

GUARD: SERVICIO DE MONITOREO REMOTO PARA SISTEMAS FLEXIBLES DE PROTECCIÓN CONTRA RIESGOS NATURALES

El desarrollo de la tecnología en los últimos años ha dado un vuelco en la concepción de muchas de las labores cotidianas. Tareas que con antelación requerían múltiples esfuerzos humanos y económicos hoy en día se solucionan haciendo simplemente varios clics en una app sobre un dispositivo móvil.

El sector de los riesgos naturales no se queda detrás de este reto. Desde hace varios años se intenta optimizar las tareas de mantenimiento y revisión de los sistemas de protección normalmente ubicados en lugares remotos, con muy escasas posibilidades de acceso. En esta dirección se desarrolla una nueva línea de investigación de Geobruigg. Se trata de un dispositivo móvil (IoT) que permite de forma muy eficiente y segura, monitorizar la actividad del sistema, garantizando con ello la estrategia y planes de mantenimiento; así como acudir de forma inmediata a un emplazamiento en el que ocurra un evento, teniendo con antelación una idea aproximada de la magnitud del mismo.

La principal ventaja de este dispositivo es, además de su completa autonomía, que se puede colocar en cualquier sistema de protección de los presentes a fecha de hoy en el mercado, sea cual fuere su fabricante.

Roberto J. Luis Fonseca^a.
Dr. Ing. Caminos, Canales y Puertos
Manuel Eicher^a.
Dipl. Operating Technician HF, EMBA

Carles Raïmat Quintana^a.
Dr. Ing. Geología
Julio Prieto Fernández^a.
Ing. Minas

^aGeobruigg

1.- ORÍGENES Y PRIMEROS PASOS

El estudio y las primeras versiones de estos dispositivos datan de 2010, como parte del sistema de monitoreo de la estación de observación de flujos de detritos ubicada en la localidad de Erill, Lérida [8]. Ciertamente estos primeros dispositivos distan bastante de los que existen hoy día. En la figura 1 se muestra el primer prototipo de estos aparatos, en aquel entonces su uso estaba limitado a medir las solicitaciones de tensión en los cables principales de la barrera flexible tipo VX-160.



Fig. 1 Primeros sensores de carga. Estación de Erill, Pirineo (2010).

Como se puede apreciar en los primeros momentos, la conexión que permitía llevar la señal a una estación central (datalogger) ubicada in situ, era cableada. En la estación central se disponía de una batería de grandes dimensiones que se recargaba a través de un panel solar.

La idea inicial fue agrupar la información de varios sensores en esta estación y a través de una conexión a internet, poder transmitir la señal como un paquete.

Durante estos primeros tiempos, se presentaron innumerables problemas, comenzando por las propias dificultades de la fuente de alimentación. En invierno resultaba complejo el proceso de carga debido a que en ocasiones la placa se cubría de nieve y se daban problemas de suministro de energía que impedían el trabajo del sistema. En segundo lugar, el enlace a la web aún era muy inestable, los fallos debidos a la conexión se sucedían a diario. Tercero y no menos importante, el empleo de tecnología cableada (en el primer punto) que no garantizaba la transmisión, a pesar de contar con cables especiales presuntamente protegidos, muchas veces los roedores impidieron su correcto funcionamiento.

De forma adicional como se explicaba, este tipo de sensor estaba limitado a la toma de datos de tensión en los cables principales (fig. 1).

2.- CAJAS INTELIGENTES (SMARTBOXES)

A partir de 2016 se retomó el tema de una forma consciente. La necesidad del mercado de contar con alguna herramienta de medición relacionada con la corrosión hizo que se destinaran recursos importantes por parte de Geobru gg para desarrollar un dispositivo de más posibilidades, enfocado en el control de movimientos y en el pronóstico del ambiente corrosivo (tabla 1) de determinado emplazamiento [1].

CAT. CORROSIVIDAD		DESCRIPCIÓN
C1	muy baja	zonas secas o frías, ambiente atmosférico con muy baja contaminación y humedad, por ejemplo: ciertos desiertos, el Ártico y la Antártida centrales
C2	baja	zonas templadas, ambiente atmosférico con baja contaminación ($\text{SO}_2 < 5\text{mg/m}^3$) por ejemplo: zonas rurales, pequeños pueblos. Zonas secas o frías, ambiente atmosférico con cortos periodos de humedad ejemplo desiertos, regiones subárticas
C3	media	zonas templadas, ambiente atmosférico con contaminación media (SO_2 de 5mg/m^3 a 30mg/m^3) o algún efecto de cloruros, por ejemplo: áreas urbanas, áreas costeras con baja deposición de cloruros. Zona subtropical y tropical, con baja contaminación atmosférica.
C4	alta	zona templada, ambiente atmosférico con contaminación media (SO_2 de 30mg/m^3 a 90mg/m^3) o efecto sustancial de cloruros, por ejemplo: áreas urbanas contaminadas, zonas industriales, zonas costeras sin salpicadura de agua salada o explosión severas a sales de deshielo. Zona subtropical y tropical, contaminación atmosférica media.
C5	muy alta	zona templada y subtropical, ambiente atmosférico con muy alta contaminación (SO_2 de 90mg/m^3 a 250mg/m^3) y/o efecto significativo de cloruros, por ejemplo: zonas industriales, zonas costeras, posiciones bajo techo en el litoral
CX	extrema	zona subtropical y tropical (tiempo de humedad muy alto), ambiente atmosférico con muy alta contaminación de SO_2 (superior a 250mg/m^3) incluyendo factor de producción y / o fuerte efecto de cloruros, por ejemplo: zonas industriales extremas, zonas costeras y dentro del mar, con salpicaduras ocasionales de agua salada

Se desarrolló un programa piloto de control de corrosión con el soporte de WITg¹, que permitió obtener información básica de los procesos y calibración del sensor.

