
NOTAS TÉCNICAS

CONSIDERACIONES SOBRE EL EMPLEO EN EL HORMIGON Y EN LAS ARMADURAS DEL HORMIGON DE LAS BANDAS EXTENSOMETRICAS A RESISTENCIA (ELECTRICAL RESISTANCE STRAIN GAUGES)

INTRODUCCION

Las bandas extensométricas a resistencia (strain gauges) son dispositivos que permiten medir deformaciones lineales con gran precisión, utilizando la propiedad de la variación de la resistencia eléctrica de un conductor al variar su longitud.

La banda consiste, en su forma más simple, en un fino hilo metálico pegado a un pequeño rectángulo de papel. Estas bandas se adhieren, mediante un cemento apropiado, a la superficie del cuerpo cuya deformación se trata de medir. Cuando el cuerpo en estudio se deforma, se deforman también la banda y el hilo metálico (elemento sensible) adherido a ella. La deformación del conductor se detecta a través de la variación de su resistencia mediante instrumentos apropiados. (Fig. 1 y Fig. 2).

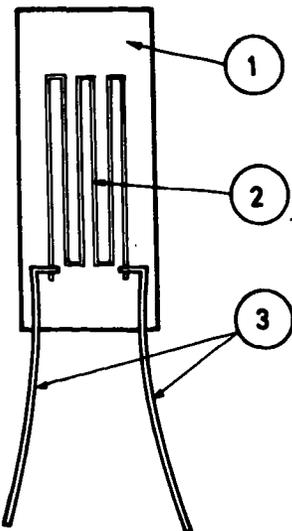


Fig. 1. Esquema de una banda extensométrica a resistencia 1) base de papel, 2) resistencia (elemento sensible), 3) conductores de conexión.

Las ventajas que ofrecen las bandas, gran precisión, pequeña longitud de base para la medición, posibilidad de leer o registrar las deformaciones a cierta distancia del objeto, han hecho que se utilicen en las aplicaciones más variadas como ser, aeronáutica, construcción de navíos, biología, estudio de elementos de máquinas etc. y, en la construcción, ya sea en el proyecto o en el ensaye de estructuras.

Como elemento auxiliar en el proyecto de estructuras las bandas extensométricas se han utilizado en el estudio de modelos; se han empleado también en el ensaye de estructuras metálicas, de hormigón o de hormigón armado, tanto en obra como en el laboratorio. Además han constituido una valiosa ayuda en ensayes en el laboratorio de probetas de diversos materiales tales como acero, hormigón, roca, arcilla cocida etc. (Fig. 3).

La relación que existe entre la resistencia eléctrica de un conductor y su estado de tensión no es un hecho que se haya descubierto recientemente; en efecto, hace poco más de un siglo, en 1856, Lord KELVIN dio cuenta a la Real Sociedad de Londres de sus investigaciones sobre las propiedades electrodinámicas de los metales, y entre otros hechos informó sobre ese fenómeno. Pero sólo hace algunos años se comenzó a aplicar esta propiedad para medir el estado de tensión de un cuerpo. Antes de 1938 se había utilizado en algunos casos aislados; ese año dos investigadores norteamericanos, SIMMONS y RUGE, trabajando independientemente, concibieron algunas ideas que decidieron el empleo extensivo de este método de medida. SIMMONS encontró que era posible determinar la deformación de un cuerpo cualquiera pegando en su superficie el conductor y midiendo la variación de resistencia de éste. RUGE comprobó que se podían medir las deformaciones pegando el conductor a un trozo de papel, el que a su vez era pegado en la superficie del cuerpo cuya deformación se trataba de medir.

La explotación de estas ideas y el mejoramiento paulatino de los métodos de fabricación y de control de calidad, dieron lugar a las bandas extensométricas a resistencia tal como las conocemos ahora.

