



# **Acelera la transformación digital de tu PYME**



## **INFORME TECNOLÓGICO – DICIEMBRE 2022**

### **Industria 4.0 - Sensorización y monitorización de procesos productivos. Aplicación a la medición de deformaciones en estructuras del sector automoción**

Elaborado por:  **AIDIMME** 



VICEPRESIDENCIA PRIMERA DEL GOBIERNO  
MINISTERIO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y TRANSFORMACION DIGITAL

SECRETARÍA DE ESTADO DE DIGITALIZACIÓN E INTELIGENCIA ARTIFICIAL



UNIÓN EUROPEA

**Fondo Europeo de Desarrollo Regional**

*“Una manera de hacer Europa”*

## 1 El uso de galgas extensométricas para la sensorización y monitorización de procesos productivos

Entre los múltiples sensores que se pueden utilizar en la industria para controlar diferentes variables, las galgas de extensometría son un tipo de sensor que sirve para medir las deformaciones de los materiales en su régimen de comportamiento elástico.

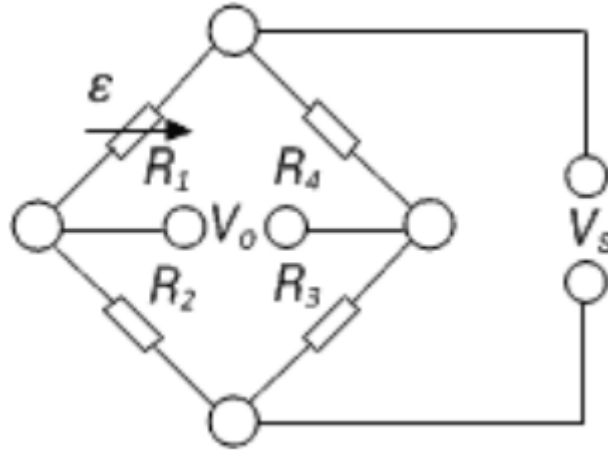
Por ejemplo, si sometemos a una probeta de acero a un ensayo de tracción, se producirá una elongación de la probeta que es proporcional al esfuerzo de tracción conforme a la ley de Hook. Esta ley establece que la deformación es directamente proporcional a la tensión (que es el esfuerzo por unidad de área). La constante de proporcionalidad es un valor que caracteriza al comportamiento elástico del material. Esta constante elástica es distinta para cada material y se conoce también como el módulo de Young. Para medir la deformación de la probeta podemos adherir una galga en uno de los lados de la probeta, orientando la dirección de medición con el eje del esfuerzo de tracción. La galga de extensometría es una resistencia eléctrica construida con técnicas de circuito impreso sobre un sustrato de poliimida. Las pistas de circuito impreso de la galga de extensometría adoptan una configuración de rejilla, como se puede observar en la siguiente imagen.



**Ilustración 1. Representación esquemática de una galga de extensometría (Fuente: HBM)**

Esta configuración de rejilla permite que la elongación de la probeta produzca un aumento de la resistencia eléctrica de la galga de extensometría, y que la contracción de la probeta produzca una disminución de la resistencia eléctrica de la galga de extensometría. Los dos contactos eléctricos de la galga de extensometría se conectan a un puente de Wheatstone. Suponiendo que la resistencia eléctrica nominal de la galga de extensometría fuese de 350 ohmios, las otras tres resistencias que completan el puente de Wheatstone también sería de 350 ohmios. El puente de Wheatstone está compuesto por dos divisores de tensión en paralelo. De esta manera, si la galga de extensometría no sufriese ninguna variación, las cuatro resistencias del puente de Wheatstone tendrían el mismo valor de 350 ohmios y las tensiones eléctricas de los dos divisores serían iguales, por lo que su diferencia sería igual a cero. Pero, si la galga de

extensometría sufriese una variación, su resistencia eléctrica sería de 350 ohmios más la variación (que podría tener signo positivo o negativo, según se tratase de una elongación o de una contracción), y las tensiones eléctricas de los dos divisores serían distintas. La siguiente imagen muestra un puente de Wheatstone.



**Ilustración 2. Puente de Wheatstone (Fuente: HBM)**

Para medir esta tensión, se emplea un amplificador de galga de extensometría. Adecuadamente calibrado y configurado, este amplificador realiza la adquisición de datos de la galga de extensometría. Las unidades de la señal son de microdeformaciones, que debe interpretarse como micrómetros/metro. Esto quiere decir que, si observamos que el valor obtenido es de una micro deformación, el material sometido a la tensión mecánica se ha deformado una millonésima de metro por cada metro de largo de dicho material. Visto de esta manera, una micro deformación es equivalente a una parte por millón.

