

Con monitoreo de salud estructural buscan disminuir riesgo de edificios “enfermos”

Monitoring structural health to reduce the risk of “sick” buildings

Este sistema con sensores de fibra óptica, creado por investigadores en dinámica estructural y materiales inteligentes, ofrece mayor seguridad a constructores y usuarios.

This system based on fiber optic sensors, created by researchers in structural dynamics and intelligent structures and materials, offers greater safety to builders and users.



Por / By:

Laura Montoya Carvajal

revista.universitascientifica@upb.edu.co

Fotos / Photos:

Equipo de Divulgación Científica y Comunicaciones y cortesía Grupo de Investigación.

Scientific Dissemination and Communications Team and research group courtesy.

E

l paisaje son las laderas irregulares y empinadas por las que corren los más de 200 afluentes que llegan al río Medellín a lo largo del Valle de Aburrá, una porción de 1.152 km² de la Cordillera Central de los Andes. Conformada por 10 municipios, la región es habitada por 4.081.000 personas, y de su territorio solo el 29 % es urbano y concentra el 95 % de la población, según cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

The landscape is composed of irregular and steep slopes through which more than 200 tributaries flow down to reach the Medellín River along the Aburrá Valley, a portion of 1,152 km² of the Central Mountain Range of the Andes. Made up of 10 municipalities, the region is inhabited by 4,081,000 people, and only 29% of its territory is urban and concentrates 95% of the population, according to figures from the Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

El reto consiste en que este Valle, con pendientes angulosas, agua en abundancia y riesgo sísmico, es escenario de un significativo crecimiento en la construcción de edificios, que, a pesar de los cálculos de los ingenieros y la prevención de riesgos y desastres, pueden presentar variaciones en sus cimentaciones y estructura. Sumado a lo anterior, las emergencias causadas por diseños deficientes e inconsistencias con la norma, como fue el caso del edificio Space, que tuvo un colapso parcial de una de sus cimentaciones, lo que causó 12 víctimas fatales, y que, finalmente, tuvo que ser demolido. Según el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres de Medellín (Dagrd), a octubre del 2022 había 17 edificios "enfermos" sólo en la ciudad de Medellín.

El sistema de monitoreo podrá usarse en otras obras de infraestructura, tales como puentes y túneles.

The challenge lies in that this valley —with its slopes, abundant rainfall and seismic risk— is currently going through significant growth in the construction of buildings, which, despite the calculations of engineers and risk and disaster prevention studies, may present variations in their foundations and structure. Moreover, deficient designs and inconsistencies with the norm are at the base of several recent emergencies —as was the case of the Space building, which in the wake of a partial collapse of one of its foundations, caused 12 fatalities, and eventually had to be demolished. According to the Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo y Desastres of Medellín (Dagrd), as of October 2022, there were only 17 "sick" buildings in Medellín.

The monitoring system can be used in other works of infrastructure, such as dumps, bridges, and tunnels.



Julián Sierra Pérez, ingeniero mecánico, magíster en Nuevos Materiales, doctor en Ingeniería Aeroespacial y docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, encontró en este escenario una aplicación posible para uno de sus trabajos investigativos, que había comenzado en Europa aplicado a estructuras aeronáuticas: "cuando regresé en 2015 de España, después de terminar mi tesis doctoral, pensé en cómo podía implementar esas técnicas de monitoreo de salud estructural en otras aplicaciones, porque en Colombia es muy reducida la industria aeronáutica. Se me ocurrió llevarla al sector civil: una de las ideas fue empezar a trabajar con sensores de fibra óptica para el monitoreo de estructuras que permitieran detectar anomalías en edificaciones", explicó. De esta forma, Sierra Pérez encontró aliados en los investigadores Carlos Andrés Blandón Uribe y Jorge Aristizábal Gil de la Universidad EIA, y Carlos Alberto Riveros Jerez, de la Universidad de Antioquia, quienes a través de la dinámica estructural ya venían trabajando en esta problemática con sus grupos de investigación.

Según el DANE, al 2022 había 5.225.184 obras terminadas, en proceso o paralizadas, en las áreas metropolitanas de Medellín y el oriente Antioqueño.



