

GUÍA TECNOLÓGICA



SISTEMAS DE MONITOREO DE AMENAZAS NATURALES GRAVITACIONALES

GEOPREVENT
Räffelstrasse 28
8045 Zürich
Suiza

Tel. +41 44 419 91 10
info@geoprevent.com

Todos los derechos reservados
© 2022 GEOPREVENT AG, 2ª edición

Iniciado por los Ferrocarriles Federales Suizos (SBB).

Crédito de las fotos:

Instalaciones activas de GEOPREVENT

Suggested form of citation:

GEOPREVENT (2022): Sistemas de monitoreas para amenazas naturales gravitacionales, Zúrich, Suiza

ÍNDICE

1	Introducción a los sistemas de monitoreo	7
1.1	Tipos de sistema	8
1.2	Período de medición	9
1.3	Montaje de un sistema de monitoreo	10
1.4	Componentes de sistema	11
2	Procesos de amenazas naturales	13
2.1	Avalanchas	14
2.2	Inestabilidad de la roca/Caída de rocas	16
2.3	Inestabilidad de la roca/Caída de rocas	18
2.4	Flujos de lodo	20
2.5	Deslizamientos	22
3	Tecnologías	25
3.1	Análisis de deformación: Comparación de tecnología	26
3.2	Radar	28
3.2.1	Georadar interferométrico	29
3.2.2	Radar para avalanchas	30
3.2.3	Radar para desprendimiento de rocas	31
3.2.4	Radar de personas	32
3.2.5	Radar de medición de nivel fluvial	33
3.3	Escaner láser terrestre (LIDAR)	34
3.4	Óptico – Cámara de deformación	35
3.5	Otros	36
3.5.1	Medidor de fisuras	36
3.5.2	Geofónos y sensores sísmicos	37
3.5.3	Cuerda de activación	38
3.5.4	Sistema global de navegación por satélite (GPS)	39
4	Anexo	41
	Símbolos	41

INTRODUCCIÓN

Este manual sirve de resumen de los sistemas de monitores digitales de amenazas naturales gravitacionales disponibles y de instrumento de ayuda a la hora de elegir un sistema de monitoreo adecuado. El manual está estructurado en tres partes:

1 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE MONITOREO

Hay dos tipos de sistemas de monitoreo: sistema de aviso y de alarma. En la primera parte se describen ambos sistemas, sus ámbitos de aplicación y se proveen ejemplos de parámetros y tecnologías de medidas. Asimismo, se detalla la estructura de un sistema de monitoreo y sus componentes esenciales. Los sistemas de monitoreos son soluciones integrales continuas e incluyen sensores de medición permanentes en el área, alarmas en las zonas de peligro (ej.: cierre de carreteras) así como también la visualización de datos de medición en la plataforma en línea.

2 PROCESOS DE AMENAZAS NATURALES

Las amenazas naturales causadas por procesos gravitacionales incluyen inundaciones, avalanchas, deslizamientos, flujos de lodo, procesos de desprendimientos de piedras, bloques, rocas, montañas o hielo. La naturaleza de la amenaza define esencialmente el tipo de sistema de monitoreo con el que se combina el sistema de advertencia y alarma ante una concatenación del proceso. De este modo, un sistema completo puede incluir, por ej.: el monitoreo de una pared de piedra inestable (sistema de alerta) como así también otro sistema de alarma posicionado debajo para el flujo de lodo. Un ejemplo de esto es el equipo de monitoreo ubicado en el pueblo de Bondo, Suiza.

En la segunda parte del manual se presentarán y compararán posibles tecnologías de medición para procesos seleccionados. Las tecnologías no solo se distinguen por su tipo de función sino también por la cobertura territorial, exactitud de la medición o disponibilidad (Ej.: la influencia del clima). La selección de la tecnología corresponde así al actual sistema típico de monitoreo de amenazas naturales y no es limitativa.

3 TECNOLOGÍAS

En la tercera parte se presentarán en detalle las tecnologías expuestas en la segunda parte, se enumerarán proyectos de referencia y se indicarán las referencias para acceder a información adicional.

En el marco de un proyecto conjunto, se podrán complementar diferentes tecnologías o, en el caso de un cambio en la situación de peligro en un campo de monitoreo existente, se agregarán tecnologías adicionales. Como ya se ha afirmado, la selección de equipamiento tecnológico presentada no es definitiva.

¹ según la definición de los sistemas de vigilancia y alerta rápida en

- BAFU (2015). Vollzugshilfe Schutz vor Massenbewegungsgefahren
- Sättele M., Bründl M. (2015) Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Bundesamt für Bevölkerungsschutz/BABS, Bern



1 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE MONITOREO

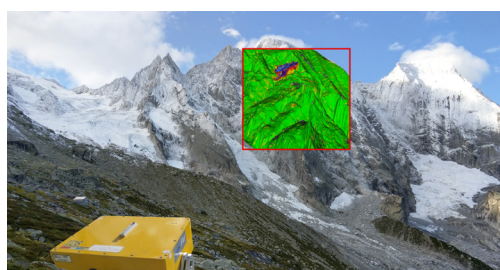


Cámara de deformación Ochsenstock, Suiza

1.1 TIPOS DE SISTEMAS

Generalmente, en lo referido a sistemas de monitoreo de amenazas naturales, se distinguen dos tipos de sistemas: un sistema de alerta y uno de alarma. Si un evento se anuncia, se monitorean las señales del sistema de alerta y se actúa en base al incremento de la urgencia. Si se trata de un proceso rápido sin indicios previos, se reconoce el suceso mediante un sistema de alarma y se introducen medidas automáticas inmediatamente.

