



Received: 21/07/2023

Accepted: 25/10/2023

Anales de Edificación

Vol. 9, Nº2, 63-69 (2023)

ISSN: 2444-1309

DOI: 10.20868/ade.2023.5370

## Dispositivo para el control de grietas en edificios y pruebas de carga y descarga. Device for crack monitoring in buildings and loading and unloading tests.

Jesús M. Rodríguez-Rego<sup>a</sup>; Juan P. Carrasco-Amador<sup>a</sup>; Antonio Macías-García<sup>b</sup>; Laura Mendoza-Cerezo<sup>a</sup>; Alfonso C. Marcos-Romero<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Graphic Expression. School of Industrial Engineering. University of Extremadura. Avda. de Elvas s/n. 06006-Badajoz (Spain), [jesusrodriguezrego@unex.es](mailto:jesusrodriguezrego@unex.es); [jpcarrascoamador@unex.es](mailto:jpcarrascoamador@unex.es); [lmencer@unex.es](mailto:lmencer@unex.es); [acmarcos@unex.es](mailto:acmarcos@unex.es)

<sup>b</sup> Department of Mechanical, Energy and Materials Engineering. School of Industrial Engineering. University of Extremadura. Avda. de Elvas s/n. 06006-Badajoz (Spain), [amacgar@unex.es](mailto:amacgar@unex.es)

---

**Resumen**-- Las grietas estructurales en pilares, vigas y viguetas pueden suponer un enorme riesgo para la integridad de la estructura de un edificio, ya que pueden progresar hasta extenderse por todo su espesor. Por tanto, es necesario realizar un seguimiento para evitar que aumenten los riesgos estructurales y, cuando sea posible, proponer medidas para repararlos. De este modo, aumenta la probabilidad de actuar antes de que se produzca el colapso estructural. Este trabajo ha producido y patentado un dispositivo (ES1293890 U) para la monitorización remota de grietas en edificios y para pruebas de carga, capaz de registrar variaciones milimétricas en grietas y fisuras en edificios para su monitorización detallada [1]. El dispositivo resultante de este trabajo no registró diferencias significativas en los valores recogidos con respecto al comprobador de fisuras y al reloj comparador, por lo que se puede concluir que el dispositivo tiene un gran potencial para su uso en la construcción de edificios, mejorando el estado actual de la técnica.

**Palabras clave**— Grietas; fisuras; pruebas de carga; dispositivo; vigilancia.

**Abstract**— Structural cracks in columns, beams and joists can pose an enormous risk to the integrity of a building structure, as they can progress to extend through its entire thickness. It is therefore necessary to carry out monitoring to prevent structural risks from increasing and, where possible, to propose measures to repair them. This increases the likelihood of taking action before structural collapse occurs. This work has produced and patented a device (ES1293890 U) for remote monitoring of cracks in buildings and for load testing, capable of recording millimetre variations in cracks and fissures in buildings for detailed monitoring (J. M. Rodríguez Rego et al., 2022). The device resulting from this work did not register significant differences in the values collected with respect to the crack tester and the dial gauge, so it can be concluded that the device has great potential for use in the construction of buildings, improving the current state of the art.

**Index Terms**— Cracks; fissures; load testing; device; monitoring.

---

## I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad es usual la aparición de diferentes grietas o fisuras en los edificios, condicionadas por factores como (Sih and Chen, 2003):

- Los materiales de construcción.
- Condiciones ambientales que causan una dilatación o contracción de los materiales que lo conforman, provocando constantes cambios geométricos que pueden dar lugar a la aparición de grietas en los puntos más débiles o propicios.
- Cálculos erróneos de la estructura.
- Mal asentamiento del edificio.

Estas grietas o fisuras pueden suponer un enorme riesgo si afectan a columnas, vigas y traveses debido a que la integridad estructural del edificio se puede ver afectada, llegando a desencadenar un colapso estructural o derrumbe del edificio con los consecuentes daños materiales e incalculables daños personales.