According to DANE, by 2022 there were 5,225,184 finished works, in process or paralyzed, in the metropolitan areas of Medellín and the oriente Antioqueño.

Julián Sierra Pérez, PhD in Aerospace Engineering with a master's in New Materials Composite Materials, and Aerospace Engineering and a Bachelor's in Mechanical Engineering is a professor and researcher at Universidad Pontificia Bolivariana. Prof. Sierra found in this scenario a possible application for one of his research works applied to aerospace structures, which he had begun in Europe: "When I returned from Spain in 2015, after finishing my doctoral thesis, I thought about how I could implement those structural health monitoring techniques in other applications, because the aeronautical industry in Colombia is very limited. It occurred to me to take it to the civil sector: one of the ideas was to start working with fiber optic sensors for structural monitoring that would allow the detection of anomalies in buildings," he explained. In this way, Prof. Sierra found research allies in professors Carlos A. Blandón-Urbe from Universidad EIA, Jorge Aristizábal-Gil from Área Ingenieros Consultores, and Carlos A. Riveros-Jeréz, from the Universidad de Antioquia. They were already working on this problem with their corresponding research groups.

¿Cómo son los sensores fotónicos?

La nueva tecnología difiere del monitoreo convencional, que es realizado con acelerógrafos que se instalan externamente para medir vibraciones, de manera temporal, y con alto costo económico. El nuevo sistema consiste en transductores de forma cilíndrica, de 30 cm. de largo y 5 cm. de diámetro, que contienen sensores de fibra óptica que miden la deformación y temperatura del concreto desde adentro de las columnas. Estos, a su vez, se conectan a un equipo remoto, configurado para interpretar los valores y emitir alertas frente a los riesgos que afecten la estabilidad e integridad de las construcciones.

“Las estructuras tienen muchos componentes y en ocasiones alguno de ellos falla. Como por lo general no hay sistemas que permitan conocer su estado, estas fallas pueden llevar a daños severos o catastróficos. Este desarrollo ofrece una alternativa para tener sistemas de medición directa de estos factores, que permitan revisar o corregir elementos de manera preventiva y evitar daños y reparaciones costosas”, afirma Blandón Uribe, ingeniero civil, especialista en Estructuras e Ingeniería Sísmica.



Los transductores son dispositivos que reciben longitudes de onda que indican deformación y temperatura de los materiales en los que están embebidos, y las convierte en medidas de fuerza, que luego son analizadas con inteligencia artificial.

Transducers are devices that receive wavelengths that indicate the strain and temperature of the materials in which they are embedded, and they convert them into measures of force, which are later on analyzed with artificial intelligence.

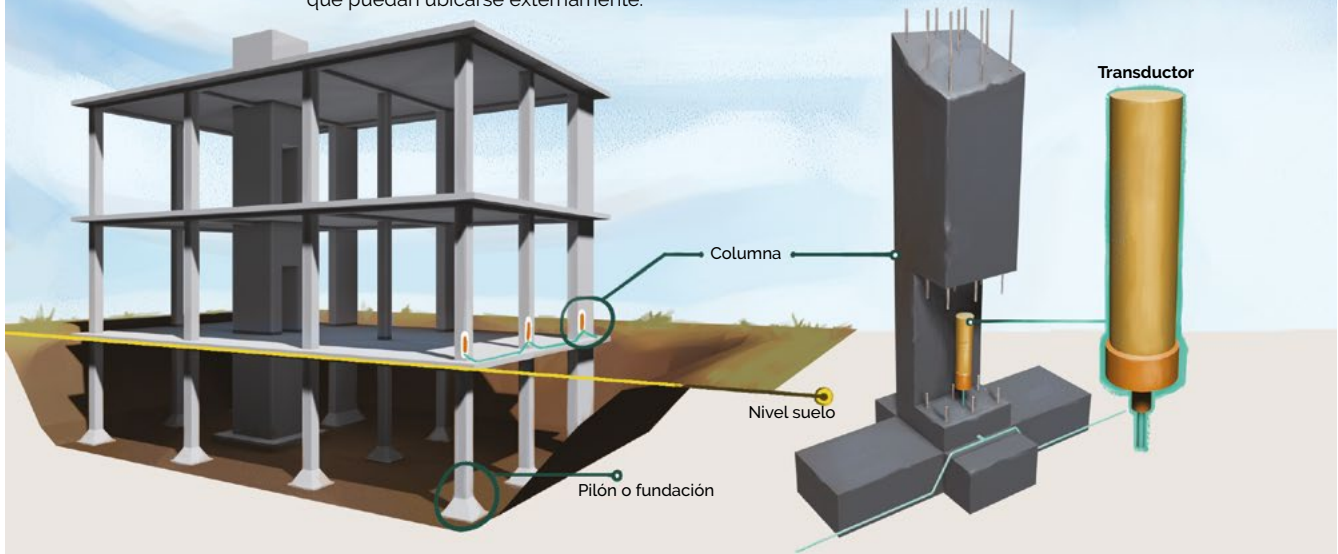
How are photonic sensors?