La galga de extensometría se puede emplear para diversas aplicaciones en sustratos de metal, hormigón, madera, tarjetas de circuito impreso, plástico y hueso. Cabe mencionar que la célula de carga empleada para fabricar básculas de pesaje industrial emplea una galga de extensometría en un puente de Wheatstone. También se puede emplear una galga de extensometría en un puente de Wheatstone para monitorizar procesos productivos, ya sea de forma puntual, o en continuo.

## 2 Caso de aplicación. Medición puntual de deformaciones

La sensorización y monitorización de procesos productivos en la industria es de vital importancia, como ya se ha comentado en informes anteriores, y en el caso concreto de la industria del automóvil, con la llegada del vehículo eléctrico, los fabricantes están incorporando nuevos controles. Estos vehículos, a diferencia de los vehículos de combustión, requieren un sistema de alojamiento, blindaje y apoyo estructural para los paquetes de baterías de litio que conforman el sistema de acumulación de energía eléctrica.

Este sistema consta de una carcasa de acero estanco a la humedad que se instala en la parte inferior de la carrocería del vehículo eléctrico. Habida cuenta que se trata de un producto de elevada responsabilidad, los cálculos de resistencia mecánica deben contrastarse con ensayos realizados sobre prototipos físicos, para validar el diseño.

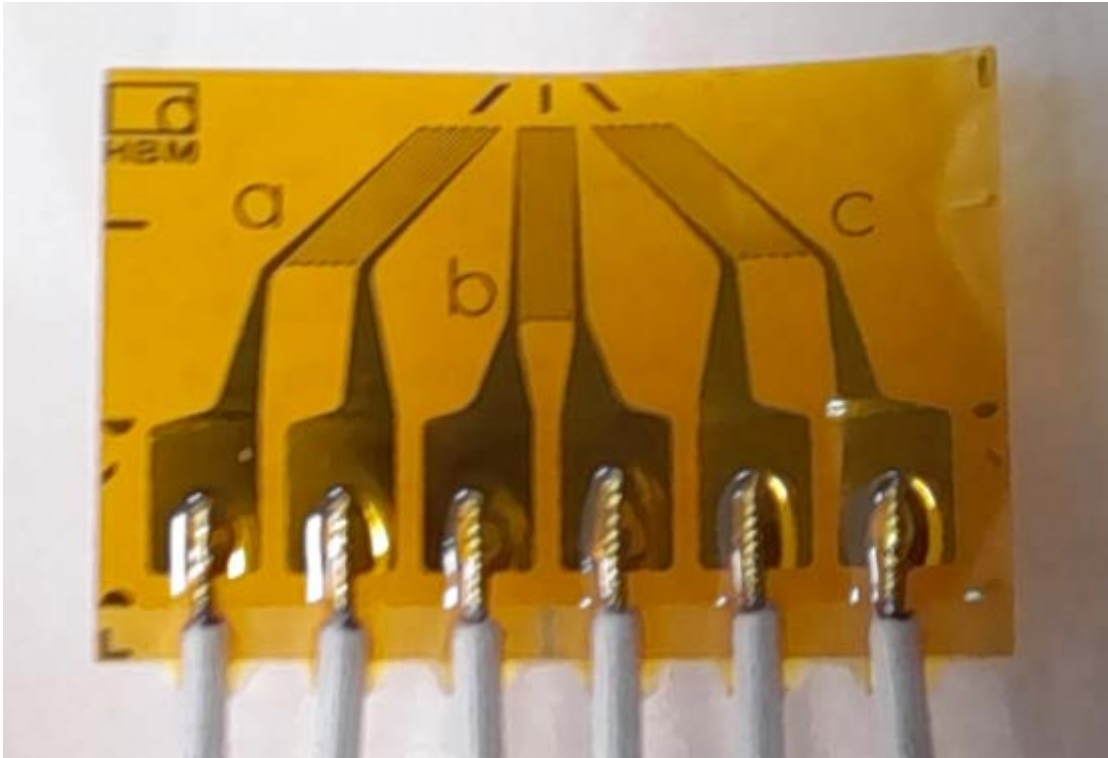
Para la ejecución de estos controles se deben abordar varias etapas, entre las que se encuentra la sensorización y captación de datos, tal y como se describe a continuación.

- Identificar las condiciones más adversas a las que el producto se puede ver sometido durante su vida útil.
- Diseñar el sistema de aplicación de carga que reproduzca estas condiciones
- Seleccionar las zonas del producto más débiles, en las que interesa comprobar el comportamiento
- Colocación de los sensores
- Aplicación de la carga y captura de datos
- Análisis de datos

A continuación, se detallan estos pasos, para un caso práctico de sensorización y control de un producto industrial que sirve de carcasa de paquetes de baterías de litio en un vehículo eléctrico, utilizando galgas extensométricas.