Las variables más importantes a la hora de medir y analizar riesgos son las medidas de los movimientos relativos de las estructuras, los cuales hay que monitorizar para comprobar que se encuentran dentro de los valores seguros y que, en caso de causar algún daño a la estructura, éste no suponga un riesgo para la integridad de la construcción (Jurkiewicz and Hottier, 2005).

Los dispositivos actuales más empleados para la monitorización de las estructuras y su posible deterioro son el fisurómetro (para las grietas y fisuras) y el deformímetro (para realizar controles de carga) (Ou, 2006). El fisurómetro es un testigo de metacrilato que consta de dos partes graduadas milimétricamente que se mueven entre sí, y se coloca en los puntos más significativos de las grietas más representativas moviéndose con estas, proporcionando información sobre su movimiento durante un periodo de tiempo e indicando si la fisura está viva, pero sin ofrecer valores del movimiento (Chen *et al.*, 2020). Por otro lado, el reloj comparador (Zheng *et al.*, 2018) es un instrumento de medida adecuado para monitorizar el desplazamiento relativo entre dos puntos, detectando variaciones de hasta una milésima de milímetro (Wang *et al.*, 2014). Los datos deben ser tomados preferiblemente a una misma hora del día y en igualdad de condiciones para evitar los errores provocados por las variaciones atmosféricas del tiempo y la temperatura, incomodando el proceso en caso de ser necesaria la monitorización de varios edificios en diferentes puntos.

Además, en el caso de la prueba de carga (Xu *et al.*, 2022), el operario debe desplazarse bajo la viga sobre la cual se está realizando la carga para registrar los datos obtenidos por el deformímetro cada vez que se añade una cantidad determinada de kilos, poniendo en peligro su integridad física en caso de colapso de la viga (Gatti, 2019). Es por ello por lo que se requiere de un método y/o dispositivo capaz de detectar las variaciones producidas tanto en las fisuras y grietas como en las vigas y viguetas de los edificios, para después enviarlos digitalmente y graficarlos sin necesidad de personarse en el lugar de su colocación. Se hace también necesario, para realizar

los diferentes estudios y seguimientos, el conocimiento de las condiciones ambientales presentes durante cada toma de datos, para determinar si su variación es causante de los cambios producidos en las diferentes medidas.

Para solventar la problemática del control y la recogida de datos de forma presencial, este dispositivo es capaz de registrarlos y enviarlos a través de internet, realizando gráficas que ayuden a su lectura, monitorización y comprensión. Además, se puede colocar y retirar de forma sencilla, pudiendo funcionar incluso desconectado de la red eléctrica. Más concretamente, se describe un dispositivo capaz de registrar las variaciones milimétricas que sufren las grietas y fisuras de los edificios para llevar a cabo una monitorización detallada de las mismas, así como las condiciones de humedad y temperatura en cada momento gracias al empleo de diferentes sensores, aportando información sobre su evolución.

## II. METODOLOGÍA

En este trabajo se propone la utilización de un dispositivo patentado (ES1293890 U) que pueda ser empleado para el registro y seguimiento de patologías en edificios e infraestructuras en general. El dispositivo está formado por los siguientes elementos:

1. Base inferior
  - 1.1. Orificios de la base
  - 1.2. Pieza de la base perforada
  - 1.3. Orificio del medidor
  - 1.4. Orificio de acople de la base
2. Medidor de longitud milimétrica
  - 2.1. Pieza de acople del medidor
  - 2.2. Orificios de acople
3. Tapa
  - 3.1. Orificios de ventilación
  - 3.2. Orificios de la tapa
  - 3.3. Orificio de conexión
  - 3.4. Botón reset
  - 3.5. Pantalla de visualización
  - 3.6. Botón de encendido
  - 3.7. Orificio de acoplamiento del trípode
  - 3.8. Placa fotovoltaica
4. Cabezal de pared intercambiable
  - 4.1. Orificios de conexión
  - 4.2. Orificios de pared
5. Cabezal de intercambiable de las pruebas de carga/descarga
  - 5.1. Orificios del cabezal de prueba de carga/descarga
  - 5.2. Orificios de conexión de carga
6. Trípode
  - 6.1. Cilindro del trípode
  - 6.2. Patas regulables