Tabla 1.- Ambientes corrosivos según EN-ISO 12944-2:2018.

La segunda generación de sensores a los que se denominó smartboxes, estaba además encaminada a la detección de movimientos e impactos, gracias a un sistema de sensores (giroscopio y acelerómetro) que poseían y que permitían evaluar la magnitud, dirección y sentido de los posibles impactos. Los primeros dispositivos puestos a prueba aun tenían parte del cableado de interconexión expuesto (fig. 2).

Posteriormente, los cables se sustituyeron por circuitos integrados y se colocaron dentro de una cavidad debidamente aislada (fig. 3) con una IP2 elevada [4] (tabla 2). La forma de instalación hasta el momento consistía en la colocación de dos sujetacables, cuyo tamaño estaba en función del cable al cual se iban a sujetar.

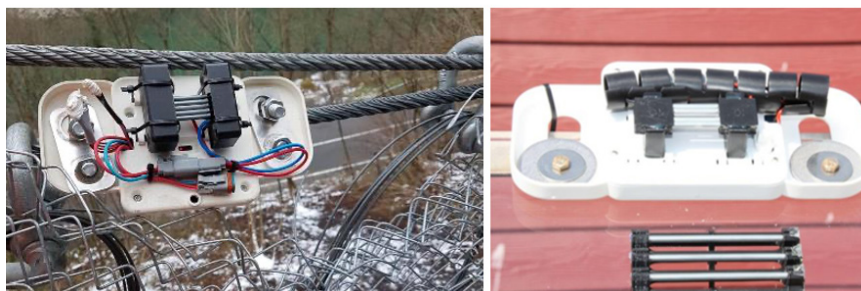


Fig. 2.- Modelos de la generación 2017-2018 (Smartbox).



Fig. 3 Modelos de la generación 2019 (Smartbox) con mayor nivel protección al intemperismo.

Nota: En algunos casos se pueden ver letras que acompañan a los valores IP. Estas se emplean para añadir información extra sobre el dispositivo y su nivel de protección. D: Cable; F: Contra aceite, H: Dispositivo de alto voltaje; M: Dispositivo en movimiento durante la prueba; S: Dispositivo inmóvil durante la prueba; W: Condiciones climatológicas.

Protección ante sólidos		Nivel		Protección ante líquidos	
	Sin protección	0	Sin protección		
	Protección ante objetos con diámetro superior a 50mm	1	Protección ante goteo vertical		
	Protección ante objetos con diámetro superior a 12mm	2	Protección ante goteo con una inclinación de 15°		
	Protección ante objetos con diámetro superior a 2,5mm	3	Protección ante pulverización		
	Protección ante objetos con diámetro superior a 1mm	4	Protección ante salpicaduras		
	Protección ante el polvo	5	Protección ante chorros de agua		
	Totalmente estanco ante el polvo	6	Protección ante chorros continuos de agua		
		7	Protección ante inmersiones temporales		
Tabla 2. Resumen de los niveles de protección3 (código IP).		8	Protección ante inmersiones permanente		

Nota: En algunos casos se pueden ver letras que acompañan a los valores IP. Estas se emplean para añadir información extra sobre el dispositivo y su nivel de protección. D: Cable; F: Contra aceite, H: Dispositivo de alto voltaje; M: Dispositivo en movimiento durante la prueba; S: Dispositivo inmóvil durante la prueba; W: Condiciones climatológicas.

Un conjunto de unas 50 unidades de este tipo se colocó de forma piloto en varios países de Europa. En la península ibérica se colocaron 6 unidades, tres en la carrera N-634 km 25 cerca de Getaria en Guipúzcoa, España (fig. 4a) y el resto en Bonrepòs en Andorra (fig. 4b); las pruebas llevadas a cabo con estos dispositivos han sido satisfactorias. A pesar de la baja intensidad de la señal en el primero de los emplazamientos del País Vasco, hace tan solo unos días, el sábado 26 de marzo de 2022, el sensor de movimientos fue capaz de identificar el impacto de un bloque con una aceleración de unos 33 g, sobre el trasdós de la barrera de esta ubicación.

3.- DISPOSITIVOS
GUARD: DESCRIPCIÓN Y
FUNCIONALIDAD DE LA
ÚLTIMA GENERACIÓN [5]

En 2020 se realizó el lanzamiento de una última versión de dispositivo, esta vez recuperando la posibilidad de la medición de tensiones en el cable sobre el que se realiza el montaje. La forma de transferencia de datos y conexiones, así como las principales prestaciones de este nuevo dispositivo se pueden ver en la figura 5.

