
CAPÍTULO 3.

LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA INSTRUMENTACIÓN.

Hoy en día, la mayoría de los métodos tradicionales de monitoreo han implicado el uso de cables para comunicar los instrumentos con los sistemas de adquisición de datos. Esta práctica en ocasiones llega a ser costosa y problemática, ya que las longitudes de los cables utilizados pueden restringir el desempeño de los sensores e inclusive dificultar su instalación. Ante esta problemática, lo ideal es el uso de sensores inalámbricos. Sin embargo, su viabilidad aún se encuentra en fase de prueba, dadas las limitaciones que presentan por el uso de baterías, la reciente necesidad de normas que estandaricen su fabricación y el establecimiento de protocolos e interfaces de radiocomunicación (Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, HFSS, etc.) que permitan su operación, debido al potencial incremento de posibles interferencias por parte de otros dispositivos que también los utilizan (Ramos, 2011).

Una alternativa para transmitir múltiples señales y altas densidades de información, que ha resultado muy exitosa en el campo de las telecomunicaciones, es el uso de la fibra óptica. Su incursión en el desarrollo de sistemas de adquisición de datos para el monitoreo estructural ha adquirido una gran aceptación, por lo cual su uso se ha extendido a la elaboración de diversos aparatos de medición. Por otro lado, el empleo de receptores de GPS ha permitido la incorporación de elementos semi-inalámbricos que forman parte de los sistemas de captura, tales como algunos registradores de datos, los cuales pueden sincronizarse mediante el uso del reloj interno del GPS, reduciendo las longitudes de cables que utilizan los sensores y abarcando grandes trayectos. Mientras tanto, del ámbito industrial se han incorporado algunas aplicaciones tecnológicas, como los sensores láser, cuya utilidad se basa en verificar dimensiones en procesos de fabricación automatizados y control de calidad. Las ventajas que ofrecen estos dispositivos se pueden aprovechar para medir grandes extensiones de terreno en levantamientos topográficos, realizar revisiones estructurales o coordinar maniobras constructivas. A continuación se comentan algunos aspectos relevantes de estas tecnologías

3.1 La fibra óptica.

Es un filamento de cristal o plástico compuesto por óxido de silicio y germanio, delgado, similar a un cabello, cuyo diámetro varía entre 125 y 500 milésimas de milímetro. Su funcionamiento se basa en la ley de Snell y el principio de la reflexión interna. Por lo tanto, al transmitir un haz de luz a través de su núcleo, este se refleja y se propaga por toda su longitud de tal modo que este no atraviese el revestimiento que lo cubre (figura 3.1). Esto se logra cubriendo la fibra con un material cuyo índice de refracción sea menor que el del núcleo o bien, procurando que el ángulo de incidencia sea superior al ángulo límite (figura 3.2).

En un sistema basado en fibra óptica, existe un transmisor que se encarga de transformar una señal analógica en energía luminosa mediante LED'S (diodos emisores de luz) o rayos láser. La señal luminosa se propaga a través de un conjunto formado por varias fibras que se concentran en un sólo cable. Posteriormente, la señal emitida por el transmisor llega al otro extremo, donde se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, el cual se encarga de revertir el proceso, obteniéndose así, una señal similar a la original.

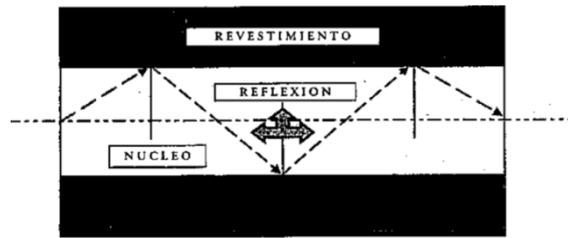


Figura 3.1: Condiciones de reflexión en una fibra óptica (López ,2005)