The new technology differs from conventional monitoring, which is carried out with accelerometers that are installed externally to measure vibrations, temporarily and at a high economic cost. The new system consists of cylindrical-shaped transducers, 30 cm (about 11.81 in) long and 5 cm (about 1.97 in) in diameter, which contain optical fiber sensors that measure the strain and temperature of the concrete from inside the columns. These, in turn, are connected to a remote device, configured to interpret the values and to issue alerts to the risks that affect the stability and integrity of the buildings.

“The structures have many components and sometimes one of them fails. Since no systems generally allow us to know their condition, these failures can lead to severe or catastrophic damage. This development offers an alternative to have direct measurement systems over these factors, which allow us to review or correct elements preventively and to avoid costly damages and repairs,” says Prof. Blandón, civil engineer, Master in Earthquake Engineering, Master in Engineering and Ph.D in Reduction of Seismic Risk.

Así se incorpora el sistema a un edificio

La instalación de los transductores se hace durante el proceso de construcción, ubicándolos dentro del armazón de varillas de hierro corrugado antes del vaciado del concreto. En un futuro, el objetivo es monitorear edificios ya terminados con sensores de bajo costo que puedan ubicarse externamente.



Como antecedente, la UPB y la Universidad EIA llevaron a cabo una primera prueba. Los investigadores pusieron un dispositivo dentro de una viga de concreto, de escala reducida, para comparar los dos métodos: la extensometría convencional con acelerógrafos, y la nueva, con fibra óptica. Al confirmar que las mediciones eran congruentes, construyeron, con financiación del programa UPB Innova, una estructura aporricada (es decir, con solo vigas y columnas) a escala reducida en la que insertaron 64 sensores de fibra óptica. Con un agitador industrial simulaban movimientos telúricos e indujeron daños, y el monitoreo dio nuevamente un resultado positivo.

Después de esta prueba y entre los años 2020 y 2022, las instituciones universitarias, ahora también junto a la Universidad de Antioquia, ejecutaron un proyecto de investigación para el desarrollo y validación de un sistema de monitoreo de bajo costo para un edificio real en construcción. Esto fue posible gracias a la convocatoria conjunta de proyectos de I+D+i del G8, financiada por la Gobernación de Antioquia y Ruta N.

As background to this project, it is important to mention that UPB and EIA universities carried out an initial test. The researchers placed a device inside a scaled-down concrete beam to compare the two methods: conventional extensometers vs. the new one with optical fiber. After confirming that the measurements were consistent, they built a scaled-down frame structure (with only beams and columns) with funding from the UPB Innova Program, in which they inserted 64 fiber optic sensors. They simulated seismic movements with an industrial shaker and induced damage. After monitoring, the results were positive once again.

Between 2020 and 2022, the universities, now also joined with the Universidad de Antioquia and Área Ingenieros Consultores, carried out a research project for the development and validation of a low-cost monitoring system for a real building under construction. This was possible thanks to the joint R&D project call of the G8,

La estructura, que continúa en obra, está ubicada en el municipio de Sabaneta, tendrá 33 pisos de altura y sus 32 columnas están instrumentadas con los sensores en el interior.