	 SISTEMA DE ALERTA	 SISTEMA DE ALARMA
FUNCIÓN	Medición para signos de un suceso inminente	Reconocimiento automático de un suceso en sí
PLAZO DE DESARROLLO	Horas – semanas	Segundos – minutos
ACCIONES	Interpretación de resultados por expertos. Las posibles medidas se activan de forma “manual” (Ej.: evacuación)	Acciones inmediatas y automáticas, como, Ej., el cierre de carreteras, vías o evacuación (Ej. : obras en construcción)
APROPIADO PARA	Procesos naturales lentos y en desarrollo (superficies rocosas, desprendimientos)	Procesos naturales activados espontáneamente o de rápido desarrollo (Ej.: avalanchas, flujos de lodo)
PARÁMETROS DE MEDICIÓN	Deformación, precipitación, profundidad de la nieve, nivel fluvial, temperatura, actividad (Ej.: desprendimiento de roca, avalancha) temblor	Deformación, velocidad, presión, altura del flujo, nivel fluvial, temblor
TECNOLOGÍAS	• Georradar interferométrico • Cámara de deformación • Medidor de fisuras • Inclínometro y manómetro • Sensores de movimiento, GPS • Estaciones meteorológicas	• Radar de avalancha • Radar de desprendimiento de rocas • Radar de personas • Medición de nivel fluvial • Cuerda de activación
EJEMPLOS	• Monitoreo de roca permanente en Piz Cengalo, Bondo (Ver foto debajo) • Monitoreo deslizamiento en Moosfluh, la región de Aletsch	• Radar de avalancha con cierre de carreteras automático en Zermatt (Foto debajo) • Sistema de alarma por flujo de lodo en Spreitgraben



Radar interferométrico Piz Cengalo (Bondo), Suiza



Radar de avalanchas con cierre automático de sapo, Zermatt, Suiza

1.2 PERÍODO DE MEDICIÓN

Hay diferentes modalidades de funcionamiento para un sistema de monitoreo:

1. **Funcionamiento permanente y continuo** para riesgos constantes (agudos o latentes)
2. **Funcionamiento permanente y temporal**, circunstancial para riesgos transitorios (Ej.: obras en construcción)
3. **Funcionamiento periódico y de corto plazo** para mediciones individuales (Ej.: medición anual)

La elección de la modalidad del funcionamiento del equipo depende esencialmente del tipo de procesos de amenazas naturales, de la tecnología de monitoreo seleccionada como así también del tipo de área. El monitoreo de un problema grave requiere medidas frecuentes independientes de las condiciones de visibilidad predominantes (día/noche/condiciones meteorológicas). En el caso de procesos lentos, actuales y acrícos posiblemente basta con medidas ocasionales, en las cuales el intervalo de medición entre diario y anual puede fluctuar.

OTRAS EXIGENCIAS

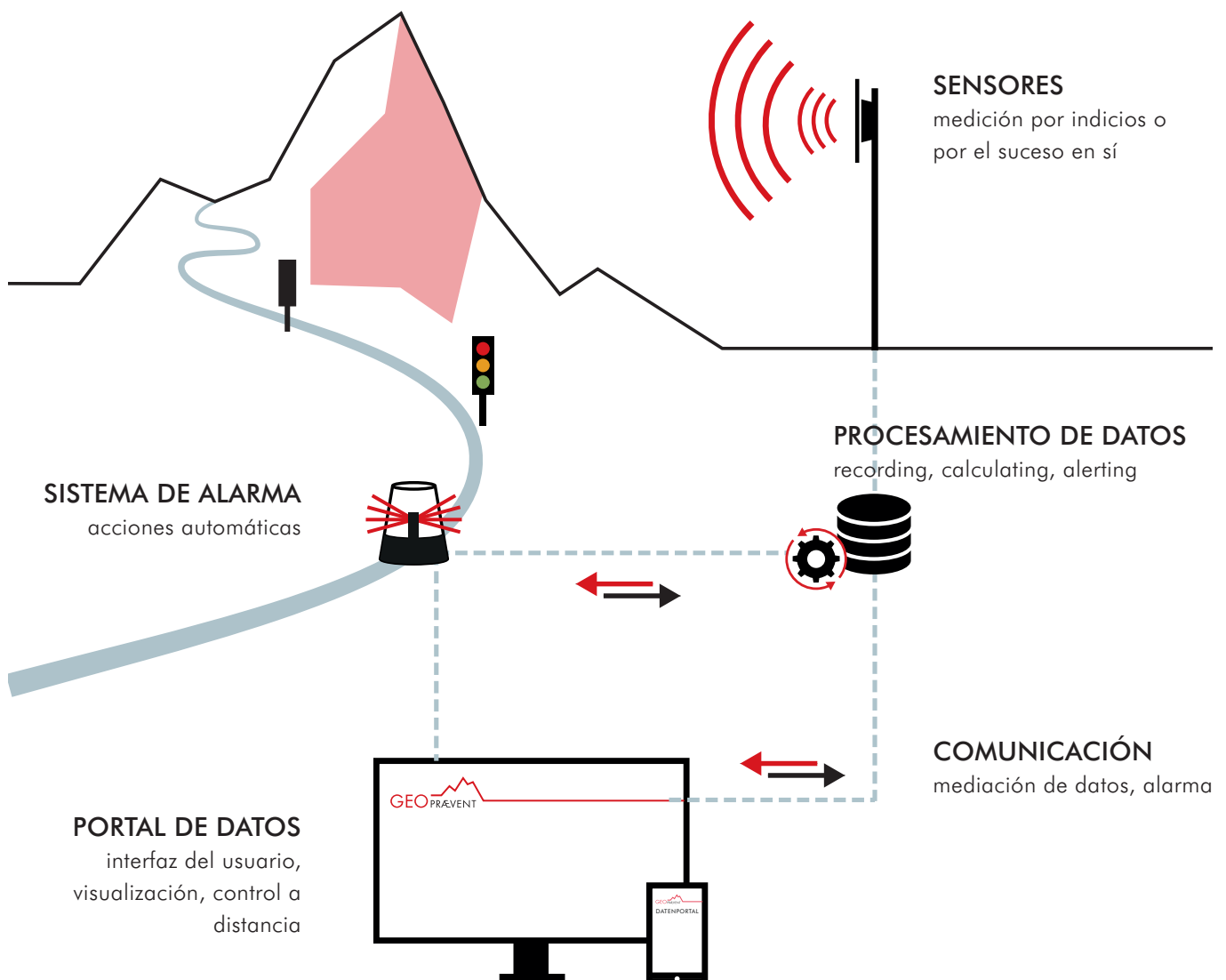
El equipo permanente conlleva otras exigencias para con el sistema de monitoreo que el equipo periódico. En primer lugar, la tecnología de monitoreo debe ser automatizable, es decir, la medición, el análisis y la transmisión de datos transcurren independientemente y el usuario puede consultar la información a través del portal de datos en línea. Además, se necesitará una fuente de electricidad autónoma y, si se requiere un alto nivel de disponibilidad, se necesitarán también componentes del sistema redundantes. Los sistemas de alerta deben poder ser utilizados a cada momento y, por consiguiente, ser operados permanentemente. Los sistemas de alerta pueden ser usados de manera permanente a largo plazo, temporaria o periódica.