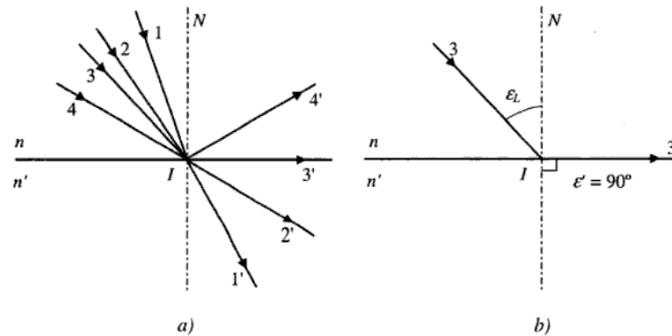


Figura 3.2: a) Trayectoria de los rayos cuando $n > n'$ b) Angulo límite ϵ_L , cuando $\epsilon' = 90^\circ$ (Soteras, et al., 2004)

Este medio de transmisión es muy versátil, ya que los impulsos luminosos no son afectados por las interferencias causadas por la radiación aleatoria del ambiente. Además, no se conducen señales eléctricas, por lo tanto, las pérdidas son menores y se puede transmitir información por varios kilómetros, lo cual, no se logra tan fácil con los métodos convencionales que emplean conductores de cobre. Por esta razón, la fibra óptica es aprovechada en para la fabricación de sistemas de monitoreo e incluso en el desarrollo de sensores, los cuales, tienen una alta resolución y capacidades de medición. Además, son inmunes a la interferencia ocasionada por las ondas de radio, la temperatura y el electromagnetismo (Ogaja et al., 2007).

El principio de operación de estos dispositivos consiste en transformar un cambio en la magnitud a medir en una variable diferente cuantificable. El elemento sensitivo está conformado por fibra óptica, la cual, es afectada por la variación del parámetro monitoreado. Esto a su vez ocasiona que se modifiquen las propiedades de la luz que guía. Tales cambios pueden involucrar, intensidad, fase, amplitud, frecuencia, longitud de onda, estado de polarización o una combinación de estos (Branko, et al., 2007). Existe una gran variedad de sensores que se basan en diversas tecnologías que permiten aprovechar estas variantes mediante el uso de sistemas demoduladores apropiados. Entre los más comunes se encuentran los interferómetros Fabry-Perot, las fibras ranuradas de Bragg, de dispersión de Raman, dispersión de Brillouin, etc. Las figuras 3.3 y 3.4 muestran algunos ejemplos de estos dispositivos. Otra forma de clasificarlos, es haciendo referencia al entorno en el que la luz es modificada, ya sea en el interior o fuera del elemento sensor, por lo cual, se les denomina como intrínsecos o extrínsecos. También pueden ser clasificados como puntuales, casi-distribuidos y distribuidos, dependiendo del rango de sensibilidad. La tabla 3.1 muestra algunas características de los sensores de fibra óptica:

	Sensores	Parámetros	Respuesta lineal	Resolución	Rango	Método de modulación	Intrínseco/ extrínseco
Puntuales	Fabry-Perot	Deformación ¹	Sí	0.01% de la longitud del sensor ³	10 000 $\mu\epsilon$	Fase	Ambos
	De gran longitud	Desplazamiento	Sí	0.2% de la longitud del sensor ⁴	50 m	Fase	Intrínseco
Casi-distribuidos	Fibras ranuradas de Bragg	Deformación ²	Sí	1 $\mu\epsilon$	5000 $\mu\epsilon$	Longitud de onda	Intrínseco
Distribuidos	Raman/Rayleigh	Temperatura/ deformación	No	0.1 °C/0.5 m	8 km	Intensidad	Intrínseco
	Brillouin	Temperatura/ deformación	No	0.2 °C/0.5 m	30-150 km	Intensidad	Intrínseco

1. Pueden configurarse para medir desplazamiento, presión y temperatura.
2. Pueden configurarse para medir desplazamiento, presión, temperatura, aceleración, inclinación, etc.
3. Resolución, hasta 0.1 $\mu\epsilon$.
4. Resolución, hasta 0.2 $\mu\epsilon$.