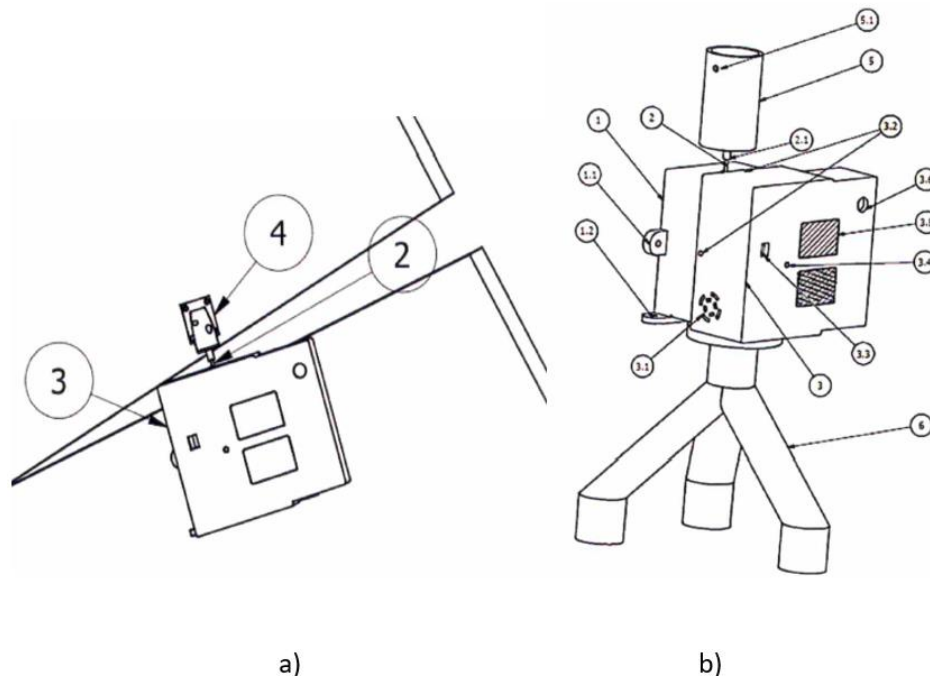


Fig. 1. Dispositivo patentado ES1293890 U. A) Utilización como medidor de fisuras. B) Utilización como medidor de carga. Para variar entre ambos usos solo es necesario la modificación del cabezal intercambiable y acoplarlo al medidor (2). (Fuente: elaboración propia).

### 1. Fabricación del dispositivo

Para la fabricación del dispositivo se utilizó en primer lugar el software Inventor® (Łukaszewicz, 2017). Es un programa CAD 3D que ofrece herramientas profesionales para el diseño mecánico. Posteriormente, para que los diseños puedan ser leídos por una impresora 3D, se utilizó el programa Ultimaker Cura (Maurya *et al.*, 2022). Es una aplicación diseñada para impresoras 3D, en la que se pueden modificar los parámetros de impresión y después transformarlos a código G (código leíble por las impresoras 3D).

Por último, mediante una impresora 3D Ender 3 PRO (Kiran Karthik, *et al.*, 2022), que utiliza tecnología Fused Deposition Modeling (FDM), se imprimió en 3D el dispositivo utilizando

ácido poliláctico (PLA). Este material es una de las opciones sostenibles que el sector de los termoplásticos utiliza para combatir los problemas ambientales que el plástico genera (Djukić-Vuković *et al.*, 2019). El plástico PLA se produce mediante la polimerización del ácido láctico, el cual se puede conseguir a través de la fermentación anaeróbica de carbohidratos o por síntesis química (Huang *et al.*, 2021).

### 2. Testeo del dispositivo

Para testear el funcionamiento del dispositivo se realizaron tres tipos de pruebas que consistieron en medir la precisión del dispositivo en el laboratorio, su capacidad para monitorizar las fisuras en edificios y su capacidad para monitorizar pruebas de carga en edificios.