La medición de la variación de resistencia se puede hacer mediante un puente de Wheatstone cuyas resistencias de referencia estén debidamente calibradas. En la práctica, lo que se usa son aparatos electrónicos en los que se puede leer directamente la deformación unitaria que haya experimentado la probeta o elemento.

A continuación enumeramos las ventajas de las bandas extensométricas a resistencia:

- a) gran precisión (10^{-6} mm/mm),
- b) ocupan muy poco espacio y no afectan de modo importante al elemento que se mide,



Fig. 2. Equipo de medición. A la derecha aparato indicador. En primer plano se encuentra una barra de acero con una banda pegada a ella, que sirve de elemento compensador de temperatura para medición de deformaciones en acero. La caja que se ve a la izquierda es un conmutador que permite trabajar con varias estampillas simultáneamente.

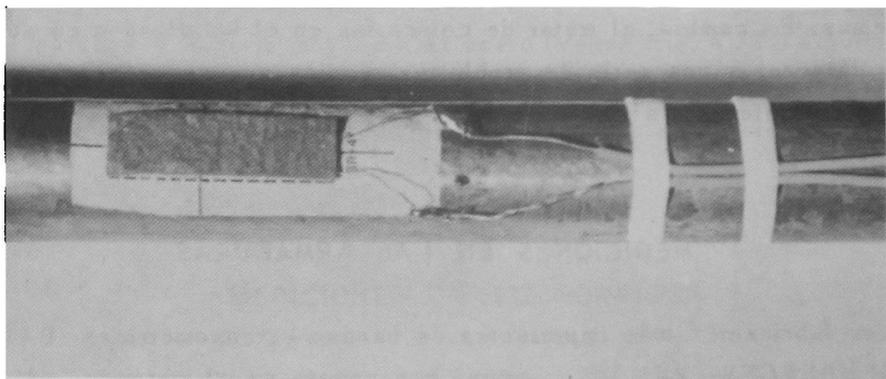


Fig. 3. Aspecto de una banda extensométrica pegada en un fierro de armadura.

- c) la longitud de base para la medición puede elegirse según el caso o necesidad,
- d) posibilidad de medir bajo diversos medios (agua, aceite, hormigón endurecido etc.) luego de proteger debidamente la banda,
- e) posibilidad de efectuar las medidas a diversas temperaturas (hasta 900°C),¹

Y también mencionaremos algunos de sus inconvenientes:

- a) la colocación de las estampillas (preparación de la superficie del cuerpo, pegado de la banda y cuidado posterior), aunque es una operación relativamente simple, debe ser esmerada o si no se corre el riesgo de malograr los resultados,
- b) en mediciones que se prolonguen durante mucho tiempo deben tomarse precauciones especiales para evitar el llamado corrimiento del cero original,
- c) cada banda una vez usada en determinado punto no puede ser empleada otra vez, a menos que se sigan técnicas especiales aún no sancionadas por la práctica,²
- d) el método no es muy recomendable en obras donde no se cuente con ciertas condiciones mínimas que faciliten el cuidado de las bandas, de las instalaciones accesorias y de los instrumentos de lectura.

Las bandas extensométricas se pueden utilizar tanto para hacer medidas estáticas, mediante el empleo de un puente de Wheatstone, o en mediciones dinámicas utilizando en este caso, además del puente, un oscilógrafo.

En los problemas de la construcción, y tanto para el uso en el laboratorio como en estructuras ya terminadas, este tipo de medidas es de gran interés.

En las estructuras metálicas la colocación de las bandas no presenta problemas. En cambio, el tratar de colocarlas en el hormigón o en sus armaduras da lugar a una serie de problemas propios que es necesario resolver. A ellos nos referimos a continuación.

MEDICIONES EN LAS ARMADURAS

Los fabricantes más importantes de bandas extensométricas (BALDWIN, HUGGENBERGER, PHILIPS y otros) han puesto en el mercado, además de un tipo corriente, otros diversos tipos de bandas para la gama de aplicaciones más usuales.