Tabla 3.1 Características típicas de los sensores de fibra óptica

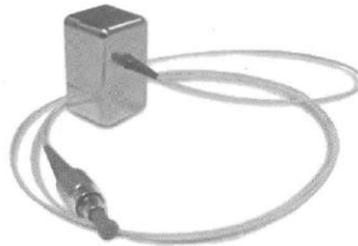


Figura 3.3: Acelerómetro uniaxial de fibra ranurada de Bragg (Branko, et al., 2007)



Figura 3.4: Sensores interferométricos Fabry-Perot, para medir esfuerzo, presión y temperatura (Branko, et al., 2007)

3.2 El GPS.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se inició en 1958 como un proyecto denominado Sistema Satelital de Navegación Naval (NNSS), el cual fue desarrollado para que la marina de los Estados Unidos pudiera conocer la posición de sus embarcaciones en todo momento y en cualquier lugar del mundo (Wolf Paul, et al). Por lo cual, su uso comercial tuvo sus inicios a partir del año de 1993. Consiste en una constelación de 24 satélites, de los cuales, 21 se denominan primarios y los 3 restantes son de reserva. Estos dispositivos, orbitan circularmente a una altura media de 20,200 km de la superficie de la Tierra, completando su recorrido cada 12 horas. Las

órbitas de los satélites forman una red que envuelve la esfera terrestre, de forma que se puedan observar 5 satélites desde cualquier punto teórico de su superficie. De este modo y dependiendo de la orografía, el receptor GPS puede recibir y procesar las señales emitidas por al menos 3 satélites (figura 3.5).

Los datos transmitidos proporcionan una posición tridimensional de alta precisión, de forma permanente y en cualquier región del planeta, la cual, puede ser decodificada por un receptor de GPS, obteniéndose información relevante, tal como las coordenadas geográficas de un punto expresadas en latitud, longitud, altitud; rumbos y rutas marítimas o terrestres; así como la velocidad de vehículos en movimiento, tales como barcos, aviones o automóviles, entre otros.

Durante la década pasada ha aumentado el número de investigadores que ha comprobado la factibilidad del uso de la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en el monitoreo del comportamiento dinámico de construcciones altas tales como edificios, torres y puentes ante la presencia de terremotos, los efectos del viento o el tráfico vehicular (figura 3.6).

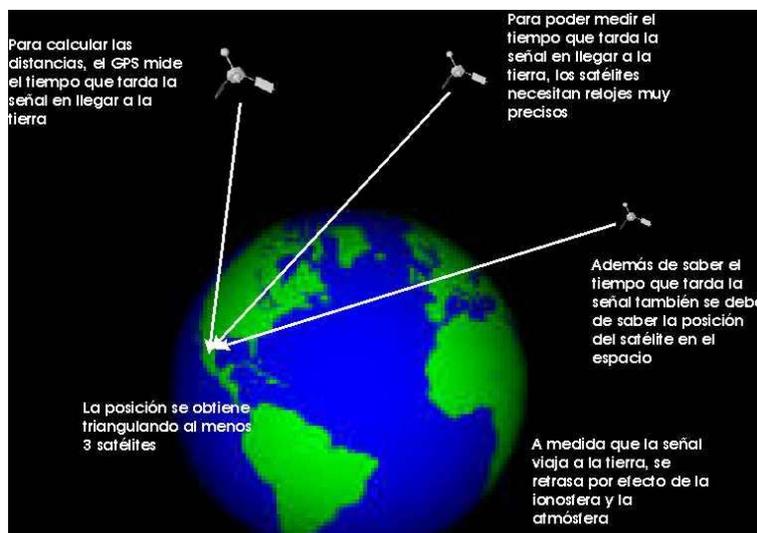


Figura 3.5: Esquema del funcionamiento del GPS (www.mendibike.net)

