, los controladores de vuelo de aeronaves y otros dispositivos en los cuales la instrumentación era una parte importante en el desarrollo de la actividad naval y aeronáutica (figura 1.1). Esto también permitió la telemetría de trenes de carga a través del uso de bulbos en la instrumentación y posteriormente el desarrollo de los rayos x, los electrocardiógrafos, entre otros dispositivos utilizados en la práctica de la medicina y la industria (Lázaro Manuel, et al., 2001).



Figura 1.1: Portaviones USS Hornet y bombardero B-25 Mitchel (Anónimo, 1945)

La aparición de las primeras computadoras electrónicas a mediados de la década de los 40's marcaba el inicio de nuevas aplicaciones encaminadas a la investigación y la industria. Sin embargo aun no se podía hablar de sistemas de monitoreo, ya que sus primeras aplicaciones solo se limitaban a realizar labores de índole militar, como realizar cálculos de artillería que involucran determinar la trayectoria de bombas e incluso, misiles (Figura 1.2). Más adelante, comenzaron a utilizarse en tareas más comunes como resolver sistemas de ecuaciones lineales, calcular la nómina de una empresa, realizar censos, entre otras.

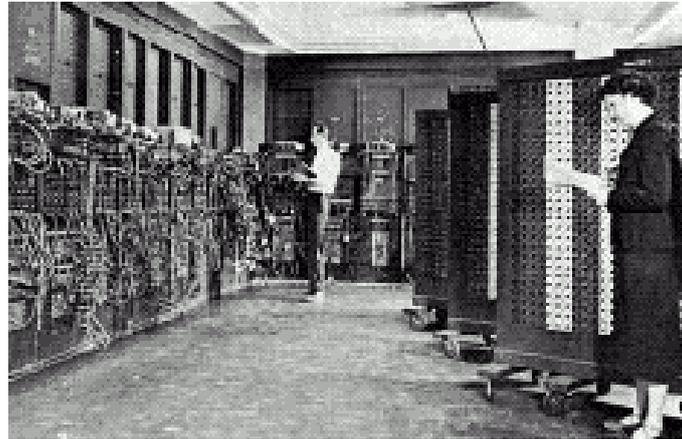


Figura 1.2: Primera computadora electrónica ENIAC (Universidad de Pensilvania, 1946)

En aquel entonces no era fácil imaginar una construcción dotada con sensores que permitieran conocer su comportamiento estructural. Sobre todo teniendo en cuenta lo elevado de los costos de estos dispositivos, la falta de sistemas de adquisición de datos que fueran compatibles con los mismos y que la capacidad de las computadoras para manipular, almacenar y procesar información recabada con estos aparatos representaba un desafío que estaba en puerta. Todo esto hacía muy remota la posibilidad de que esta actividad fuese factible en la práctica. Los avances más representativos en este campo vieron sus inicios en los laboratorios al tratar de conocer con mayor exactitud, las propiedades mecánicas de algunos materiales tales como el concreto y el acero, los cuales se emplean en la construcción, así como elaboración de otros productos tales como herramientas, maquinaria, etc.

La llegada del boom industrial en países como Japón y los Estados Unidos durante la década de los 70's, fomentó la construcción de grandes obras que permitieran el traslado y comercialización de sus productos hacia otras naciones. La economía mundial giro en torno a estas dos potencias, por lo cual el deterioro de caminos y puentes como consecuencia del uso y la presencia de fenómenos naturales tales como tifones y terremotos arraigaron en estas y en otras naciones del mundo, la necesidad de brindar mantenimiento a sus construcciones y preservarlas en condiciones óptimas para su operación. Sin embargo, no fue sino hasta de la década de los 90's cuando se inicio el desarrollo de las primeras aplicaciones del Monitoreo de la Salud Estructural y como consecuencia el surgimiento de los primeros sistemas de monitoreo estructural, los cuales se desempeñaron principalmente en el monitoreo de puentes en países como Corea, China y Japón por citar algunos ejemplos, mientras que en otras naciones tales como Suiza y los Estados Unidos se han realizado avances en el desarrollo de sistemas de monitoreo basados en el GPS, cuyas aplicaciones han extendido su uso en otras estructuras tales como edificios, redes de distribución de agua potable, presas, plantas de energía nuclear, etc.

Hasta la fecha se pueden hablar de tres generaciones de sistemas de monitoreo. La primera se caracterizó por el uso de un sistema independiente constituido por sensores y equipo que efectúa transmisiones en línea a una computadora en campo. La segunda generación permite la operación simultánea de dos o más sistemas de monitoreo diferentes para que trabajen en forma conjunta e incluso facilita la manipulación de los datos en sitio (Koh et al., 2002). La tercera generación hace referencia a aplicaciones tales como la fusión de dos o más sensores, la habilidad de transmitir múltiples señales simultáneamente, la incorporación de energías renovables en el funcionamiento de los sistemas de captura, el establecimiento de algoritmos de vigilancia automática, procesamiento de señales, etc. De igual manera se ha procurado la participación de medios satelitales que permitan la transmisión inalámbrica de los datos, así como la visualización y la adquisición de los mismos vía internet. Incluso, se han estado desarrollando sensores inalámbricos, lo cual, es un indicio de que las nuevas tendencias tecnológicas están siendo encaminadas hacia el uso de menos cables, al desarrollo de sistemas de monitoreo versátiles y al impulso de la vigilancia de la salud estructural, como una actividad cuya trascendencia, sea cada vez más fácil de realizar y sin fronteras.

1.3 Objetivos.

El presente trabajo trata de enfatizar la importancia de la instrumentación de estructuras, no sólo como una actividad exclusiva de la comunidad científica de nuestro país, sino como una herramienta que permite vigilar la integridad estructural de todo proyecto en sus múltiples etapas. Para lo cual, se plantean los siguientes objetivos:

- Describir las actividades que conforman el monitoreo estructural.
- Conocer el funcionamiento de algunos tipos de sensores comúnmente empleados en el monitoreo estructural.
- Presentar algunas de las tecnologías utilizadas hoy en día en instrumentación de estructuras.
- Mostrar algunos ejemplos de obras civiles monitoreadas con estos dispositivos en México.
- Exponer las actividades realizadas en el monitoreo de un puente con trayectoria curva, el cual se localiza en el estado de Chiapas.