

VULNERABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE PUENTES EN ZONAS DE GRAN INFLUENCIA DE HURACANES

(Actividad 8.2 Propuesta de sistemas de monitoreo)

Informe técnico, elaborado por:

Roberto Gómez Martínez*
David Flores Vidriales**
Juan Carlos Primero Venegas***

Para:

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Agosto de 2017

* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM.

** Estudiante de Posgrado, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN.

*** Estudiante, Facultad de Ingeniería, UNAM.

3. PROPUESTA DE SISTEMAS DE MONITOREO DE PUENTES

El objetivo principal del monitoreo de un puente sobre un río es recolectar información continua acerca del comportamiento del mismo y/o de los elementos del puente. El monitoreo sirve para llevar un registro de la degradación del cauce en la zona de un puente, así como para registrar movimientos de la estructura del puente.

El monitoreo de la socavación puede ser intermitente y requerir unas cuantas mediciones alrededor de las cimentaciones de los apoyos de un puente aunque siempre resulta mejor monitorear toda la sección transversal del cauce para estimar cambios a largo plazo y por socavación local y por contracción.

Los problemas típicos en México relacionados con la instrumentación de estructuras son: cantidades excesivas de registros (aceleraciones, profundidades de socavación, desplomos de elementos, etc.), interpretación de los mismos, falla de equipos de transmisión de la falta recursos económicos mantenimiento de los centros de registro en los puentes.

Monitoreo del cauce para fines de socavación

El monitoreo permanente de caudales y profundidades de socavación facilita correlacionar el proceso erosivo con el hidrograma de crecientes. El uso de instrumentación permanente que permita monitorear el progreso de la socavación es muy útil, sin embargo, es difícil de realizar durante grandes avenidas, ya que la turbulencia del flujo y los riesgos del trabajo impiden realizar el monitoreo de manera segura.

Los monitoreos típicos del fondo del cauce son dos:

- ✓ **Monitoreo post creciente**
- ✓ **Monitoreo en tiempo real**

cuyos objetivos son:

- Medir la degradación y agradación del lecho del cauce
- Medir profundidades de socavación local alrededor de las estructuras de cimentación del puente,
- ☐ Medir profundidades de socavación por contracción a través del cauce
- ☐ Proporcionar parámetros hidráulicos como profundidad del agua, velocidad del flujo, tamaño de los sedimentos, pendiente y geometría del cauce.

Monitoreo de la estructura para fines de socavación

Instrumentación para monitoreo estructural

Acelerómetros

Son dispositivos utilizados para medir las aceleraciones producidas por sismos, viento, el tránsito de vehículos, de personas, etc., en sitios estratégicos de una estructura. Mediante un análisis espectral de los registros se pueden calcular sus propiedades dinámicas (frecuencias, periodos y modos de vibración). Para este propósito se pueden utilizar acelerómetros triaxiales de la marca Guralp Systems con sus respectivos registradores (Figura 3.1), los cuales facilitan colocarlos de manera independiente mediante una sincronización con GPS (Figura 3.2 y Figura 3.3). Estos aparatos pueden medir aceleraciones hasta 4g (cuatro veces la aceleración de la gravedad) con frecuencias menores a 450 Hz y con tasas de muestreo de 100, 200, 500 o hasta 1000 muestras por segundo. Pueden operar en un rango de temperatura de -20 a 70 °C.



a) Acelerómetro CMC-5T



b) Digitalizador CMC-DM24S3EAM



c) Batería

Figura 3.1 Sistema portátil de medición de aceleraciones



Figura 3.2 Acelerómetro colocado en la calzada de un puente



Figura 3.3 Acelerómetro colocado en una columna

Para aplicaciones menos robustas se pueden utilizar acelerómetros inalámbricos Microstrain modelo G-link LXRS (Figura 3.4) con rangos de medición de hasta 2g y tasas de muestreo de 736 muestras por segundo. Dicho valor decrece dependiendo del número de acelerómetros que se encuentren conectados. La ventaja de estos aparatos radica en que pueden utilizarse en espacios muy reducidos donde los acelerómetros de Guralp Systems no son adecuados para ser instalados (Figura 3.5).