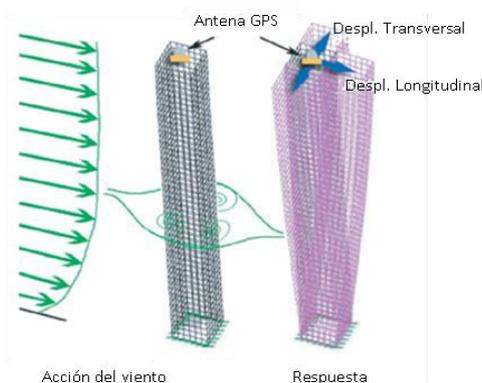


Figura 3.6: Esquema de la deformación inducida por la acción del viento en un edificio monitoreado con GPS (kijewski-Correa y Kareem 2003)

Históricamente, los acelerómetros han sido utilizados para el monitoreo de desplazamientos en estructuras mediante la doble integración numérica de los datos obtenidos. (e.g. Celebi 1993,1994). Los acelerómetros pueden registrar hasta 1KHz o frecuencias mayores (Chan. et al., 2006). Sin embargo, resultados de los desplazamientos se obtienen con una desviación indeseable y no pueden observarse en tiempo real. A diferencia de los acelerómetros, con el GPS se adquieren desplazamientos en tiempo real, pero con frecuencias de captura de datos muy inferiores. La mayoría de los receptores de GPS que se encuentran en el mercado, manejan tasas de muestreo del orden de 20 Hz. Sin embargo, algunos fabricantes han desarrollado sistemas que alcanzan tasas de muestreo mayores, del orden de 50 a 100 Hz. Es por ello, que las características complementarias de los dos sistemas han motivado el desarrollo de acelerómetros con GPS integrado, para el monitoreo estructural (Ogaja Clement, et al., 2007). De manera similar, se han integrado otras tecnologías tales como la fibra óptica y los pseudolitos (pseudo-satélites). Estos últimos, ofrecen ciertas ventajas, tales como brindar la capacidad de implementar sistemas de posicionamiento propio, independientes del GPS, lo cual, puede ser útil en situaciones donde las señales están bloqueadas (interferencia con otras señales, conflictos bélicos), o simplemente no existen (exploración de otros planetas), etc. (Eriksson R.).

3.3 El escáner digital.

El escáner láser es una de las tecnologías más recientes, empleadas en la elaboración de levantamientos topográficos. Su aplicación ha demostrado que las tareas de campo se reducen considerablemente hasta una quinta parte del tiempo necesario para su ejecución en comparación con los métodos tradicionales de acuerdo con la cantidad de actividades a realizar y la topografía del lugar (Leica Geosystems, 2007). Es un aparato motorizado semejante a una estación total, el cual emite un rayo láser, que puede realizar un barrido horizontal de 360° y otro vertical de 270° (figura 3.7). Cuando este incide sobre un obstáculo, se refleja; la radiación reflejada es detectada por un sensor de luz instalado en el escáner. Conociendo la velocidad de la cual viaja el haz de luz emitido por el láser y determinando el tiempo que tarda en regresar al punto de origen, se puede calcular la distancia que hay entre la posición del escáner y el punto de medición y establecer las coordenadas cartesianas de un punto en cuestión.