A continuación, en la tabla 3 se muestran las principales características de este nuevo dispositivo, destacando entre otras la composición metálica del mismo (manteniendo un peso extraordinariamente ligero de 2,6 kg), así como la capacidad de instalación mediante un solo sujetacables, lo cual incrementa sin duda la durabilidad y facilita en sobremanera la instalación en obra.



Fig. 4a.- Smartboxes colocada en Getaria (Guipúzcoa).



Fig. 4b.- Smartboxes colocadas en Bonrepòs (Andorra).

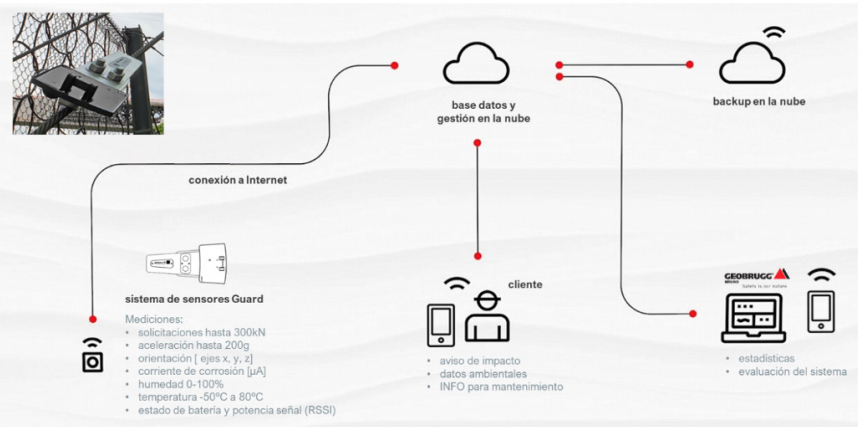


Fig. 5.- Esquema de transferencia de datos del dispositivo Guard.

Dispositivo	Descripción
Comunicación	GSM/ UMTS/ LTE (2G / 3G o LTE Cat M1)
Duración de la batería	7-10 años / sin necesidad de carga o cambio de batería
Transmisión de datos	1 vez por semana, en caso de una solicitud especial dentro de unos minutos
Seguridad	Sistema operativo encriptado múltiple / independiente
Peso	2,6 kg
Durabilidad	Aprobado para exteriores (impermeable, resistente a los rayos UV, frío y resistente al calor), diseñado para aceleraciones de hasta 200 g
Montaje	Sobre cable Ø16mm - Ø24mm

Tabla 3.- Propiedades del dispositivo Guard.

Como se aprecia en la tabla 3, la comunicación es muy factible utilizando desde los sistemas más básicos GSM llegando a los más comunes en la actualidad (4G4), esto permite conectividad total, salvo zona de sombra absoluta, en caso de conexión intermitente debida a la mala calidad de la señal, se tienen experiencias positivas, aun cuando la antena no ofrece cobertura total, la información se transmite en las ventanas de señal disponible.

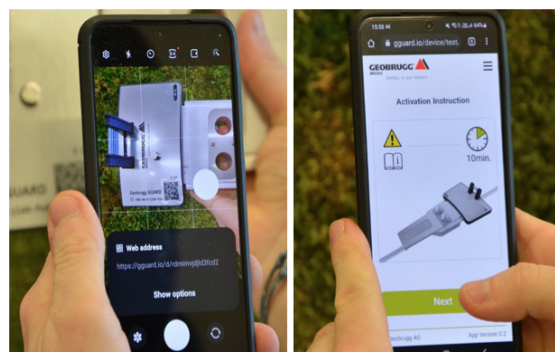
La experiencia demuestra que en condiciones normales una semana es un periodo más que suficiente para la actualización de los datos, salvo que se presenten eventos extraordinarios, en los que la información se envía de forma inmediata. Este particular hay que tenerlo en consideración en los lugares en los que la recepción de señal es muy baja. Si las ventanas de cobertura puntual exceden los 7 días, es posible que se pueda perder alguna información.

La duración de la batería es un problema resuelto, los primeros modelos presentaban dificultades, por la dificultad de alimentación estable y las citadas carencias de los sistemas que emplean paneles solares. A fecha de hoy los dispositivos cuentan con una batería de litio de alta duración, que garantiza la alineación ininterrumpida de 7 a 10 años.

En relación con el empleo en exteriores, esta versión ha sido mejorada en relación con la resistencia a la intemperie con valores máximos de IP, es decir mayor de IP67 estanco al polvo y resistente a inmersiones esporádicas (tabla 2). También es resistente a los rayos UVA y al calor.

Desde el punto de vista de las mediciones relacionadas con el movimiento o vibraciones, es capaz de registrar impactos con aceleraciones absolutas de hasta 200 g, siendo 16 g la sensibilidad en la medición de las aceleraciones, con orientación tridimensional del impacto (x, y, z).

Fig. 6.- Activación del dispositivo Guard.