	PERMANENTE A LARGO PLAZO	PERMANENTE CIRCUNSTANCIAL	PERIÓDICO A CORTO PLAZO
TIPO DE SISTEMA DE MONITOREO			
ANÁLISIS DE DATOS, TRANSFERENCIA Y PRESENTACIÓN	Procedimientos de selección y evaluación automatizados, transmisión de datos continúa con Live-Views, presentación en el portal de datos	Procedimientos de selección y evaluación automatizados, transmisión de datos continua con Live-Views, presentación en el portal de datos	Selección y análisis manual, sin acceso a los datos medidos a través del portal de datos, reporte de medición opcional
ZONA DE APLICACIÓN	Sitio frecuente para sistemas de monitoreo	En riesgo agudo, temporario generalmente con sistema de alerta	Solo para procesos lentos y no críticos
EJEMPLOS	Radar para avalanchas o caída de rocas para seguridad permanente en carreteras o vías de ferrocarril	Radar de medidas interferométricas para seguridad durante tareas de reordenación tras un suceso o en obras en construcción	Radar de medidas anuales con escáner laser e interferómetro de superficies rocosas para el reconocimiento de inestabilidades

1.3 MONTAJE DE UN SISTEMA DE MONITOREO

Un equipo de monitoreo es un sistema de solución constante y consta de diferentes componentes. Los sensores miden los parámetros físicos principales de los procesos de monitoreo (Ej.: la deformación de la superficie en mm/día o los valores del fluviómetro en m). El registrador de datos digitaliza los valores de medidas, los registra y realiza cálculos. Si se trata de un equipo de alarma, es el registrador de datos el que reconoce un suceso y activa la alarma (Ej.: semáforos/ barreras) y también avisa a la persona encargada por mensaje de texto, correo electrónico, radio, etc. Para todos nuestros equipos permanentes de monitoreo, se transfieren los valores completos de medición, las imágenes y análisis a la vista de usuario en el portal de datos en línea, el cual está protegido con una contraseña. Además, en este portal, los elementos del sistema, como Ej. las barreras o las cámaras, pueden ser controladas remotamente. Otro elemento importante del sistema de monitoreo es la comunicación, ya sea para transmisión de la señal de alarma o de los datos de medición o para el control remoto de los elementos del sistema. En función de las circunstancias locales, se debe efectuar un abastecimiento autónomo de energía para la totalidad del sistema.

Para el monitoreo permanente y fiable de amenazas naturales, cada componente debe resistir las condiciones inhóspitas en alta montaña, pasar exigentes pruebas del sistema y estar equipados con varios niveles de redundancia (sobre todo en los sistemas de alarma).



1.4 COMPONENTES DE SISTEMA



SENSORES

Diversa variedad de sensores a disposición. La elección depende del proceso, circunstancias locales y requerimientos de cliente. Ej.:

- **Mediciones locales:** medidor de fisuras, radar de nivel fluvial, geófono, GPS, sensores de movimiento y medidor de fuerza
- **Mediciones a distancia:** radar interferométrico, cámara de deformación, radar de avalancha y radar de caídas de rocas



REGISTRADOR DE DATOS (DATA LOGGER)

Digitalización de datos de medición, calculaciones, activación de la alarma.

Uso acorde a:

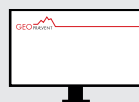
- La capacidad necesaria de cálculo y almacenamiento
- Frecuencia de medición
- Consumo de energía
- Lógica de alarma
- Exigencias ambientales (ej.: impermeable, resistente a temperaturas bajas)



ALERTA

Cierre automático de carreteras, vías de ferrocarril o evacuación de obras en construcción:

- Semáforos/ cierre de carreteras
- Sirenas para obras en construcción
- Aparatos de radio con auriculares para entornos ruidosos (ej.: excavadoras)
- Aviso por mensaje de texto, correo electrónico, llamada automática (servicio priorizado)
- Otras interfases (transmisión de alarma)



PORTAL DE DATOS

Una plataforma en línea protegida con contraseña con acceso para los usuarios desde una computadora, teléfono inteligente o tableta. Funcionalidad (dependiendo del sistema):

- Presentación de los valores de medición (series cronológicas)
- Análisis de deformación en un nivel elevado
- Mapa interactivo con presentación de los acontecimientos (ej.: en el caso de avalanchas)
- Live-Views, archivo de imágenes de la cámara
- Control remoto de barreras/cámaras



COMUNICACIÓN

Traspaso de datos entre sensores, data logger, alarma y servidor.

- Posibles canales de comunicación: GSM (Telefonía móvil), Wifi, fibra óptica, radio, Lora WAN (según el sensor)
- Para la alarma recomendamos utilizar, por razones de redundancia, dos canales de comunicación independientes
- Posible radio enlaces microondas propio