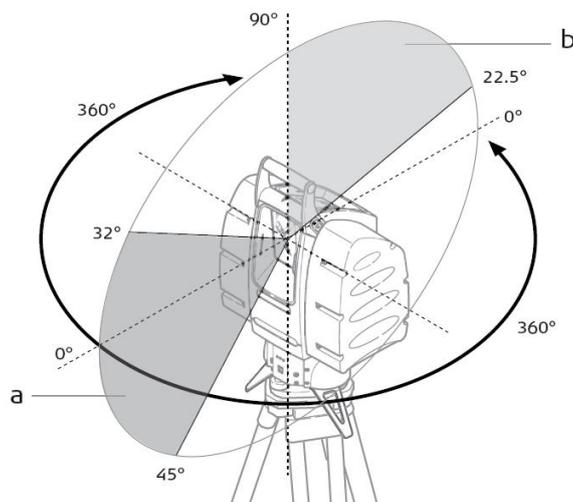


Figura 3.7: Escáner láser HDS ScanStation 2 (Leica Geosystems, 2007)

Este principio de operación también lo domina la estación total, sin embargo, la diferencia radica en que el escáner digital es capaz de capturar no solo uno, si no, varios puntos, con una separación de hasta 1 mm y una de velocidad de 50,000 puntos/s, los cuales permiten generar una imagen tridimensional del sitio a través de la superposición de una nube de puntos, tal como lo muestra la siguiente figura:

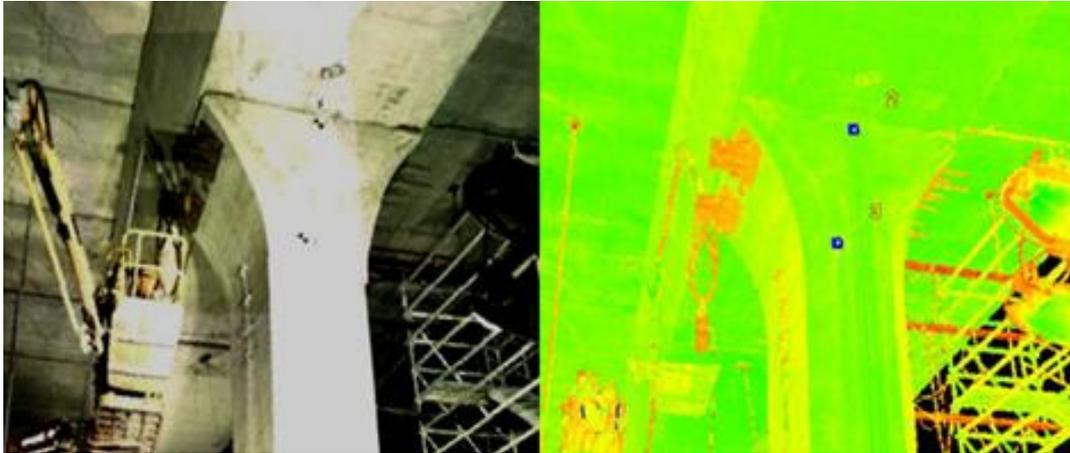


Figura 3.8: Comparación entre una imagen normal y un escaneo (II-UNAM, 2010)

Las marcas de color negro, que aparecen en la columna; en la imagen del lado izquierdo, representan algunos puntos de control localizados en regiones estratégicas de una columna del Viaducto Bicentenario, cuyo diseño fue revisado mediante una prueba de carga lateral. La imagen del lado derecho representa un escaneo previo a la aplicación de la carga. En este caso, la desventaja del uso de la nube de puntos radica en que el escaneo demora demasiado tiempo (30 min.) comparado con la duración de cada etapa de la prueba (5 min. por cada incremento de carga), por lo cual, es más práctico determinar las coordenadas de algunos puntos antes, durante y después de la aplicación de la carga y calcular posteriormente, el desplazamiento relativo de los mismos.

El uso de este aparato no es recomendado para realizar pruebas de carga dinámica en estructuras, o localizar puntos de control que se encuentren a más de 300 m. Sin embargo, puede ser utilizado en pruebas donde la carga es aplicada cuasi-estáticamente o bien, para realizar mediciones en lugares riesgosos en levantamientos topográficos. Así como en el diseño de sistemas de tubería; documentar recintos arqueológicos, edificios históricos e inclusive recrear accidentes y escenarios para análisis forenses.