Montados sobre un cable cuyo diámetro puede estar entre 16 mm y 24 mm, se pueden reconocer tensiones máximas de hasta 300 kN, lo cual cubre un amplio aspecto de solicitaciones que se generan en los sistemas de barreras estandarizados.

Una de las novedades más importantes de estos Guard es, como se señalaba, la determinación del nivel de corrosión, a partir de la medición de corriente (μA) sobre un sensor especial compuesto de varios alambres de igual diámetro, pero con diverso tipo de protección contra la corrosión, se logra establecer una correlación que permite identificar el ambiente corrosivo, a partir de la tasa de pérdida de recubrimiento de Zinc [2, 3]. Este sensor desarrollado por Geobruigg con el soporte de WITg, está debidamente calibrado y permite con un elevado grado de confianza clasificar el ambiente corrosivo del emplazamiento (C1-CX), llegando mediante valores numéricos a caracterizar en qué lugar dentro de cada zona o nivel se encuentra ubicado el dispositivo.

Otros datos de los que se puede disponer del dispositivo están relacionados con la microclimatología del emplazamiento. Se trata de la temperatura (-50°C a 80°C) y la humedad (0-100%). De forma complementaria se cuenta con el estado del equipo, el nivel de la batería así como el indicador de potencia de la señal recibida (RSSI), disponibles en cada momento de registro.

La puesta en marcha de la nueva versión del dispositivo es extremadamente

sencilla y se realiza a partir de una aplicación web (<https://gguard.io/>) sobre un dispositivo móvil, tal y como se describe en la figura 6.

A partir de la caracterización anterior y una vez instalado (colocación de un sujetacables con una llave dinamométrica y retirada del control magnético de arranque), este dispositivo está listo para dar solución desde el punto vista funcional a problemas relacionados con solicitaciones estáticas y dinámicas, así como aportar luz a los criterios, planes de mantenimiento y/o reparación relacionados con el nivel de corrosión, asociados al ambiente corrosivo, y la vida útil de las soluciones. A continuación en la tabla 4, se muestra a nivel esquemático las funcionalidades del dispositivo.

Desde el punto de vista dinámico se pueden utilizar para la detección remota y la notificación de impactos (caída de rocas y troncos, purgas de nieve o frentes de flujos de detritos), mientras que desde el punto de vista estático o cuasi-estático, se pueden controlar presiones (relleno con nieve y con detritos, incluidos flujos de detritos a baja velocidad y relleno paulatino de barreras de protección contra desprendimiento de rocas, clásico de explotaciones mineras a cielo abierto). De forma adicional se puede aprender del microclima relevante del emplazamiento (temperatura y humedad), contrastándolo con el nivel de corrosividad medido, que ayude a establecer planes de mantenimiento preventivo. No cabe duda de que en el futuro muy cercano, se pueda contar con información suficiente como para realizar minería de datos y poder

Caso	Carga dinámica	Carga estática	Corrosión / Reducción de espesor
Problemas	- Desprendimiento de rocas - Impacto de troncos - Flujos de detritos - Purgas de nieve	- Presión de nieve - Flujos de detritos a baja velocidad - Relleno paulatino rocas	- Humedad - Salinidad - Polución del aire - Otros factores
Identificación del problema	Sensor de aceleración	Sensor de carga en el cable	Sensor de corrosión
Urgencia	Alto impacto ⇒ inmediato Bajo impacto ⇒ semanas	Días / semanas	Meses / años
Notificación	SMS y/o e-mail	e-mail, portal o informe	portal o informe
Medidas para mantener el nivel de seguridad	Sustitución de componentes: tales como elementos de frenado, redes, cables, accesorios, etc.	Sustitución de componentes: tales como elementos de frenado, redes, cables, accesorios, etc.	Sustitución de componentes afectados

Tabla 4.- Funciones más importantes del dispositivo Guard.

obtener correlaciones muy importantes, que pueden ir más allá de un excelente mapa de corrosión. Se podría por ejemplo hacer: asociaciones entre la fauna salvaje y las caídas de bloques, entre la meteorología (intensidad-duración de precipitaciones), los desprendimientos y los flujos de detritos; y entre la contaminación del aire y el nivel de corrosión.

4.- CUADRO DE MANDO

Para la gestión de la información que aporta el dispositivo, se cuenta con un cuadro de mando que permite acceder al usuario a toda la información de forma muy intuitiva. En una primera instancia se dispone de la geolocalización del dispositivo, así como de los datos básicos de contacto de la persona responsable (Fig. 7).

Datos de Contacto	Meta Datos
Roberto Luis Geobrugg Ibérica, SA Cerro Aguila 3, 1A3 ES-28703 San Sebastián de los Reyes (Madrid), España roberto.luis@geobrugg.com Tel. +34 916 592 830	Proyecto: Bon Repos Coordenadas: 42°29'47.7"N 1°29'48.3"E Ubicación: Andorra

Fig. 7.- Geolocalización y contacto. Cuadro de mando Bonrepós Andorra.