Las estampillas de tipo corriente, de base de papel como la A-1 de BALD-

WIN, pegadas con un cemento Duco, se pueden emplear cuando la medición que se ha de hacer en una armadura contempla las tres condiciones siguientes:

- a) posibilidad de descubrir las armaduras sin afectar mayormente las mediciones,
- b) tiempo durante el cual se harán las mediciones relativamente corto (algunas horas),
- c) no existe presencia de humedad.

Si la zona en que se mide ha de quedar expuesta a la humedad, la banda debe entonces protegerse. Para efectuar la protección se puede usar vaselina libre de ácido, parafina sólida, cinta impermeable u otros medios que aislen la banda y los conductores que salen de ella.

Con el método recién indicado se colocan las bandas en la estructura ya terminada; y el hecho de tener que descubrir la armadura hace que se alteren algo las tensiones de trabajo en la zona de medida. Esta alteración puede reducirse colocando la estampilla sobre la armadura antes del hormigonado; lo cual, naturalmente, solo puede realizarse en los casos en que la necesidad de la medición de las tensiones se haya planteado con anterioridad a la construcción del elemento estructural.

En estos casos hay que considerar una protección para la banda que amortigüe los golpes y las presiones que pueden recibir del hormigon (por ejemplo: una pequeña cubierta de fieltro puede servir), y también un material estanco de cierta resistencia y durabilidad que asegure una impermeabilidad estable al conjunto. Como materiales que cumplen con los requisitos recién mencionados se pueden citar los productos ofrecidos por HUGGENBERGER y la cera Di-Jell de BALDWIN que han sido empleados con éxito^{3, 4, 5}. En el IDIEM se ha empleado con muy buenos resultados una cubierta a base de neopreno (se vende en plaza en estado líquido viscoso): este producto demostró ser totalmente estanco y adherir muy bien al acero (Véase Fig. 4). En algunos casos se puede someter el neopreno, una vez que haya adquirido consistencia, a un proceso de vulcanizado, quedando en este caso aún en mejores condiciones.⁶

MEDICIONES EN EL HORMIGON

Las bandas extensométricas se pueden aplicar directamente a la superficie del hormigón, pero en este caso hay que resolver dos problemas: a) evitar el efecto perturbador del tamaño de los granos de agregado y b) aislar convenientemente la estampilla de la humedad del hormigón.

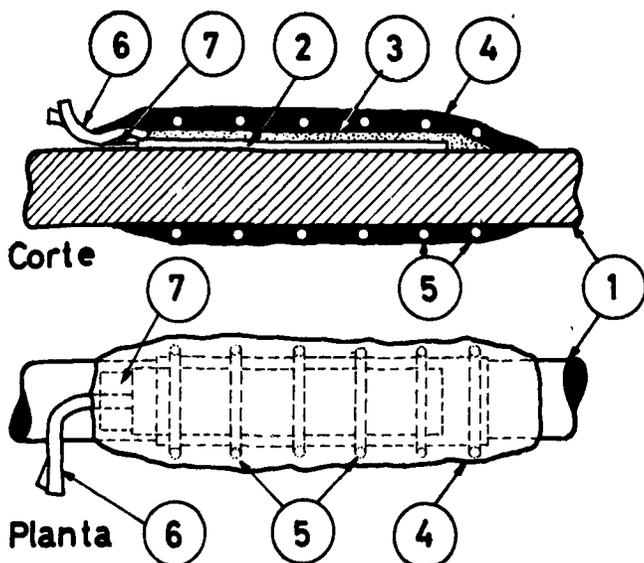


Fig. 4. Esquema del sistema de protección utilizado en bandas pegadas a la armadura que han de ir sumidas en el hormigón.
 1) Fierro de armadura, 2) banda extensométrica, 3) protección de fieltro, 4) cubierta de neopreno, 5) amarres para fijar el fieltro, 6) conductores, 7) aislación eléctrica.