De la academia a la práctica

En este proyecto participó también la empresa de consultoría y diseño [Área Ingenieros Consultores \(AIC\)](#). Para Héctor Guillermo Urrego Giraldo, gerente de AIC, esta tecnología es un gran aporte de la academia a la práctica: "Todas las estructuras se desarrollan sobre unos supuestos que pueden cambiar, sea porque los suelos no son como aparecen en las perforaciones iniciales o porque las cargas son estimadas, y no necesariamente se les hace seguimiento durante la construcción y el uso", analizó el ingeniero civil.

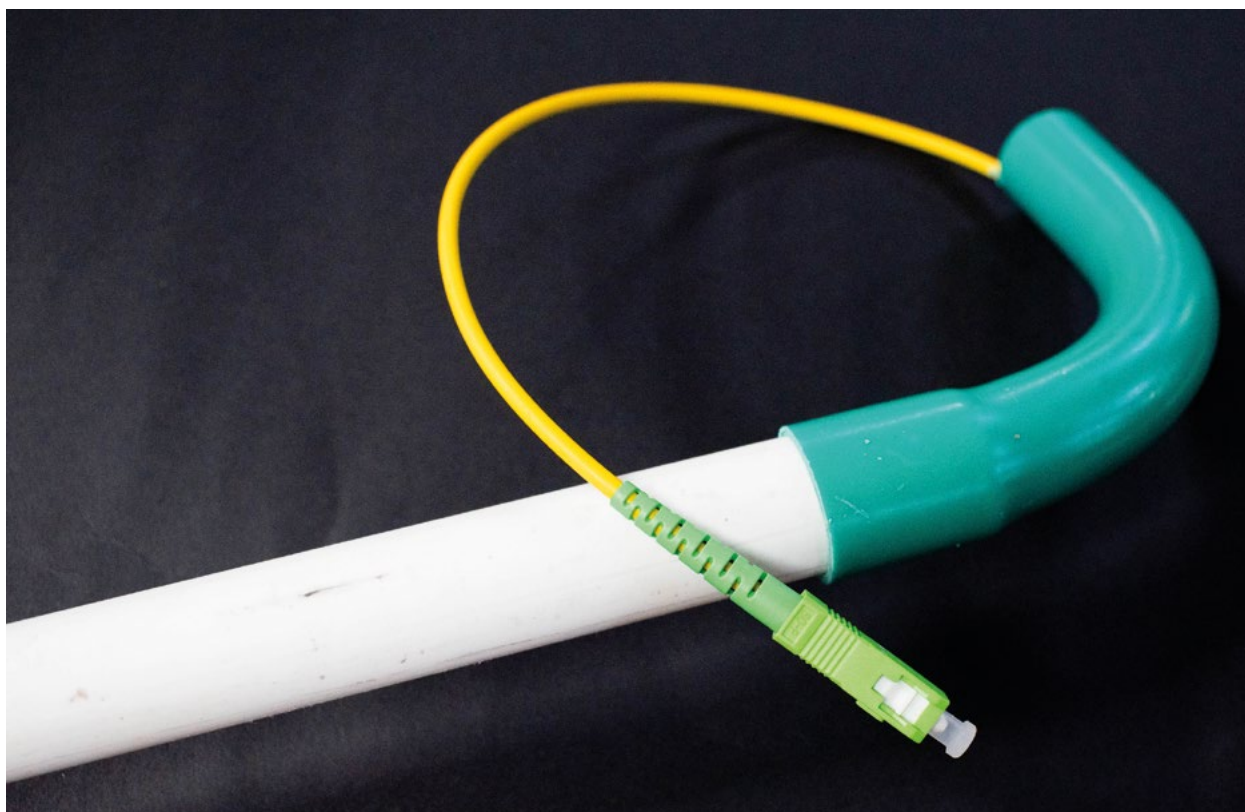
The new system consists of cylindrical-shaped transducers, 30 cm (about 11.81 in) long and 5 cm (about 1.97 in) in diameter, which contain optical fiber sensors that measure the deformation and temperature of the concrete from inside the columns.

El nuevo sistema consiste en transductores de forma cilíndrica, de 30 cm. de largo y 5 cm. de diámetro, que contienen sensores de fibra óptica que miden la deformación y temperatura del concreto desde adentro de las columnas.

financed by the Government of Antioquia and Ruta N. The structure, which is still under construction, is located in the municipality of Sabaneta. It will have 33 floors and 32 columns; instrumented with sensors inside.