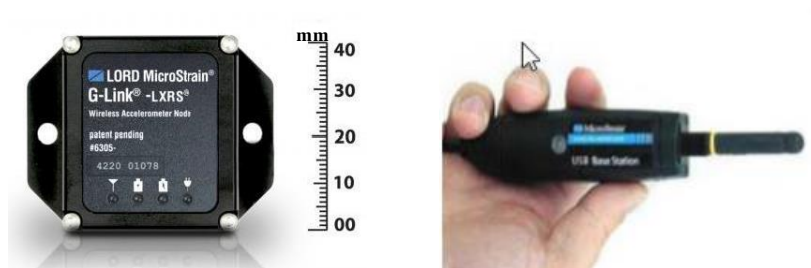


Figura 3.4 Acelerómetros triaxiales microstrain modelo G-link-LXRS



Figura 3.5 Acelerómetro colocado en un tirante

Deformímetros

Son dispositivos utilizados para medir deformaciones en diversos materiales como concreto y acero principalmente. Para instalarlos en elementos de acero pueden ser soldados o pegados, mientras que en elementos de concreto reforzado pueden ser pegados o embebidos (Figuras 3.6 a 3.8). Los más utilizados por nosotros son las galgas extensométricas de la marca Vishay (Micro Measurements) de ± 350 Ohms, el sistema de registro es de la marca Flopac con capacidad captura de 12 canales simultáneos con una tasa de muestreo de 5 muestras por segundo. Si se requiere una mayor tasa de muestreo se pueden utilizar sensores de fibra óptica de la marca Micron Optics, con los cuales se alcanzan tasas de muestreo de hasta 10 000 muestras por segundo (Figura 3.9 y Figura 3.10).



Figura 3.6 Deformímetro imbebible, modelo EGP-5-350



Figura 3.7 Deformímetro soldable, modelo LWK-06-W250B-350



Figura 3.8 Deformímetros para concreto, modelo LWK-06- W250B-350



Figura 3.9 Deformímetros ópticos modelos os3110, os3120 y os3155

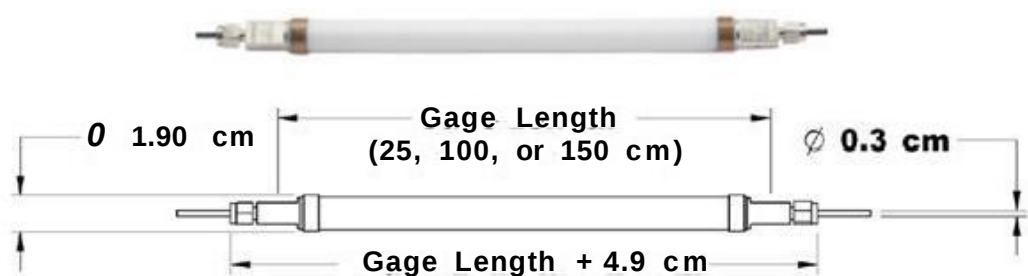


Figura 3.10 Sensor de deformación (extensómetro) de fibra óptica modelo OS3600

Los deformímetros modelo ST350 (Figura 3.11) a diferencia de las galgas extensométricas, no requieren ser pegados o soldados, se pueden instalar con tornillos y tuercas, por lo cual

pueden ser retirados y reutilizados. Cuentan con una resistencia eléctrica de 350 Ohms y funcionan midiendo la variación del voltaje en sus resistencias debido a la inducción mecánica por estiramiento o contracción (fuerzas de tensión y compresión) en un elemento estructural.

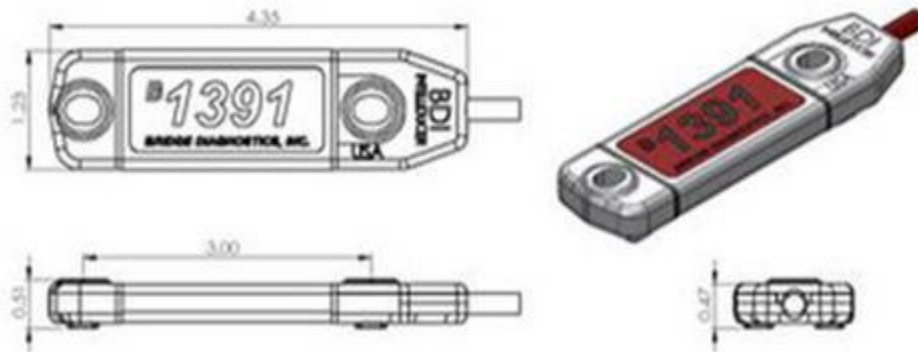


Figura 3.11 Sensor de deformación modelo ST350

También se pueden utilizar cuerdas vibrantes cuyo principio de funcionamiento es medir el cambio en la frecuencia de una cuerda vibrante estirada por los extremos (Figura 1.12). Un sensor de cuerda vibrante está formado básicamente por: Un trozo de alambre de acero de alta resistencia sujetado por ambos lados, el cual se tensa, por lo que puede vibrar en una frecuencia determinada. Una bobina que mediante un impulso eléctrico genera una determinada frecuencia de vibración a la cuerda (frecuencia base); cuando existe una deformación por el desplazamiento entre los puntos extremos, la frecuencia de la vibración de la cuerda cambia. La bobina de excitación permite conocer esta deformación asociando dicho valor a una variación de la frecuencia base.