A continuación, se puede observar en secuencia un conjunto de datos ambientales que se brindan por emplazamiento, temperatura, humedad y orientación (fig. 8). De forma adicional se cuenta con una tabla de gestión de eventos en los que se tiene un registro histórico de

la información registrada fundamentalmente relacionada con los impactos, en los que se relacionan los valores de aceleración registrados en el tiempo. También se puede gestionar cómo se transmite la información al usuario, por SMS o por correo electrónico.

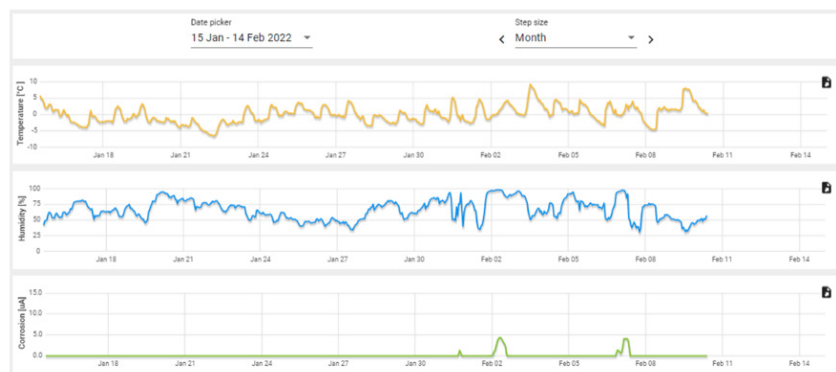


Fig. 8.- Cuadro de mando. Temperatura, humedad y corrosión.



También se puede contar con la ya citada información que muestra el nivel de corrosión en tiempo real que permite asociar cada punto a un ambiente corrosivo tipo. En la figura 9, se muestra un sensor que describe un ambiente corrosivo de tipo C2 (tasas de degradación del zinc de 1,86 g/m²/año). Así como el estado del sistema, nivel de batería y calidad de la señal o cobertura. Se puede además ver en una pantalla, la localización del dispositivo sensor dentro del sistema de protección (por ejemplo cables de soporte perimetrales, de tensión lateral o de retención al monte).

Como parte de las tareas de desarrollo del sensor de impacto se colocó un prototipo del dispositivo en uno de los cables de soporte perimetral durante el ensayo de una barrera dinámica de protección contra desprendimientos tipo Rocco-2000 [7].

En la figura 10 se muestra en tres pasos la puesta en funcionamiento del dispositivo de frenado de la barrera y junto con él, el sensor de aceleración del Guard.

Por otra parte, la figura 11 muestra el gráfico del comportamiento de la aceleración en el tiempo y su orientación en los tres ejes (x, y, z).

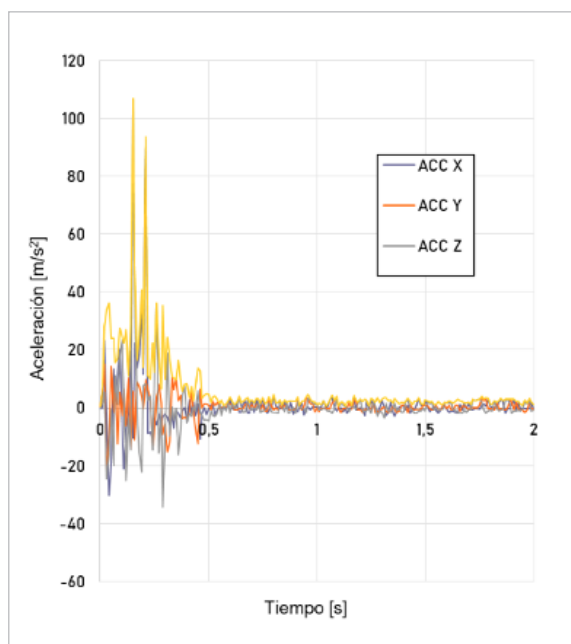


Fig. 11.- Medición de la aceleración en un ensayo en Walenstadt, Suiza (cable perimetral inferior barrera de 2000 kJ).

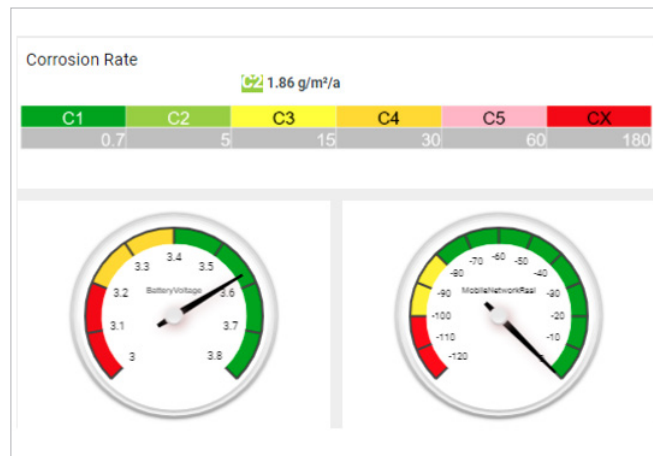


Fig. 9.- Cuadro de mando. Nivel de corrosión y estatus del equipo (batería y señal).