From academia to practice

Área Ingenieros Consultores (AIC), a local consulting and design company, also participated in this project. For Ph.D Héctor Urrego-Giraldo, general manager of AIC, this technology is a great contribution from academia to practice: "All the structures are developed on assumptions that they can change, either because the soils are not as they appear in the initial drilling or because the loads are estimated, but not necessarily followed up during the construction and use," said the civil engineer.



Además, Urrego Giraldo explica que en el Valle de Aburrá hoy se erigen edificios en zonas de alto riesgo, que antes eran descartadas para esa actividad, pero que hoy deben ocuparse para suplir la creciente demanda de vivienda, por lo que es importante tener el mayor control posible sobre todas las variables.

Para Carlos Andrés Blandón Uribe, este sistema aportará valor agregado y ventaja competitiva a constructores e incluso a empresas aseguradoras, ante las normativas cada vez más estrictas y el creciente interés de los usuarios por la seguridad: "al fin y al cabo, las viviendas son una de las inversiones más grandes que las personas hacen en toda su vida y tiene sentido protegerlas", expresó.

El reto en este Valle, con pendientes angulosas, agua en abundancia y riesgo sísmico, es escenario de un significativo crecimiento en la construcción de edificios, que, a pesar de los cálculos de los ingenieros y la prevención de riesgos y desastres, pueden presentar variaciones en sus cimentaciones y estructura.



The challenge lies in that this valley -with its slopes, abundant rainfall, and seismic risk -is currently going through significant growth in the construction of buildings, which, despite the calculations of engineers, and risk and disaster prevention studies, may present variations in their foundations and structure.

Additionally, Dr. Urrego explains that in the Valle de Aburrá, buildings are now being erected in high-risk areas that were previously discarded for this activity, but today must be used to meet the growing demand for housing. Therefore, it is important to have the greatest possible control over all variables.

For Prof. Blandón, this system will provide added value and a competitive advantage to builders and even to insurance companies, before stricter regulations and the growing interest of users for safety: "After all, buying a house is one of the largest investments that people make in their entire lives and it makes sense to protect them," he said.

El investigador Sierra Pérez concluyó que el proyecto fue exitoso: "el sistema funciona, da unas medidas muy precisas, es posible integrarlo a las columnas y soporta el proceso constructivo. Continuaremos mejorando la integración y despliegue durante la fase constructiva y, en un futuro, queremos desarrollar sensores para superficie que permitan tomar medidas en edificaciones ya construidas". Sierra afirma que buscarán proteger vía patente esta tecnología y comenzarán un proceso de transferencia tecnológica, para que puedan comercializarse los dispositivos, así como su instalación y monitoreo.

Prof. Sierra concluded that the project was successful: "The system works, it gives very precise measurements, it is possible to integrate it into the columns, and it supports the construction process. We will continue working hard to improve the integration and deployment during the construction phase and, in the future, we want to develop surface sensors that allow measurements to be taken in already existing buildings." Prof. Sierra affirms that they will seek to protect this technology via patent and start a technology transfer process, so that they can commercialize the devices, as well as their installation and monitoring.



El equipo de investigadores lo conforman Esteban Paniagua, Julian Sierra Pérez, Carlos Blandón y Javier Penagos.

Ficha técnica

Nombre del proyecto: Implementación de un sistema de monitoreo de salud estructural para edificaciones mediante sensores fotónicos.

Palabras clave: Monitoreo; Salud estructural; Materiales inteligentes; Construcción.

Grupo de Investigación: [G.I. en Ingeniería Aeroespacial](#)

Escuela: Ingenierías

Seccional: Medellín

Líder del proyecto: Julián Sierra Pérez

Correo electrónico: julian.sierra@upb.edu.co

Data sheet

Nombre del proyecto: Implementation of a structural health monitoring system for buildings using photonic sensors.

Keywords: Monitoring; structural health; smart materials; building.

Research group: G.I. in Aerospace Engineering

School: Engineering

Campus: Medellín

Project leader: Julián Sierra Pérez

Email: julian.sierra@upb.edu.co