El diseñador indicó cuatro puntos críticos en la carcasa. Se instalaron rosetas triaxiales de extensometría con la referencia HBM 1-CRY81-3/350ZE, que aparece en la siguiente imagen. La roseta triaxial está compuesta por tres galgas de extensometría en una configuración geométrica adecuada para el cálculo de las tensiones principales en el círculo de Mohr, y la aplicación informática HBM catman Easy-AP posee funciones que incorporan los cálculos necesarios con las microdeformaciones de los tres ejes señalados anteriormente.

Las imágenes pertenecen al caso práctico. A continuación, aparece una imagen de la roseta triaxial empleada en este caso práctico.



**Ilustración 3. Roseta triaxial HBM 1-CRY81-3/350ZE**

La roseta triaxial mide las microdeformaciones en los ejes “a”, “b” y “c”, que se encuentran en las orientaciones de 0°, 45° y 90°. El punto crítico se sitúa en la intersección de los tres ejes.

La superficie del material bajo ensayo debe lijarse para retirar la pintura de protección hasta llegar al sustrato metálico que debe quedar lo más liso posible, conforme a las instrucciones del fabricante de la roseta. Asimismo, se debe limpiar la superficie con un disolvente que elimine toda impureza. La roseta se adherirá al sustrato metálico con un pegamento adecuado a las necesidades del ensayo (para conseguir resultados óptimos, se recomienda emplear el pegamento recomendado por el fabricante de la roseta).

La roseta tiene tres pares de hilos (una pareja para cada eje) que se llevan a sendos canales de adquisición de datos del amplificador de galgas de extensometría HBM QuantumX MX1615B. Este amplificador se conecta a un ordenador PC donde reside la aplicación informática HBM catman Easy-AP. A continuación, aparece una imagen del amplificador de galgas de extensometría.



**Ilustración 4. Amplificador HBM QuantumX MX1615B**

A continuación, aparece el ordenador PC conectado al amplificador.



**Ilustración 5. Ordenador PC con el software HBM catman Easy-AP**

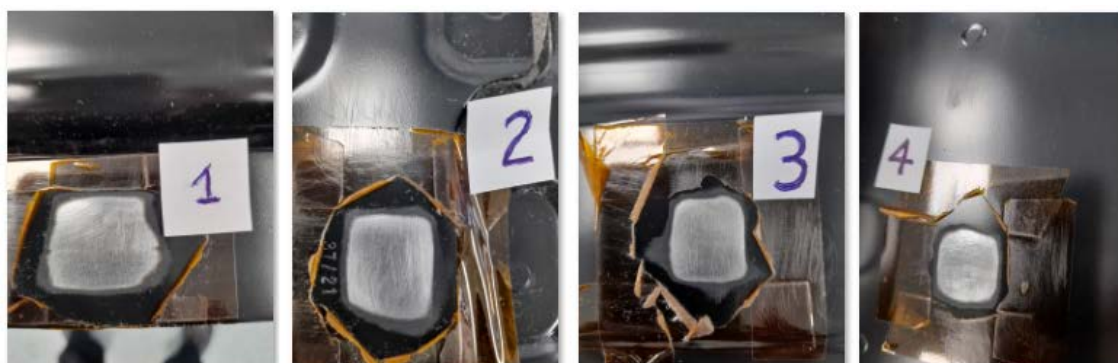
A continuación, se presenta una imagen de la prensa universal de ensayos que presenta una sollicitación de carga a compresión sobre las vigas de reparto colocadas sobre la carcasa.



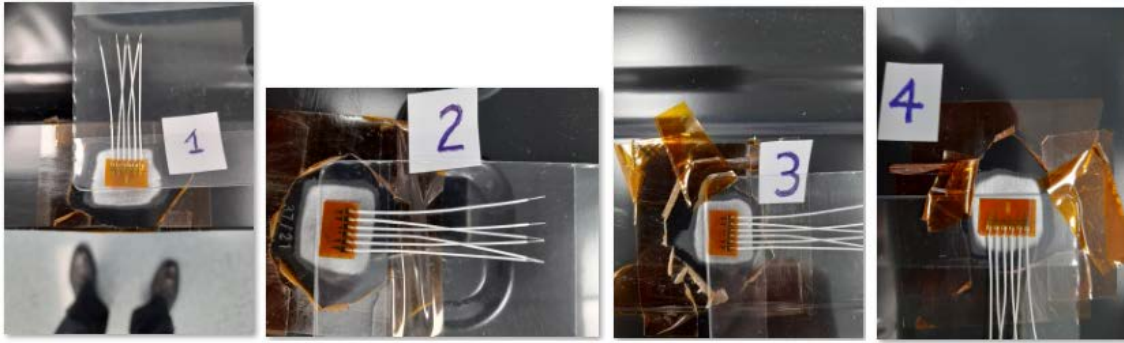


**Ilustración 6. Prensa de ensayos universal**

A continuación, aparece una serie de imágenes de los cuatro puntos críticos, antes, durante y después de colocar las rosetas.