El primer inconveniente se puede obviar utilizando bandas de una longitud adecuada; si la longitud de la estampilla es el doble del tamaño máximo del agregado se obtiene ya una precisión aceptable. Si la longitud de la banda es del orden de cinco veces la dimensión del agregado máximo, el error que se obtiene es inferior al 5%.^{7, 8}.

El segundo problema se resuelve interponiendo entre el hilo sensible y el hormigón una delgada lámina impermeable; si se usan estampillas corrientes, montadas sobre papel, se interpone una lámina de cobre, de aluminio o celuloide. Otro método que se sigue para obtener la aislación de la humedad es impregnar la superficie del hormigón con parafina o cera antes de pegar la banda.^{9, 10}.

También se han fabricado elementos a base de bandas extensométricas que sirven para efectuar mediciones en el interior de la masa del hormigón por largos intervalos de tiempo. Este tipo de dispositivos debe cumplir con otros requisitos, además de los ya mencionados de protección contra la humedad y estabilidad del cero primitivo: su volumen debe ser pequeño para no perturbar en gran medida la zona donde se mide y su módulo de elasticidad global debe ser lo más vecino posible del módulo del hormigón. Uno de estos dispositivos es el de VALORE⁹: consiste en una banda de gran longitud encerrada entre dos láminas de cobre soldadas en su contorno. (Este tipo de ban-

da lo fabrica comercialmente BALDWIN). Las experiencias de VALORE demostraron que existe una diferencia inferior a 3,5%, en el estado elástico, entre la indicación dada por extensómetros de superficie y los colocados en el interior de las probetas; en el estado plástico esta diferencia parece alcanzar a 20%.

MEDICIONES DE LARGA DURACION

En el estudio de una estructura puede ser muy importante su comportamiento a través de un largo período de tiempo, ante el efecto de determinada sollicitación. En un caso como éste suele ser de interés utilizar bandas extensométricas, en cuyo caso deberá tomarse una serie de precauciones de modo que las bandas y los instrumentos que se usen con ellas no sean afectados por el tiempo, temperatura y humedad. En otras palabras, se tratará que el cero origen, con que se comenzó a hacer las lecturas, no varíe con el transcurso del tiempo.

Los factores que pueden influir en la variación del cero son los siguientes:

- a) Inestabilidad del puente de Wheatstone, potencia suministrada o amplificador.
- b) Fluencia del adhesivo empleado para pegar la banda.
- c) Protección insuficiente contra la humedad, que trae como consecuencia la reducción de la impedancia entre los conductores de la banda y tierra.
- d) Variación de la impedancia de los cables conductores.

Existen procedimientos para detectar el corrimiento del cero¹⁰, pero es mejor trabajar en condiciones tales que los factores perturbadores se reduzcan a un mínimo.

El factor a) se puede hacer mínimo mediante el empleo de una fuente de alimentación eléctrica estabilizada; el factor b) se puede reducir utilizando bandas y cementos especiales (bandas de bakelita y cemento a base de bakelita o resinas) y los puntos c) y d) dependen en especial del cuidado que se tome en la instalación de las bandas y cables. Si se toman estas precauciones, las bandas extensométricas se pueden emplear en medidas de larga duración, con resultados satisfactorios.

CONSIDERACIONES FINALES

En los párrafos que anteceden hemos hecho una ligera exposición de algunos problemas que dicen relación con el uso de las bandas extensométricas a resistencia (electrical resistance strain gauges) y hemos hablado de sus ventajas e inconvenientes.