La prueba del grado de precisión se realizó en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura, mediante el acople del medidor de longitud milimétrica a una máquina de ensayo de tracción/compresión (Autograph AG IS) (Çelebi, 2022), con el objetivo de medir la resolución y el grado de precisión del dispositivo ante pequeñas variaciones longitudinales controladas en ambos sentidos de aplicación. De esta forma, la máquina de ensayo, con una configuración previamente guardada, ejercía movimientos longitudinales controlados y registrados.

Para realizar las pruebas del grado de capacidad para monitorizar las fisuras en edificios se procedió a instalar el dispositivo en edificios que presentaran fisuras o grietas vivas y comparar los resultados de monitorización con otros dispositivos comerciales de diferentes características.

Las pruebas de carga determinan si una estructura existente



Fig. 2. Medición del grado de precisión del dispositivo presentado en este trabajo. (Fuente: elaboración propia)

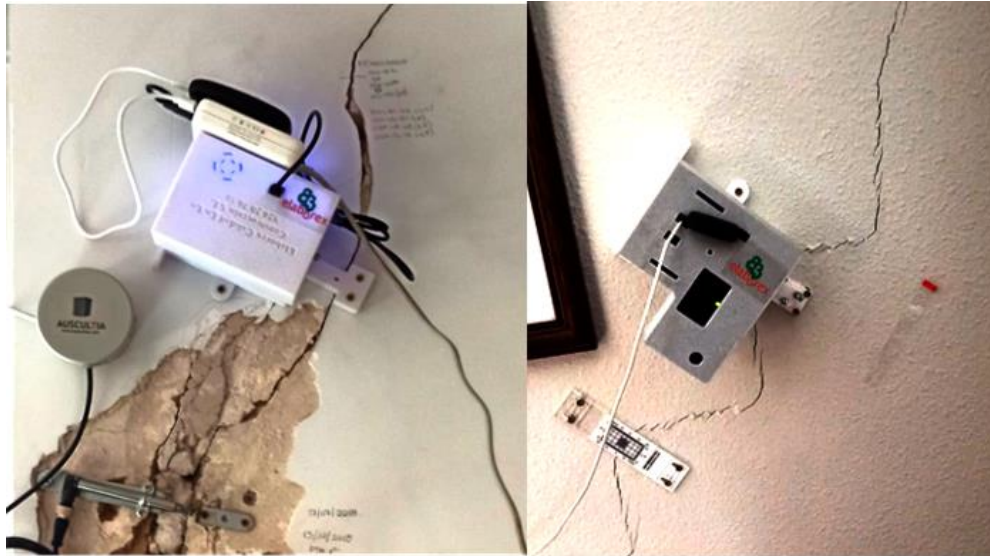


Fig. 3. Dispositivo colocado en diversas fisuras en edificios para realizar la monitorización de una fisura viva. Los resultados se testearon con diversos dispositivos comerciales. (Fuente: elaboración propia)

es capaz de soportar una serie de esfuerzos. Para ello es necesario medir la variación de la deformación o flecha de una forma muy precisa, debido a que cualquier cambio que se produzca puede ser determinante. Por ello, para determinar si el dispositivo presentado en este trabajo permite medir dichas variaciones, se colocaron unos cables sujetos al forjado, dispuestos en diferentes puntos de una misma viga. Dichos cables se conectaron a los relojes comparadores comerciales y al dispositivo patentado por los autores de este trabajo.

La prueba completa duró un día completo y se incrementó la carga aplicada en tres escalones (1200 kg, 2400kg y 3600kg). Posteriormente la descarga se realizó por escalones, quitando 1200 kg en cada uno de ellos. Tanto en el proceso de carga como en el de descarga, una vez establecido el peso que debe soportar el forjado, se tomaba y registraba la medida que marcaba el reloj comparador y el dispositivo ES1293890 U.