Radar de avalanchas Zermatt, Suiza



2 PROCESOS DE AMENAZAS NATURALES

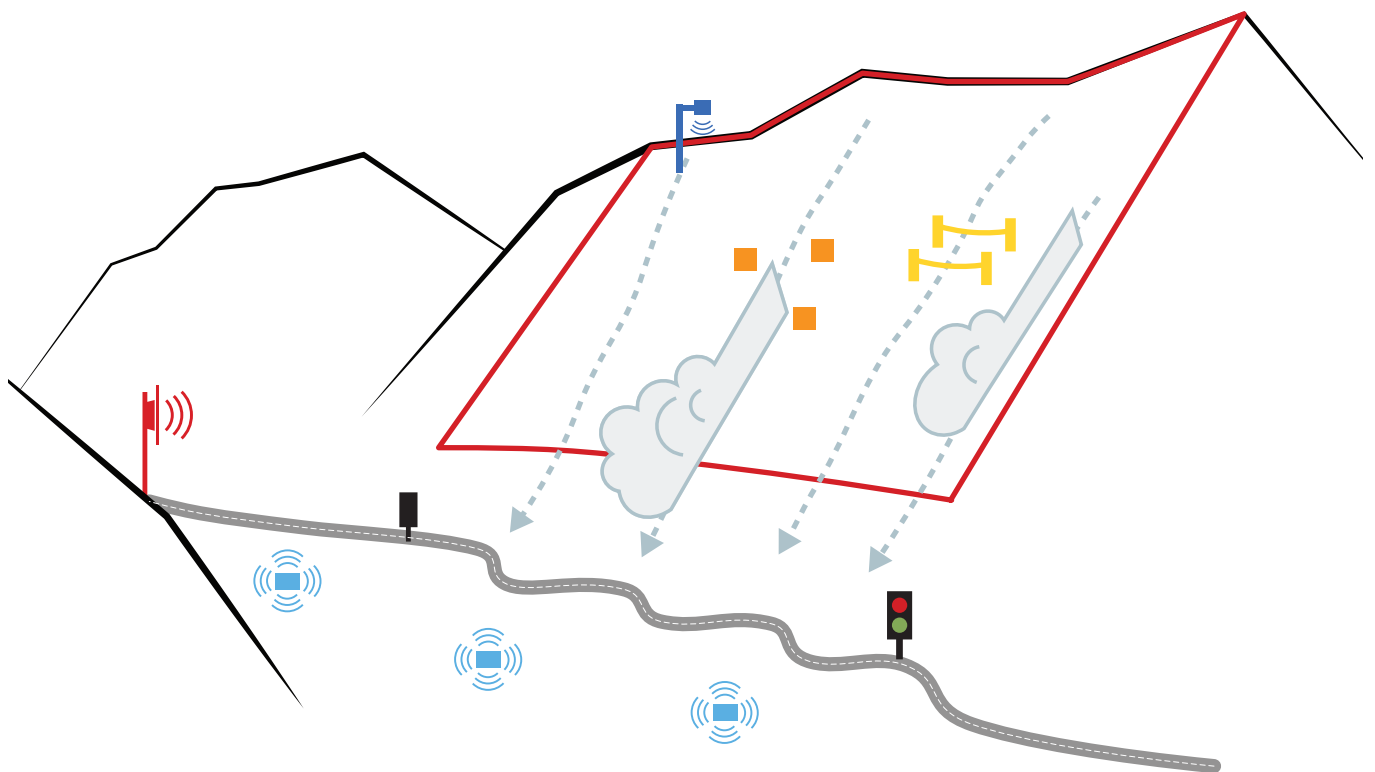


Caída de rocas Brienz/Birnzau (Suiza), Avalancha Ningunsaw pass (Canadá), Flujos de lodo Parghera (Suiza), Desprendimiento Moosfluh (Suiza)

2.1 AVALANCHAS



Las avalanchas son fenómenos repentinos y pueden ser difíciles de pronosticar. Un sistema de alarma con reconocimiento automático de una avalancha permite reconocerla con mayor antelación, es decir más arriba y cerrar secciones de carreteras y vías ferroviarias en peligro o evacuar obras en construcción. Asimismo, el sistema de detección automática de avalancha sirve para la verificación precisa de un desprendimiento artificial de avalancha, en especial en la oscuridad o en condiciones meteorológicas inhóspitas. Existen diversos métodos de detección apropiados según el caso de aplicación y exigencias del sistema de alarma.



RADAR DE AVALANCHAS

Un radar doble detecta masas de nieve en movimiento.



GEÓFONO / SISMOLOGÍA

Medición de temblor. Se reconoce la avalancha mediante el temblor generado.



CUERDA DE ACTIVACIÓN

La avalancha viaja por la caída del punto de ruptura y activa la alarma.



INFRASONIDO

La avalancha genera un infrasonido que se mide por los sensores en el valle.



PROFUNDIDAD DE LA NIEVE

Detección de caída repentina de la profundidad de la nieve en la zona de fisura.

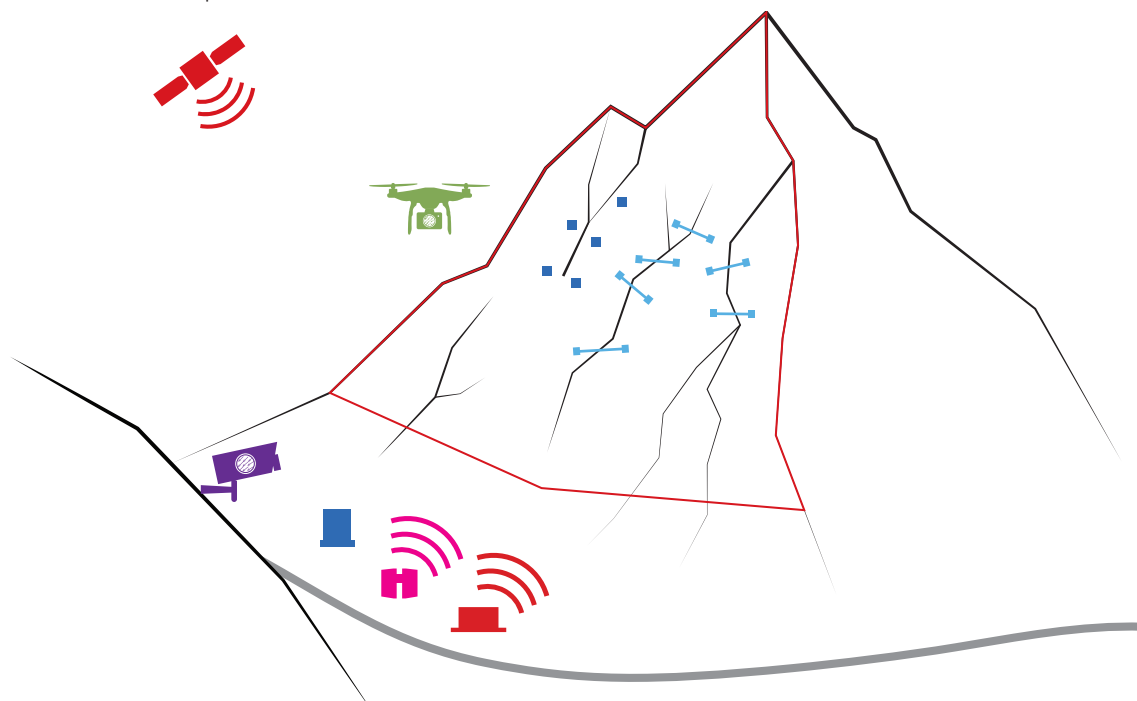
	 RADAR DE AVALANCHAS	 GEÓFONO/ SISMOLOGÍA	 CUERDA DE ACTIVACIÓN
TIPO	Medición a distancia, zonal	Medición local, puntual	Medición local, puntual
CUALIDADES	Amplia cobertura, rastreo de avalancha y mapeo	Apropiado para una trayectoria individual, canalizada de la avalancha	Simple, económico, para avalanchas de una trayectoria
COBERTURA TERRITORIAL	Más de una trayectoria de avalancha con un radar. Alcance: 5 km Cobertura: 10 km ²	Una trayectoria de avalancha con varios geófonos, grandes áreas con dispositivo Array sísmico	Una sola trayectoria de avalancha con varias cuerdas de activación
INFLUENCIAS CLIMÁTICAS	Funciona en todas las condiciones meteorológicas	Funciona en todas las condiciones meteorológicas	Funciona en todas las condiciones meteorológicas
LIMITACIONES	El área debe ser visible desde la ubicación del radar	- Mucha nieve puede disminuir la señal - Otros causantes de temblor (ej.: terremotos)	- Mayor cantidad de falsa alarma - La cuerda debe reemplazarse luego de cada acontecimiento
SISTEMA DE ALARMA	Aplicable	Aplicable	Aplicable