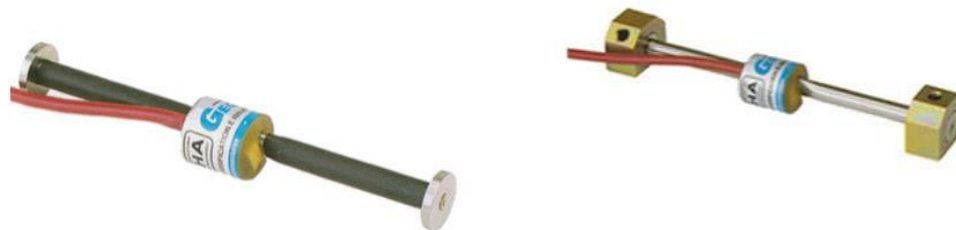


Figura 3.12 Cuerdas vibrantes Geokon modelo 4000

Otro dispositivo que puede utilizarse con fines de monitoreo permanente es la celda de presión Marca Slope Indicator (Figura 1.13), la cual permite cuantificar la presión total ejercida sobre una estructura con el objetivo de verificar las hipótesis de diseño o medir las cargas aplicadas, su capacidad es de hasta 6 MPa.



Figura 3.13 Celda de presión Slope Indicator.

Distanciómetros

Son dispositivos utilizados para la medición de distancias en levantamientos topográficos en campo, medición de deflexiones en puentes y contraflechas en traveses pretensados y postensados. Para estas aplicaciones se cuenta con un distanciómetro de la marca Leica Geosystems modelo Disto D810 (Figura 3.14) con una precisión de 1mm y alcance de 250m con conectividad bluetooth para el registro de las mediciones. Otra alternativa es el Transductor de desplazamiento tipo SDP-C (Figura 3.15). Se usa para la medición directa del desplazamiento con un rango limitado (hasta 20 cm) y una resolución infinita (depende del registrador), la medición se realiza mediante resistencias eléctricas y configuradas en un puente completo de Wheatstone.



Figura 3.14 Distanciómetro Leica Geosystems, Disto D810



Figura 3.15 Transductor de desplazamiento tipo SDP-C

Inclinómetros

Son instrumentos para medir pendientes o ángulos, también se conocen como medidores de inclinación, medidor de nivel, declinómetro etc. Pueden medir pendientes positivas o negativas dependiendo del nivel o ángulo de referencia usando tres unidades de medida diferentes: grados o porcentajes. Para estas aplicaciones se cuentan con Inclinómetros biaxiales, modelo HCA526T los cuales miden la inclinación en 2 direcciones con alta precisión (0.02°) usando el principio del micro péndulo capacitivo y el principio de gravedad de la tierra (Figura 3.16).



Figura 3.16 Inclinómetro modelo HCA526T

Anemómetros

Son dispositivos que son utilizados para medir la dirección y velocidades del viento. Se cuenta con dos tipos de anemómetros: anemómetros de veleta tipo Robinson y anemómetros ultrasónicos. El primer tipo de anemómetro es de la marca WatchDog (Figura 3.17), el cual cuenta con un radio que permite la descarga de los datos en forma inalámbrica. El aparato mide la velocidad del viento en un rango de 0 a 78 m/s con una resolución de 0.89 (m/s) y con una tasa de muestreo de una muestra cada 1, 5, 10, 15, 30 y 60 minutos. También tiene la capacidad de medir temperatura y humedad relativa. Mientras que el anemómetro ultrasónico (Figura 3.18) tiene una mayor resolución (0.01 m/s), puede medir la velocidad del viento en tres direcciones ortogonales para un rango de 0 a 90 m/s, así como la dirección del viento con una tasa de muestreo de 4 a 32 muestras

por segundo, sin embargo requiere conectarse con cable y no mide temperatura ni humedad.



Figura 3.17 Anemómetro de veleta WatchDog modelo 2900ET



Figura 3.18 Anemómetro ultrasónico Young, modelo 81000

Distanciómetro laser Leica DISTO D5

Distanciómetro laser usado para la medición de desplazamientos e inclinación en puentes, con alcance máximo de 100 m la frecuencia máxima de muestreo es de 1hz, y la resolución es de $\pm 2\text{mm}$.