Fig. 4. Dispositivo (ES1293890 U) conectado a una viga sometida a un proceso de carga y descarga, junto con un reloj comparador para medir la deformación. (Fuente: elaboración propia)

### III. RESULTS

#### 1. Fabricación del dispositivo

En una realización posible el equipo que aquí se describe está formado por una base inferior y una tapa, fabricadas de un material termoplástico rígido que encapsula de forma hermética las baterías si se necesitasen, un medidor de longitud milimétrica y la electrónica de control que, en este modo de realización preferida, está formada por un microcontrolador que recoge la información transmitida por el medidor de longitud milimétrica y por los sensores ambientales. El envío de dichos datos se realiza mediante un módulo de conexión wifi conectado a un router móvil, un soporte web y a la pantalla integrada en la tapa.

El cabezal de pared intercambiable y el cabezal intercambiable de las pruebas de carga/descarga están fabricados de un material termoplástico flexible a través de tecnologías de fabricación aditiva, permitiendo su adaptación a cualquier patología.

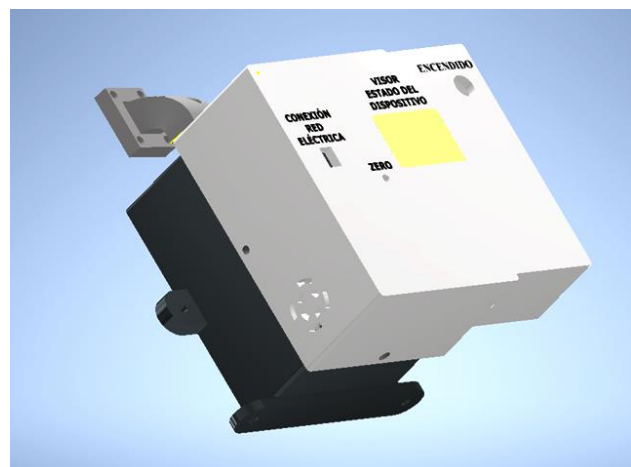


Fig. 5. Diseño del dispositivo en Inventor. (Fuente: elaboración propia)

El trípode, preferentemente realizado de un material resistente a condiciones climáticas adversas como el acero inoxidable, presenta un cilindro del trípode roscado fabricado de hierro o acero inoxidable, y unas patas fabricadas de hierro o acero inoxidable recubiertas con un material con cierta flexibilidad como una goma o plástico que permitan su regulación en altura mediante un sistema de roscado.

Las perforaciones u orificios de la base inferior, salvo el orificio del medidor, la pieza de acople del medidor del medidor de longitud milimétrica, la tapa, el cabezal de pared intercambiable y el cabezal intercambiable de las pruebas de carga/descarga son roscados. Esto va a permitir que dichas piezas se puedan intercambiar y/o acoplar entre ellas al trípode mediante tornillos y/o el cilindro del trípode.

En la figura 5 se muestra el dispositivo diseñado en Inventor para posteriormente imprimirlo con una impresora 3D FDM.

### 2. Grado de precisión del dispositivo

En la tabla 1 se demuestra que el dispositivo patentado no exhibió cambios significativos en los valores registrados con respecto a los valores que la máquina de ensayo consignaba. La resolución del dispositivo permitía medir variaciones de 0,01 [mm] con una alta precisión produciéndose una desviación máxima de 0,007 [mm].

### 3. Grado de capacidad para monitorizar las fisuras en edificios

En la figura 6 se visualiza los valores recogidos por el dispositivo ES1293890 U, por un fisurómetro digital remoto y por un fisurómetro plano de pared. El fisurómetro plano de pared, al no poder transmitir datos de forma remota, se registraban los datos de forma manual por un técnico 1 vez al mes.

El fisurómetro digital comercial y el dispositivo ES1293890 U, al poder monitorizar las fisuras y grietas y recoger mayor cantidad de datos, mostraron mayor cantidad de información y un control más exhaustivo que el fisurómetro plano de pared.