	 INFRASONIDO	 PROFUNDIDAD DE LA NIEVE
TIPO	Medición a distancia, zonal	Medición local, puntual
CUALIDADES	Amplia cobertura para monitoreo de actividad	Provee información sobre la profundidad de fractura
COBERTURA TERRITORIAL	Varias trayectorias de la avalancha con varios medidores	Un lugar en una senda de la avalancha
INFLUENCIAS CLIMÁTICAS	Tormenta (viento) reduce la sensibilidad	Según el sensor del medidor no es confiable en caso de nevada, tormenta o niebla
LIMITACIONES	No todas las avalanchas generan suficiente infrasonido (ej.: avalancha de nieve húmeda), condición climática	- Medición puntual - No es tecnología de detención - No aporta información del tamaño de la avalancha
SISTEMA DE ALARMA	No recomendada su utilización	No recomendada su utilización

2.2 INESTABILIDAD DE LA ROCA/CAÍDA DE ROCAS



El monitoreo de rocas se distingue entre procesos rápidos y lentos. Se entiende por procesos lentos la aceleración de zonas inestables en períodos de tiempos prolongados (horas – años), mientras que los procesos rápidos son el derribo en sí, es decir, para que la caída de rocas conjunto se constituya. Esta parte explica los diferentes métodos para reconocer zonas inestables dentro de grandes superficies rocosas como así también su monitoreo a largo plazo. Así el monitoreo puede efectuarse de manera permanente (para inestabilidades graves) o periódica (para problemas que no sean urgentes). El monitoreo a distancia permite examinar grandes áreas a una distancia segura mientras que las mediciones locales nos proporcionan información puntual sobre la inestabilidad.



RADAR INTERFEROMÉTRICO

Exploración de la superficie rocosa con el radar interferométrico para el reconocimiento de deformaciones. Apoyo terrestre o satelital.



LIDAR TERRESTRE

Exploración de la superficie rocosa con láser para el reconocimiento de deformaciones.



CÁMARA DE DEFORMACIÓN

Análisis de imágenes automatizado. Basado en tomas fotográficas de alta resolución para el reconocimiento de deformaciones.



ESTACIÓN TOTAL

Medida de posición puntual de puntos específicos mediante un rayo reflectante.



MEDIDOR DE FISURAS

Medida puntual del ancho de una fisura (tele medidor de junta, TJM) o del movimiento de la roca subterráneo (extensómetro ETM).



TECNOLOGÍAS DEL FUTURO: Las mediciones móviles con drones se utilizan cada vez más para diversas tecnologías (cámaras, lidar, radar). Sin embargo, todavía se están desarrollando análisis automáticos fiables que aún no están listos para el mercado.

	 RADAR INTERFEROMÉTRICO	 SATÉLITE GEORADAR INTERFEROMÉTRICO	 LIDAR TERRESTRE
TIPO	Medición a distancia, zonal	Medición a distancia, zonal	Medición a distancia, zonal
PRECISIÓN*	Sub-milimétrica	Unos mm–cm	Unos cm
ÁREA DE COBERTURA	Área de alcance: hasta 5 km Superficie: varios km ²	Ladera oeste/este (no aplicable para exposiciones norte/sur)	Área de alcance: hasta 4 km Superficie: varios km ²
DISPONIBILIDAD	Siempre (niebla, lluvia, nieve, día/noche), rápida instalación	Según los intervalos de recurrencia del satélite, mediciones pasadas disponibles	Solo en condiciones meteorológicas favorables (sin niebla, lluvia, nieve), rápida instalación
SERVICIO	Permanente/periódico	Periódico	Periódico
LIMITACIONES	• Vegetación • Nieve • Reflexiones (ej.: en redes de protección)	• Cobertura a veces problemática • Intervalos de recurrencia demasiado largo para problemas graves • Nieve	• Difícil evaluación automática • Inusual medición permanente • Nieve

	 CÁMARA DE DEFORMACIÓN	 ESTACIÓN TOTAL	 MEDIDOR DE FISURAS
TIPO	Medición a distancia, zonal	Medición a distancia, puntual	Medición local, puntual
PRECISIÓN*	Unos cm	Unos mm	Sub-milimétrica
ÁREA DE COBERTURA	Área de alcance: hasta 5 km Superficie: varios km ²	Área de alcance: varios km Superficie: varios km ²	Arbitraria. En grandes extensiones muchos aparatos son necesarios
DISPONIBILIDAD	Solo con visibilidad (buen tiempo, de día), rápida instalación	Solo con visibilidad (buen tiempo, día/noche)	Siempre (niebla, lluvia, nieve, día/noche)
SERVICIO	Permanente/periódico	Permanente/periódico	Permanente/periódico
LIMITACIONES	• Suficiente contraste para el análisis de imágenes • No apto para inestabilidades agudas	• Aseveración puntual • En zonas inestables se requiere una instalación de retrovisión • Eventualmente medición no posible ante un auto desplazamiento de la inestabilidad	• Aseveración puntual • Instalación en zonas de riesgo • Eventualmente medición no posible ante un auto desplazamiento de la inestabilidad

* El análisis de la deformación depende de la distancia de medición.

2.3 INESTABILIDAD DE LA ROCA/CAÍDA DE ROCAS



Esta sección trata los procesos rápidos en el monitoreo de rocas. Mediante un sistema de alerta para caída de piedras, se puede cerrar ejes de transporte en tiempo real o evacuar obras en construcción. La detección automática de caída de piedras se implementará para observación de una zona inestable. Para un sistema de alarma se requiere principalmente suficiente tiempo de advertencia entre la detección del suceso y la retirada de la zona de riesgo, ej.: terrenos derivados en calle. En ciertos casos, es razonable la combinación de soluciones de monitoreo para procesos lentos y rápidos.