Figura 3.19 Distanciómetro laser Leica

Potenciómetros laser Serie L-GAGE LT7

Consisten en sensores que miden desplazamientos, con una resolución cuenta con alcances largos de hasta 250 m. su resolución/linealidad es de ± 2 mm, y su frecuencia de muestreo es de alrededor de 1000hz. Ofrece la opción de conexión serial RS-422 o compatible con SSI. Utiliza láser de alineación Clase 2 visible para una alineación precisa.



Figura 3.20 Potenciómetros laser

Inclinómetros IN360A-114

Se emplea para medir los giros y/o inclinaciones de una estructura, como por ejemplo la columna de un puente, su losa, su resolución es de $\pm 0.20^\circ$ y puede medir de 0 a 360° . Cuenta con una salida analógica y puede adaptarse para que sea muestreado de manera inalámbrica suministrándole energía externa.



Figura 3.21 Inclinómetros IN360A-114

Inclinómetro TST300

Se usa para medir las inclinaciones y giros en estructuras, su resolución es de $\pm 0.08^\circ$, el tiempo de respuesta del aparato es de 0.3s. Puede conectarse a la computadora por vía conector RS232.



Figura 3.22 Inclinometro TST300

Programa de monitoreo

Para fines del proyecto que se está realizando para CENAPRED se han inspeccionado y seleccionado los posibles puentes a monitorear teniendo en cuenta el riesgo de falla detectado por inspección visual o cálculos de socavación. Se han identificado los elementos críticos de los siguientes puentes:

NOMBRE	ESTADO	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD
SN2 C1	Chiapas	250	16.2371667	-93.99111111
Vado Ancho C1	Chiapas	175	15.2469444	-92.60030556
Vado Ancho C2	Chiapas	175	15.2469444	-92.60030556
San Fransisco	Oaxaca	150	16.0775	-97.63055556
Rio los perros	Oaxaca	400	16.5795	-95.120777
Ignació Chaves C1	Michoacan	480	17.99319444	-102.1746389
Ignació Chaves C2	Michoacan	480	17.99319444	-102.1746389
Tomatlan C1	Jalisco	180	19.8836	-105.3401
Cañas Principal	Nayarit	100	22.49933333	-105.4830833
Piactla Libre	Sinaloa	270	23.88519444	-106.6200556
El rincon del Verde	Sinaloa	75	22.90761111	-105.8046667
Presidio	Sinaloa	600	23.19116667	-106.2241944
Urbina C1	Chiapas	240	15.7239444	-93.256
Urbina C2	Chiapas	240	15.7239444	-93.256
Cazadero	Oaxaca	100	16.5692479	-94.698277
El conchero	Guerrero	60	16.9434	-99.9663
Sin nombre	Guerrero	390	16.7725	-99.19722
Tupitina	Michoacan	75	18.17913889	-102.9324722
Sin nombre	Sinaloa	300	23.88519444	-106.6200556
Río Culiacán	Sinaloa	320	24.77302778	-107.5828056
Pericos	Sinaloa	200	24.94180556	-107.7488056
Las brisas	Sinaloa	60	25.48658333	-108.2530833
SN 1	Chiapas	480	16.2276	-93.9366
Tepuzapa C1	Chiapas	95	15.11730556	-92.43722222
Tepuzapa C2	Chiapas	55	15.11730556	-92.43722222
Huixtla	Chiapas	95	15.15008333	-92.45013889
Novillero C1	Chiapas	225	15.500755	-92.9419722
Pijijiapan C1	Chiapas	170	15.6984444	-93.2109722

para los que se propondrán medidas de protección y cómo se deben monitorear. Además se propondrá el tipo instrumentación se va a usar.

Para los puentes mencionados ya se ha entregado información sobre aspectos topográficos, hidrológicos, hidráulicos y de suelos, tanto del cauce como de los puentes considerados como los más vulnerables.

BIBLIOGRAFÍA

Arneson, L. A., Zeven bergen, L. W., Lagasse, P.F. y Clopper, P.E. (2012). *Evaluating scour at bridges*, Hydraulic Engineering Circular No. 18: FHWA-HIF-12-003, U.S. DOT, Washington, DC.

Johnson, P. y Dock, D. (1998). Probabilistic bridge scour estimates, *Journal of Hydraulic Engineering*, 10, 750-754.