Los 3 dispositivos ofrecieron unas curvas de resultados a lo largo de 6 meses muy similares. Las pequeñas diferencias pueden deberse a que, aunque la grieta monitorizada era la misma, los dispositivos estaban colocados en puntos diferentes, aunque muy cercanos. Debido a esto y sabiendo que las grietas y fisuras no fluctúan de la misma forma en todos los puntos, era de esperar que no se recogieran exactamente los mismos valores.

### 4. Monitorización de la variación de la deformación o flecha

En la figura 7 se observa que el reloj comparador y el dispositivo ES1293890 U presenta un comportamiento similar. Cuando la carga es de 0 [kg], ambos dispositivos comienzan con un registro de 0 [mm], que se incrementa hasta 0,04 [mm] cuando la carga aumenta a 1200 [kg] e incluso durante algún instante hasta los 0,05 [mm] según los valores guardados por el dispositivo ES1293890 U.

El segundo escalón de carga, consistente en someter al forjado a 2400 [kg], produjo en ambos dispositivos unos

TABLA I  
 DIFERENCIA DE LA VARIACIÓN LONGITUDINAL EJERCIDA POR LA MÁQUINA DE ENSAYO Y EL DISPOSITIVO (ES1293890 U)

MÁQUINA DE ENSAYO [mm]	DISPOSITIVO	MÁQUINA DE ENSAYO [mm]
0,03	0,02	0,007071
0,05	0,05	0
0,07	0,06	0,007071
0,09	0,08	0,007071
0,1	0,11	0,007071
0,12	0,12	0
0,14	0,14	0
0,12	0,12	0
0,10	0,09	0,007071
0,08	0,08	0
0,06	0,06	0
0,04	0,04	0
0,05	0,05	0
0,2	0,21	0,007071
0,19	0,19	0
0,01	0,02	0,007071

registros de datos de hasta 0,07 [mm]. En el momento en el que la carga alcanza los 3600 [kg] el reloj comparador muestra una deformación longitudinal de 0,09 [mm] y el dispositivo ES1293890 U varía entre los 0,09 [mm] y los 0,08 [mm].

Ambos dispositivos han presentado un comportamiento muy similar en el proceso de carga, siendo más precisos y ofreciendo más datos en el dispositivo ES1293890 U, debido a que registraba datos de forma más continua (a requerimiento del profesional) y de una forma más segura para el profesional encargado de ejecutar la prueba de carga/descarga.

En el primer tramo de la descarga (2400 [kg] depositados sobre el forjado), ambos dispositivos informaron que el forjado se recuperó hasta los 0,08 [mm]. En el segundo tramo de descarga (1200 [kg] depositados sobre el forjado) ambos dispositivos guardaron valores de 0,06 [mm] de deformación. Por último, cuando se elimina toda carga extra presente sobre el forjado, el reloj comparador mostró en el instante de la toma de medida un valor de 0,03 [mm], es decir que el forjado tras el proceso de carga y descarga ha sufrido una deformación total de 0,0 [mm]. El dispositivo ES1293890 U registró un primer

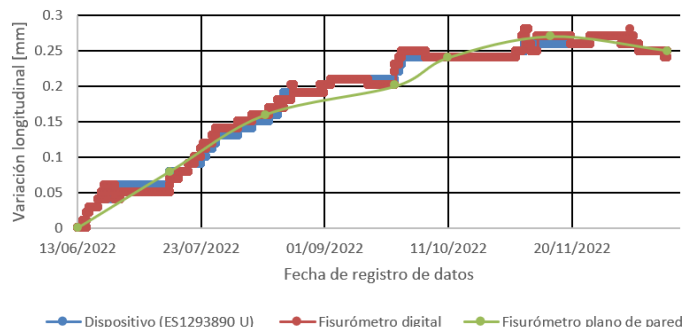


Fig. 6. Registro de datos de un dispositivo comercial y el dispositivo patentado durante 6 meses.