**Ilustración 7. Puntos críticos lijados antes de colocar las rosetas**



**Ilustración 8. Comprobación de la posición**



**Ilustración 9. Rosetas pegadas al sustrato metálico**

El control de calidad exige la realización de estos ensayos para poder verificar la idoneidad de los diseños de producto. En este caso se logró demostrar que los valores de las tensiones principales observadas durante el ensayo estaban dentro de los límites previstos por el diseñador del producto y, por lo tanto, se pudo validar el diseño.

Más allá de esta aplicación práctica, el uso de este tipo de sensores tiene muchas otras aplicaciones industriales tanto para monitorización puntual como en continuo, como, por ejemplo, la monitorización de estructuras tales como puentes, vías férreas, sector aeroespacial y palas de generadores eólicos entre otros.

### 3 OTRAS REFERENCIAS DE INTERÉS

Si le interesa conseguir más información sobre este tipo de tecnologías, le invitamos a explorar las siguientes referencias:

Hanafee, J. E., Hughes, Jr., J. W., and McInturff, S. A. Effect of strain-gage surface preparation techniques on beryllium. United States: N. p., 1977. Web. doi:10.2172/5222922.



Singh, S. (1983), A simple technique for installing strain gauges on cylindrical surfaces. *Strain*, 19: 77-78. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1305.1983.tb00449.x>

HOFFMANN, Karl. Practical hints for the installation of strain gages. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, 1996, vol. 56.

Rok Kamnik, Boštjan Kovačič, Andrej Štrukelj, Nikolay Vatin, Vera Murgul (2015), Preparation, installation, and signal processing of strain gauges in bridge load testing. *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 725-726, pp 903-912. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.903

P. S. Huang, Y. H. Lin, C. Y. Huang, M. Y. Tsai, T. C. Huang and M. C. Liao, "Warping and curvature determination of PCB with DIMM socket during reflow process by strain gage measurement," *2010 5th International Microsystems Packaging Assembly and Circuits Technology Conference*, 2010, pp. 1-4, doi: 10.1109/IMPACT.2010.5699599.

S. A. Shifani, V. Nanammal, R. Bhavani and A. A. Nishidha, "A Review on Strain Measurement in Bone Mechanics Using Various Techniques," *2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC)*, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICIC.2017.8524236.

[https://www.straingauges.cl/images/blog/Practical%20Hints%20For%20Strain%20Gauging\\_784.pdf](https://www.straingauges.cl/images/blog/Practical%20Hints%20For%20Strain%20Gauging_784.pdf)

<https://www.hbm.com/en/7116/how-to-prepare-material-for-a-gauge-installation/>

<https://www.hbm.com/en/4314/selecting-adhesives-for-strain-gauge-installation/>

<https://www.hbm.com/en/2962/z70-a-single-component-cold-curing-adhesive/>

[https://www.kyowa-ei.com/eng/technical/notes/bonding\\_procedure/index.html](https://www.kyowa-ei.com/eng/technical/notes/bonding_procedure/index.html)

<https://www.omega.com/en-us/force-strain-measurement/strain-gauges/strain-gauge-accessories/p/Strain-Gage-Adhesives>

<https://www.silmid.com/es/adhesives/cyanoacrylate-adhesives/m-bond-200-2-part-28gm-kit/>

[https://tml.jp/e/product/strain\\_gauge/adhesive\\_list.html](https://tml.jp/e/product/strain_gauge/adhesive_list.html)

Las Oficinas Acelera pyme puestas en marcha en toda España por Red.es, entidad pública adscrita al Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital a través de la Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial, cuentan con un presupuesto global de 8 millones de euros, de los cuales Red.es aportará 6,3 y las entidades beneficiarias el resto. Las actuaciones están cofinanciadas con fondos FEDER de la Unión Europea, en el marco del Programa Operativo Plurirregional de España FEDER 2014-2020 (POPE) bajo el lema "Una manera de hacer Europa".

Contacto operativo en la Oficina Acelera pyme

*Roberto Mateu Ortiz* - [rmateu@femeval.es](mailto:rmateu@femeval.es) // (+34) 963719761