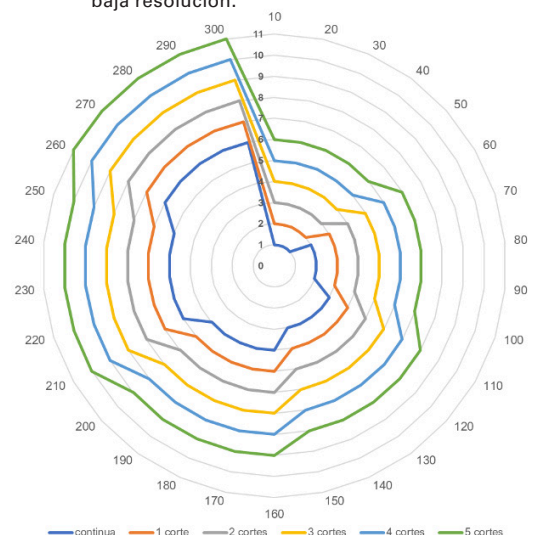
Fig. 10.- Estado inicial y momento del impacto donde las aceleraciones máximas son del orden de 110 m/s².

5.- NÚMERO DE DISPOSITIVOS A UTILIZAR

En general el número de dispositivos a emplear en cada emplazamiento estará en función de la resolución que se desee alcanzar, así como del número de tramos efectivos que disponga el sistema de protección a monitorizar.

Como regla general el tamaño máximo del tramo de barreras -debido a otros motivos de diseño- está en el orden de los 60 m. Aun así existen una serie valores recomendados en función del citado número de cortes, ya que se pueden encontrar barreras que no sigan las normas. En la tabla 5 y figura 12 se muestra, la cantidad de dispositivos recomendada, para el caso que la exigencia de resolución sea baja.

Fig. 12.- Dispositivos recomendables caso baja resolución.



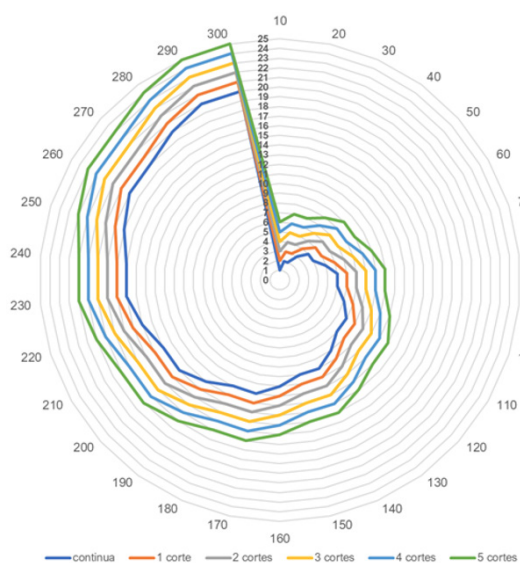


Fig. 13.- Dispositivos recomendables caso alta resolución.

De igual manera si se desea mejorar el grado de resolución será necesario incrementar el número de dispositivos a emplear (réplica) en función de la longitud de la barrera y las separaciones de cable que tenga (tabla 6 y figura 13).

6.- CASOS DE ESTUDIO

6.1.- Sobrecarga.

Impacto sobre RXE-500

En febrero de 2021, un impacto de gran entidad generó una alarma en un tramo de barrera de 500 kJ. En este caso, debido a la longitud de la protección, la barrera estaba partida en dos tramos con una separación de cables (en la figura 14 se puede ver cómo uno de los tramos de barrera cayó al suelo debido a la sobrecarga). La figura 15 muestra el emplazamiento de varios sensores Guard, en la línea de barrera. Tras el impacto se recibieron un conjunto de alarmas (fig. 16), por SMS que permitieron, por una parte poder corroborar la veracidad del impacto debido a la réplica de la información y por otra, poder tener una idea de la entidad del impacto.

Como se puede apreciar, los valores de aceleración máxima registrados durante el impacto, sobrepasaron en los puntos a la derecha del poste (partición de cables) eP4 [~ 200 g] y fP4 [~ 210 g], lo que implica sin ninguna

Tabla 6.-
Dispositivos
recomendables
caso alta
resolución.

Longitud [m]	Número de cortes					
	0	1	2	3	4	5
10	1	2	3	4	5	6
20	1	2	3	4	5	6
30	1	2	3	4	5	6
40	1	2	3	4	5	6
50	1	2	3	4	5	6
60	2	3	4	5	6	7
70	2	3	4	5	6	7
80	2	3	4	5	6	7
90	2	3	4	5	6	7
100	2	3	4	5	6	7
110	3	4	5	6	7	8
120	3	4	5	6	7	8
130	3	4	5	6	7	8
140	3	4	5	6	7	8
150	3	4	5	6	7	8
160	4	5	6	7	8	9
170	4	5	6	7	8	9
180	4	5	6	7	8	9
190	4	5	6	7	8	9
200	4	5	6	7	8	9
210	5	6	7	8	9	10
220	5	6	7	8	9	10
230	5	6	7	8	9	10
240	5	6	7	8	9	10
250	5	6	7	8	9	10
260	6	7	8	9	10	11
270	6	7	8	9	10	11
280	6	7	8	9	10	11
290	6	7	8	9	10	11
300	6	7	8	9	10	11



Fig. 14.- Estado de la barrera RXE-500 tras un impacto de altísima energía.