RADAR PARA CAÍDA DE ROCAS

Un Radar doble escanea la zona permanentemente y detecta bloques de rocas en movimiento.



SENSOR SÍSMICO

Un sensor sísmico reconoce la caída de rocas mediante el temblor generado.

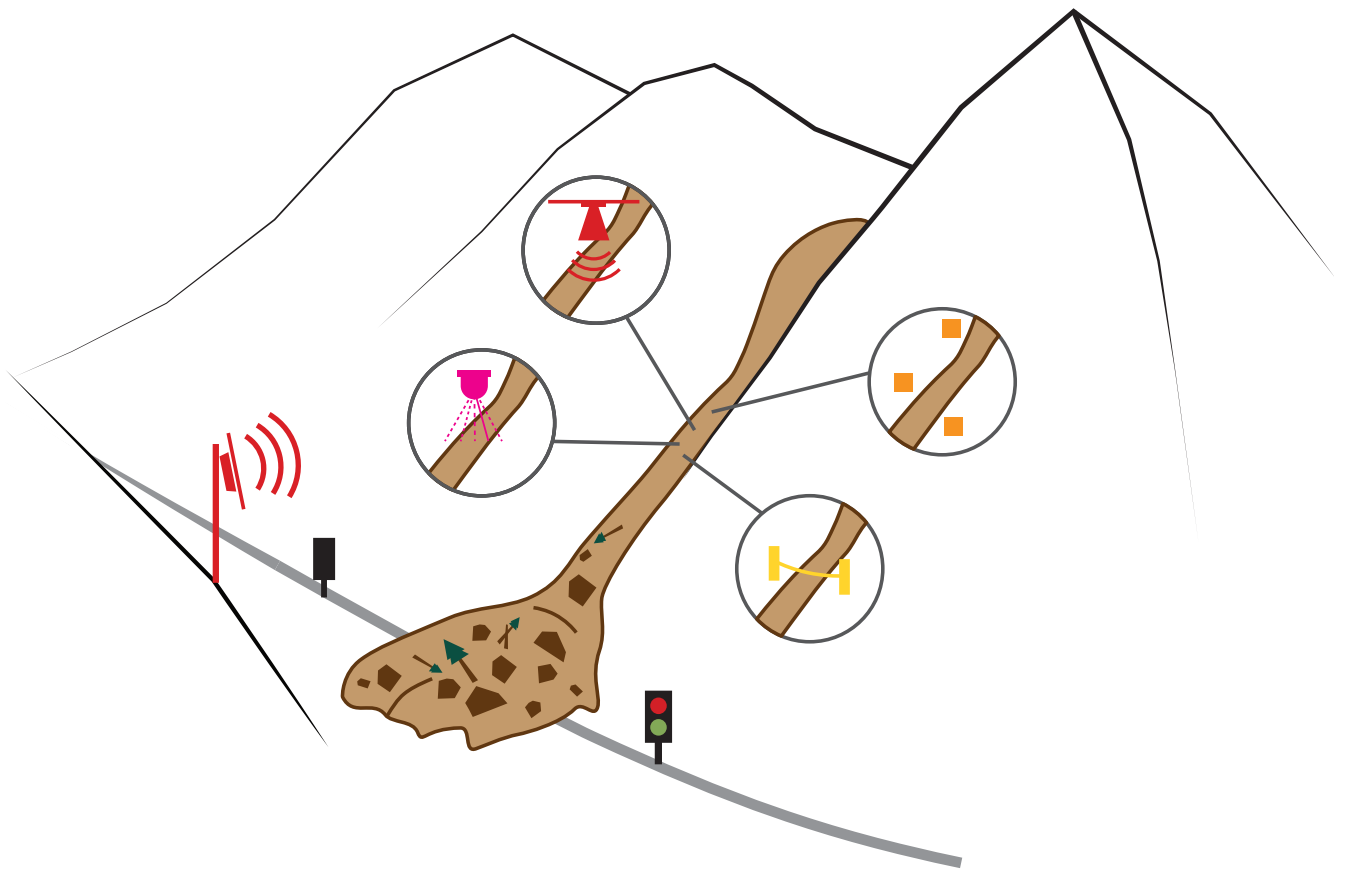
	 RADAR PARA CAIDA DE ROCAS	 SENSOR SÍSMICO
TIPO	Control remoto, zonal	Medición local, zonal
CARACTERÍSTICAS	Localización, rastreo y mapeo del suceso	Amplia cobertura, conexión visual innecesaria
SENSIBILIDAD	Hasta 0.1 m ³ en 100 m, 1 m ³ en 1 km	Inferior al radar, dependiendo de la situación*
ÁREA DE COBERTURA	Zona de alcance: hasta 4 km, Superficie: varios km ²	Zona de alcance: hasta 20 km, dependiendo de la situación*
INFLUENCIAS CLIMÁTICAS	Funciona en toda situación climática	Funciona en toda situación climática
LIMITACIONES	• El área debe ser visible desde la ubicación del radar • Retrovisiones (ej.: en redes de protección)	• Muchos factores de perturbación (ej.: helicóptero)
SISTEMA DE ALERTA	Aplicable	No recomendada su utilización
ACTIVIDAD DE OBSERVACIÓN	Aplicable	Aplicable

* Depende del subsuelo, la distancia, los sensores sísmicos empleados y el tamaño del acontecimiento.

2.4 FLUJOS DE LODO



Los flujos de lodo pertenecen a los procesos de desarrollo más rápidos y requieren de un sistema de alarma con acciones automáticas, como por ejemplo el cierre de carreteras o la evacuación de una obra en construcción en alerta. Existen diversos métodos para la detección de un flujo de lodo, la mayoría de los cuales son soluciones instaladas en o sobre el barranco. Un flujo de lodo es una corriente de barro, material pedregoso y agua con una superficie mayormente turbia, no clara, lo que dificulta la medición. Para la medición remota, una buena visibilidad es apropiada en el canal del radar de flujo de lodo, que posibilita la cobertura de grandes áreas con un solo sensor.



RADAR DE NIVEL FLUVIAL

Medición a distancia de radar de nivel fluvial al arroyo; detención de flujo de lodo ante el aumento rápido del nivel.



GEÓFONO

El flujo de lodo es reconocido mediante el temblor generado en la zanja.