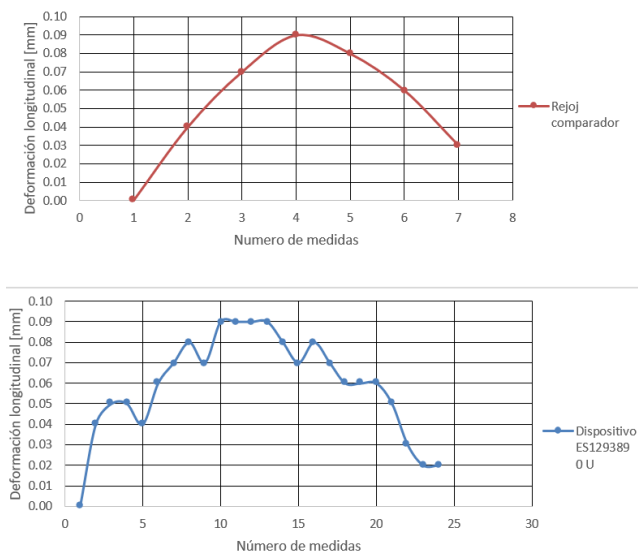


Fig. 7. Comparación de los valores recogidos por el reloj comparador y el dispositivo ES 129389 U en una prueba de carga/descarga.

valor inicial de 0,03 [mm] de deformación, posteriormente esa deformación disminuyó hasta los 0,02 [mm].

Nuevamente en el proceso de la descarga, ambos dispositivos mostraron medidas muy similares, pero el dispositivo ES129389 U al permitir registrar un mayor número de medidas, permite conocer el comportamiento del forjado de una forma más precisa.

El reloj comparador solo permite conocer el valor de la deformación longitudinal en el momento de la toma de medida, pero no permite conocer si durante el proceso de carga o descarga se está produciendo variaciones considerables, o incluso si el valor tomado es correcto o va a sufrir alguna variación.

#### IV. CONCLUSIONS

A la vista de los resultados mostrados en este trabajo se puede concluir que:

- El dispositivo patentado permite ser fabricado de una forma económica y sencilla, utilizando materiales reciclados y biodegradables. Este dispositivo, al reducir los costes de los dispositivos comerciales que ofrecen prestaciones similares, favorece su comercialización, permitiendo ofertar mayor cantidad de pruebas y controles de carga y de fisuras tan importantes para los edificios, asegurando de esta forma la integridad de los mismos.
- El dispositivo ES129389 U presentó una resolución que permitía medir variaciones de 0,01 [mm] con una alta precisión, produciéndose una desviación máxima de 0,007 [mm].
- El fisurómetro digital comercial y el dispositivo ES129389 U, al poder monitorizar las fisuras y grietas y recoger mayor cantidad de datos, mostraron mayor cantidad de información y un control más exhaustivo que el fisurómetro plano de

pared. Los tres dispositivos mostraron unas curvas de deformación longitudinal de la grieta monitorizada muy similares, por lo que se puede asegurar que el dispositivo ES129389 U es válido para su uso para el control y monitorización de grietas y fisuras.

- En la prueba de carga y descarga, el dispositivo ES129389 U mostró unos valores muy similares a los tomados con un reloj comparador, e incluso ofrecía mayor cantidad de valores, permitiendo un mejor seguimiento de la prueba. Además, al evitar tener que acercarse al forjado que está siendo sometido a la carga y descarga mejora la seguridad de los profesionales encargados de realizar dicha prueba y un control constante de lo que está ocurriendo.