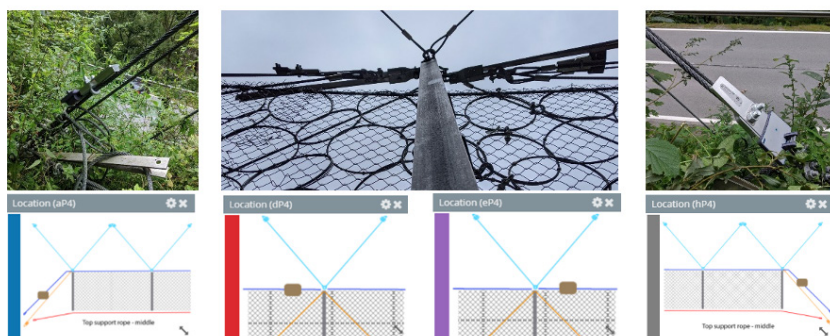


Fig. 15.- Posición de los dispositivos Guard dentro infraestructura de cables de la barrera.

duda una sobrecarga en el sistema, y deja claro por qué la mitad de la barrera se derribó tras ser fuertemente impactada.

Mientras en los puntos a la izquierda dP4 [~ 50 g] y cP4 [~ 10 g], lo cual implica que aunque se produjo un incremento en la aceleración, es inferior y debido al efecto de vibración del módulo vecino, mientras en cP4 [~ 0 g] no se observa movimiento alguno. Los datos medioambientales reflejan que el evento sucedió justo después de un empeoramiento de las condiciones meteorológicas.

6.2.- Impactos de diversa entidad en el campo de ensayos

Como parte del sistema de protección para la realización de los ensayos en el campo de prueba de Walenstadt en Suiza, hay varias barreras de apoyo colocadas en la zona superior de la cara de la cantera. La colocación de dispositivos Guard en ellas ha podido captar al menos un par de eventos de diversa entidad, que se pueden contrastar mediante fotografías (fig. 17). El primer caso se trata de un evento de poca entidad que ocurrió el día 20/02/2021 a las 19:06 h, donde la barrera capturó un bloque de aproximadamente 280 kg. El registro de aceleración pico fue de 5,5 g.

Con fecha 11 de abril de 2021, se pudo registrar en el mismo punto un desprendimiento de mayor entidad, esta vez de 17,3 g. Como se puede apreciar en la foto el volumen de materia capturado por la barrera es mucho mayor (fig. 18). Si bien es cierto que con los datos obtenidos a fecha de hoy, aun no hay capacidad estadística para poder asociar un valor de energía a los valores de aceleración, sin embargo en un futuro no lejano y en la medida que se disponga de mayor cantidad de eventos registrados, se podrá hacer una regresión y obtener algún tipo de correlación que permita incrementar el nivel de utilidad de la información aportada.

6.3.- Sensores de corrosión

Se trata de un conjunto de varias líneas de barreras flexibles para el control de la generación de avalanchas de nieve

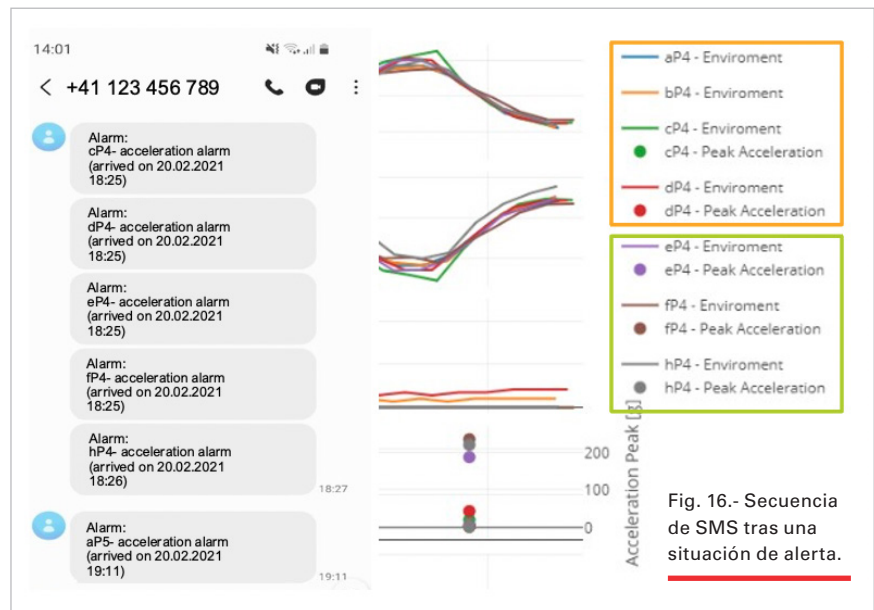


Fig. 16.- Secuencia de SMS tras una situación de alerta.