En el IDIEM se ha utilizado este método de medida, en lo que se refiere a hormigón simple y armado, en casos muy variados: en pruebas de carga de losas de hormigón armado en obra, y en ensayos de vigas y pilares en el laboratorio, con resultados satisfactorios, ya que la precisión citada de las medidas de elongación permitió conocer las fatigas del acero con una precisión del orden de 2 a 3 kg/cm². También se ha utilizado en estructuras metálicas y en ensayos de otros materiales tales como probetas de roca, de tierra cocida etc. Sus ventajas sobre otros tipos de extensómetros (mecánicos, acústicos y ópticos), especialmente en lo que atañe a precisión, lo han hecho en muchos tipos de mediciones el instrumento indicado.

BIBLIOGRAFIA

1. ZELBSTEIN, U. *Technique et utilisation de jauges de contrainte*. Dunod 1956.
2. BRAY, A. The recovery of resistance strain gages. *Bulletin RILEM* 14, marzo 1962, p. 134.
3. HUGGENBERGER, nota técnica nº 69, 1957.
4. BALDWIN-LIMA-HAMILTON. *Strain gage Handbook*. Bull 4311A.
5. CARMICHAEL, A. J.; HALL, A. S. The application of wire resistance strain gauges to steel rods and wires intended for embedment in concrete. *Constructional Review*, vol. 33, nº 3, marzo 1960.
6. Mc HENRY, D.; WALKER, W. T. Laboratory measurements of stress distribution in reinforcing steel. *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 19, nº 10, junio 1948.
7. CARMICHAEL, A. J. The use of wire resistance strain gauges for measuring surface strains in concrete members. *Constructional Review*, vol. 32, nº 12, dic. 1959.
8. BINNS, R. D.; MYGIND, B. A. The use of electrical strain gauges and the effect of aggregate size on gauge length in connection with the testing of concrete. *Magazine of Concrete Research*, enero 1949, nº 1, p.35.
9. L'HERMITE, R. *Méthodes générales d'essai et de controle en laboratoire. I. Mesures géométriques et mécaniques*. Edit. Eyrolles, p. 336 - 359, Paris 1959.
10. PERRY, C. C.; LISSNER, H. R. *The strain gage primer*. Mc Graw Hill 1955, p. 242 - 245 y 163 - 176.

11. VALORE, R. C. An embedded bonded wire resistance strain gage for measuring internal strain in concrete. U. S. Dept. of Commerce, N.B.S. Circular 528, 1954.

BIBLIOGRAFIA DE INTERES PERO NO CITADA EN EL TEXTO

- 1a. DOBIE, W. B.; ISAAC, P. C. G. *Electric Resistance Strain Gauges*. English Universities Press Limited Londres, 1950.
- 2a. FINK, K.; ROHRBACH, CH. *Handbuch der Spannungs - und Dehnungsmessung*. VDI Verlag, Düsseldorf, 1958.
- 3a. HOGNESTAD, E.; VIEST, I.M. Some application of electric SR - 4 gages in reinforced concrete research. *Journal of the American Concrete Institute*, feb.1950, vol. 21, nº 6, p. 445 - 454.
- 4a. HONDROS, G. The protection and manipulation of electrical resistance strain gauges of the bonded wire type for use in concrete, particularly for internal strain measurement. *Magazine of Concrete Research*, nº 27, p. 173 - 180, nov. 1957.
- 5a. PAUL, F. Messung der Formänderungen von Bewehrungsstählen ohne Störung des Betonquerschnitts bzw. des Verbundes. *Bauplanung - Bau-technik*, nº 4, p. 171 - 174, abril 1962.
- 6a. THOMA, E. C.; SCHNEEBELLI, R. E. Method for Preparing SR - 4 Strain Gages for Embedment in Concrete. *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 24 nº 4, p. 305 - 316, dic. 1952.
- 7a. WORLEY, H. E.; MEYER, R. C. Development of a cell for the installation of electrical resistance strain gages in concrete. *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 25 nº 2, p. 121 - 135, oct. 1953.

Moisés PIÑEIRO

Ingeniero del IDIEM, sección
Investigación de Hormigones.