CUERDA DE ACTIVACIÓN

El flujo de lodo rasga la cuerda en el punto de ruptura y activa la alarma.



LÁSER

Medición del nivel fluvial o escaneo del perfil de la zanja con láser; detección de flujo de lodo ante cambio rápido.



RADAR DE FLUJO DE LODO

Radar doble reconoce el movimiento de masas en la zanja a distancia y activa la alarma.

	 RADAR DE NIVEL FLUVIAL	 GEÓFONO	 CUERDA DE ACTIVACIÓN
TIPO	Medición local, puntual	Medición local, puntual	Medición local, puntual
CARACTERÍSTICAS	Monitoreo constante del nivel del arroyo	Sensores robustos, no se necesita una instalación sobre la zanja	Solución simple y económica
ÁREA DE COBERTURA	Mínimo 2 radares de nivel para una zanja (redundancia) Zona de alcance del sensor: 50 m aprox.	Mínimo 2 geófonos para una zanja (redundancia)	Mínimo 2 cuerdas de activación para una zanja (redundancia)
INFLUENCIAS CLIMÁTICAS	Funciona en toda situación climática (niebla, lluvia, nieve, día/noche)	Funciona en toda situación climática (niebla, lluvia, nieve, día/noche)	Funciona en toda situación climática (niebla, lluvia, nieve, día/noche)
LIMITACIONES	• Visibilidad acotada en zona de arroyo	• Ninguna información del nivel fluvial • Calibración necesaria tras un acontecimiento • La señal depende del tipo de flujo de lodo	• Ninguna información del nivel fluvial • La cuerda debe ser reemplazada tras un acontecimiento
SISTEMA DE ALARMA	Aplicable	Recomendación condicionada*	Aplicable

	 LÁSER	 RADAR DE FLUJO DE LODO
TIPO	Medición local, puntual	Medición remota, zonal
CARACTERÍSTICAS	Monitoreo constante del nivel y perfil de arroyo	Localización, rastreo y mapeo en el portal de datos
ÁREA DE COBERTURA	Zona de alcance: hasta 30 m aprox.	Zona de alcance: hasta 4 km, Superficie: varios km ²
VENTAJAS	A distancia cortas: En toda condición climática	Funciona en toda situación climática (niebla, lluvia, nieve, día/noche)
LIMITACIONES	• El láser no mide fiablemente en lluvia o niebla, como tampoco en superficies turbulentas	• Debe ser visible dentro de la zanja. Reflexiones (ej. En obras)
SISTEMA DE ALARMA	Recomendación condicionada	Aplicable

OBSERVACIONES REDUNDANCIA:

Recomendamos según la tecnología de empleo varios sensores por las siguientes razones:

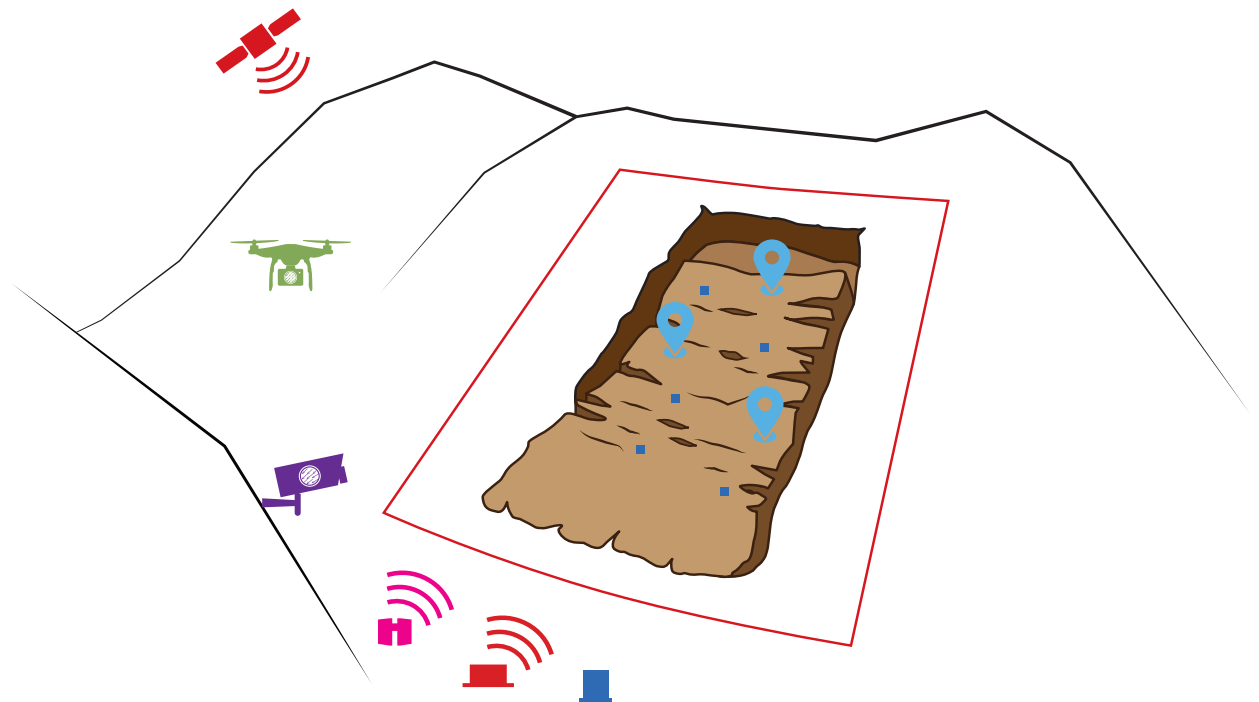
- - Cobertura del total del barranco/zona de zanjas anchas (ej.: radar de nivel fluvial, cuerda de activación)
- Fuente de interferencia; la señal de un sensor no es lo suficientemente fiable (ej.: con geófonos)
- Combinación de dos sensores diferentes y de tecnologías independientes

2.5 DESLIZAMIENTOS



Al igual que en el caso de inestabilidades en zonas rocosas, se monitorean a largo plazo las zonas inestables en busca de deslizamientos para reconocer un aceleramiento a tiempo.

Los movimientos en ladera, como fluencias, deslizamientos o flujos pertenecen a los procesos lentos donde la aplicación de un sistema de alerta es sensata. Para el monitoreo de deslizamientos existen diferentes métodos: desde detección remota con radar sobre vuelos de drones con LiDAR hasta la localización por GPS de más puntos de medición en un área de deslizamiento. De manera opcional, se pueden enviar una alerta automática en el caso de sobrepaso de los niveles umbrales (ej.: velocidad de deslizamiento de un sector).