Fig. 17.- Impacto de aceleración 5,5 g sobre una de las barreras de apoyo a los ensayos de campo.

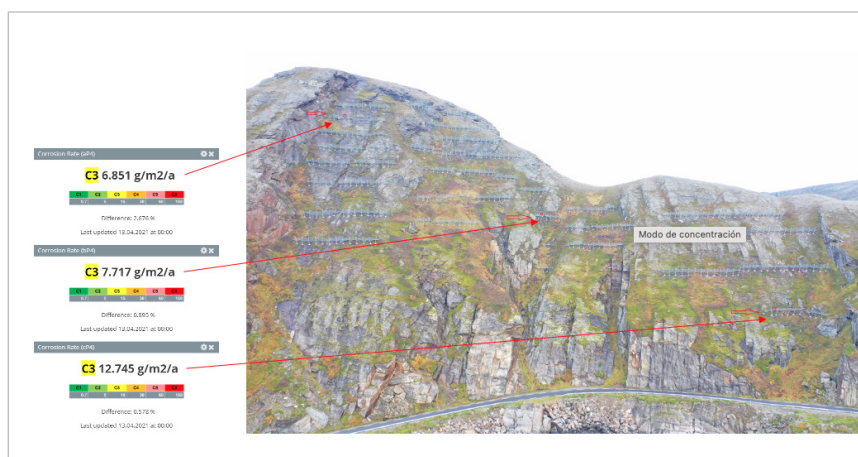


Fig. 18.- Impacto de mayor aceleración 17,3 g sobre la misma barrera.

(Spider AVA) emplazadas frente al mar en Noruega. En este caso el aporte está en la evaluación permanente y efectiva de la clase corrosiva. Como se puede apreciar en la figura 19, los valores medios de corrosión tras 6 meses de colocación de los dispositivos, es de C3 [6].

Los últimos avances tecnológicos permiten dar pasos certeros en la consecución de planes estratégicos de mantenimiento

Fig. 19.- Evaluación del ambiente corrosivo permanentemente, ejemplo de barreras de nieve.



Sin embargo es bastante esclarecedor cómo a pesar de estar dentro del mismo entorno, los sensores acusan mayor pérdida de recubrimiento lógicamente en la media que su ubicación se acerca al mar (debajo, en la figura 19). El dispositivo aP4 está ubicado en la segunda fila de barreras cerca de la coronación de la ladera (a la izquierda en la foto), el bP4 a media ladera sobre la línea 7 (al centro de la foto) y por último el cP4 se encuentra en la línea más cercana a la carretera y por ende al mar (a la derecha de la foto).

7.- CONCLUSIONES

La utilización de los últimos avances tecnológicos permite dar pasos certeros en la consecución de planes estratégicos de mantenimiento basados en datos reales permanentes.

El desarrollo de la tecnología que hay en el Guard, disponible para cualquier tipo de sistema de protección, ayuda la obtención de conocimiento, siguiendo patrones, y utilizando algoritmos de inteligencia artificial y minería de datos.

Se puede llegar al aprendizaje artificial; es decir, no solo se consigue caracterizar de forma efectiva los movimientos en masa, sino que se pueden llegar a obtener datos de calidad que ayuden al diseñador a ser mucho más efectivo en los procesos de dimensionamiento e ingeniería de soluciones.

Usando como fuente el conocimiento aprendido por los algoritmos, resultado del análisis del entorno cercano y la casuística. Los mapas de corrosión que pueden obtenerse como resultado de este tipo de soluciones, será en el futuro cercano una herramienta de mucho peso en manos de los agentes responsables, en todas las etapas: desde el diseño, pasando por la instalación en obra y terminando por la manutenzione. Todo ello teniendo una repercusión técnico - económica de gran alcance, para las entidades administrativas responsables. ■

REFERENCIAS

- [1] EN-ISO 12944-2:2018 Paints and Varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 2: Classification of environments
- [2] ISO 14713-1:2017 Zinc coatings — Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures — Part 1: General principles of design and corrosion resistance
- [3] ISO 9227:2017 Corrosion test in artificial atmospheres - salt spray test.
- [4] UNE-EN 60529:2018 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
- [5] [Eicher M. 2022. Remote System Monitoring. Romanshorn.
- [6] Geobrugg – WITg (2018-2020) Real time corrosion measurement according to ISO 14713-1 Development financed by Innosuisse (Swiss Innovation Agency).
- [7] Geobrugg 2020. Result of the test of Certification rockfall protection barrier type Rocco-2000 de 2000 kJ. Walenstadt, Suiza
- [8] Raïmat C. (2018) Dinámica y peligrosidad de las corrientes de derrubios: Aplicación en el Barranco de Erill, Pirineo Catalán. Tesis Doctoral. UPC. Barcelona

¹ WITg Institute for Materials System Technology Thurgau at the University of Applied Sciences Konstanz

² UNE EN 60529:2018 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

³ <https://www.efectoled.com/blog/es/guia-grado-de-proteccion-ip>

⁴ 4G red móvil diseñada específicamente para la IoT (Internet de las Cosas) que tiene dos versiones principales: Cat-M1 / Cat-M2