#### REFERENCIAS

- Çelebi, A. "Experimental and Statistical Investigation of the Bending and Surface Roughness Properties on Three-Dimensional Printing Parts," *J Test Eval*, vol. 50, no. 4, pp. 2069–2082, Jul. 2022, doi: 10.1520/JTE20210682.
- Chen, Y. C.; Chen, I. H.; Chen, J. Y.; Bin Su, M. "Optical crackmeter for retaining wall in a landslide area using computer vision technology," *Sensors and Materials*, vol. 33, no. 3–2, pp. 995–1008, Mar. 2021, doi: 10.18494/SAM.2021.3011.
- Djukić-Vuković, A.; Mladenović, D.; Ivanović, J.; Pejin, J.; Mojović, L. "Towards sustainability of lactic acid and polylactic acid polymers production," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 108, pp. 238–252, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2019.03.050.
- Gatti, M. "Structural health monitoring of an operational bridge: A case study," *Eng Struct*, vol. 195, pp. 200–209, Sep. 2019, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2019.05.102.
- Huang, S.; Xue, Y.; Yu, B.; Wang, L.; Zhou, C.; Ma, Y. "A Review of the Recent Developments in the Bioproduction of Polylactic Acid and Its Precursors Optically Pure Lactic Acids," *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 6446, vol. 26, no. 21, p. 6446, Oct. 2021, doi: 10.3390/MOLECULES26216446.
- Jurkiewicz, B.; Hottier, J. M. "Static behaviour of a steel–concrete composite beam with an innovative horizontal connection," *J Constr Steel Res*, vol. 61, no. 9, pp. 1286–1300, Sep. 2005, doi: 10.1016/J.JCSR.2005.01.008.
- Kiran Karthik, M. S.; Karanam, H. K. R.; Prabu, S. S. "Experimental and Thermal Analysis of Desktop FDM 3D Printers 'Ender 3' and 'CR-10S Pro' Hot Ends," *ECS Trans*, vol. 107, no. 1, pp. 12851–12862, Apr. 2022, doi: 10.1149/10701.12851ECST/XML.
- Łukaszewicz, K. "Use of CAD Software in the Process of Virtual Prototyping of Machinery," *Procedia Eng*, vol. 182, pp. 425–433, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.PROENG.2017.03.127.

- Maurya, S.; Malik, B.; Sharma, P.; Singh, A.; Chalisgaonkar, R. "Investigation of different parameters of cube printed using PLA by FDM 3D printer," *Mater Today Proc*, vol. 64, pp. 1217–1222, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.03.700.
- Ou, J. "Research and practice of intelligent sensing technologies in civil structural health monitoring in the mainland of China," <https://doi.org/10.1117/12.663993>, vol. 6176, pp. 293–304, Mar. 2006, doi: 10.1117/12.663993.
- Rodríguez Rego, J. M. *et al.*, "Dispositivo para monitorizar grietas de edificios y pruebas de carga/descarga," ES1293890 U, Jun. 22, 2022 [Online]. Available: <https://www.patentes-y-marcas.com/patente/dispositivo-para-monitorizar-grietas-de-edificios-y-pruebas-de-carga-descarga-u202200212>
- Sih, G. C.; Chen, E. P. "Dilatational and distortional behavior of cracks in magnetoelastic materials," *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 40, no. 1, pp. 1–21, Jul. 2003, doi: 10.1016/S0167-8442(03)00031-4.
- Wang, X.-Q.; Cui, Y.-L.; Zhang, S.-M.; Li, G.-T.; Han, J.-L. "Study on the Installation Technology of the Pile Head Treatment Device for Minor Diameter Rigid Pile Vertical Static Load Test," in *PROCEEDINGS OF THE 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHANICS AND CIVIL ENGINEERING*, Mar. 2014, pp. 994–997. Accessed: Mar. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.webofscience.com/wos/alldb/full-record/WOS:000349462200178>
- Xu, Y.; Wu, J.; Tang, B.; Qi, L.; Meng, Z.; Liu, P. "Deformation Monitoring of Offshore Steel Pipe Piles Based on Weak Reflection Bragg Grating Technology," *Laser and Optoelectronics Progress*, vol. 59, no. 11, Jun. 2022, doi: 10.3788/LOP202259.1105001.
- Zheng, Y.; Huang, D.; Shi, L. "A new deflection solution and application of a fiber Bragg grating-based inclinometer for monitoring internal displacements in slopes," *Meas Sci Technol*, vol. 29, no. 5, p. 055008, Apr. 2018, doi: 10.1088/1361-6501/AAB13D.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.