RADAR INTERFEROMÉTRICO

Exploración de la superficie rocosa con el radar interferométrico para el reconocimiento de deformaciones. Apoyo terrestre o satelital.



LIDAR TERRESTRE

Exploración periódica de la zona de deslizamiento con láser para el reconocimiento de deformaciones.



CÁMARA DE DEFORMACIÓN

Análisis de imágenes automatizado. Basado en tomas fotográficas de alta resolución para el reconocimiento de deformaciones.



ESTACIÓN TOTAL

Medida de posición puntual de puntos específico mediante un rayo reflectante.



SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GPS)

Medida de posición puntual de puntos específicos con GPS y estación de referencia de GPS.



TECNOLOGÍAS DEL FUTURO: Las mediciones móviles con drones se utilizan cada vez más para diversas tecnologías (cámaras, lidar, radar). Sin embargo, todavía se están desarrollando análisis automáticos fiables que aún no están listos para el mercado.

 RADAR INTERFEROMÉTRICO  SATÉLITE GEORRADAR INTERFEROMÉTRICO  LIDAR TERRESTRE			
TIPO	Medición a distancia, zonal	Medición a distancia, zonal	Medición a distancia, zonal
PRECISIÓN*	Sub-milimétrica	Unos mm—cm	Unos cm
ÁREA DE COBERTURA	Área de alcance: hasta 5 km Superficie: varios km ²	Ladera oeste/este (no aplicable para exposiciones norte/sur)	Área de alcance: hasta 4 km Superficie: varios km ²
DISPONIBILIDAD	Siempre (niebla, lluvia, nieve, día/noche), rápida instalación	Según los intervalos de recurrencia del satélite, mediciones pasadas disponibles	Solo en condiciones meteorológicas favorables (sin niebla, lluvia, nieve), rápida instalación
SERVICIO	Permanente/periódico	Periódico	Periódico
LIMITACIONES	• Vegetación • Nieve • Reflexiones (ej.: en redes de protección)	• Vegetación • Nieve • Cobertura a veces problemática • Intervalos de recurrencia demasiado largos para problemas graves	• Vegetación • Nieve • Difícil evaluación automática • Inusual medición permanente
 CÁMARA DE DEFORMACIÓN  ESTACIÓN TOTAL  SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GPS)			
TIPO	Medición a distancia, zonal	Medición a distancia, puntual	Medición local, puntual
PRECISIÓN*	Unos cm	Unos mm	1 cm aprox.
ÁREA DE COBERTURA	Área de alcance: hasta 5 km Superficie: varios km ²	Área de alcance: varios km Superficie: varios km ²	Arbitraria. En grandes extensiones muchos aparatos son necesarios
DISPONIBILIDAD	Solo con visibilidad (buen tiempo, de día), rápida instalación	Solo con visibilidad (buen tiempo, día/noche)	Siempre (niebla, lluvia, nieve, día/noche)
SERVICIO	Permanente/periódico	Permanente/periódico	Permanente/periódico
LIMITACIONES	• Vegetación • Nieve • Suficiente contraste • No apto para inestabilidades agudas	• Vegetación • Nieve • Solo información puntual sobre deslizamiento • Instalación en zonas de riesgo	• Solo información puntual sobre deslizamiento • Instalación en zonas de riesgo • Visibilidad del satélite (valles estrechos)

* el análisis de la deformación depende de la distancia de medición.



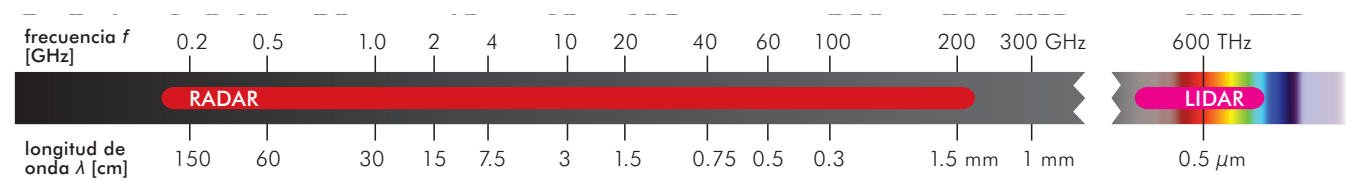
3 TECNOLOGÍAS

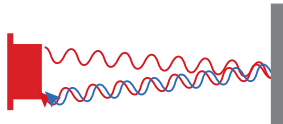
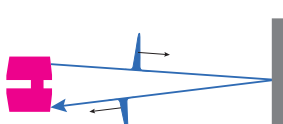
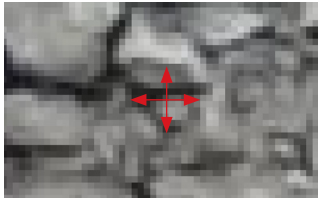
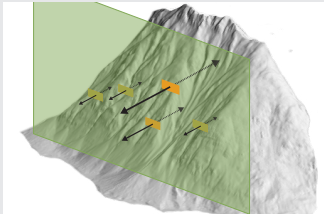
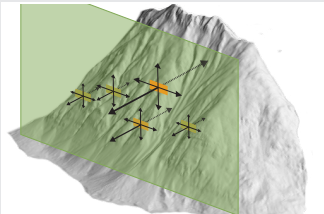
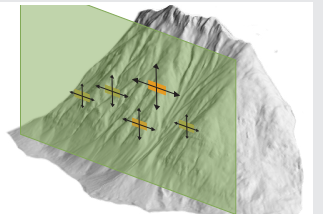


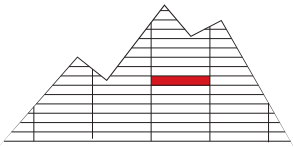
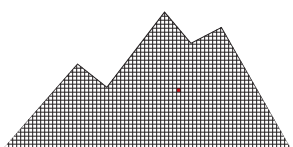
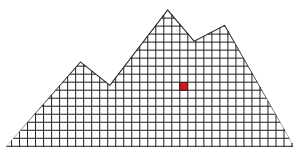
Radar autónomo de avalanchas Gonda, Suiza

3.1 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN: COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍA

Con la ayuda del análisis de la deformación se pueden reconocer movimientos zonales de rocas y de glaciares a distancia, así como hacer un seguimiento a largo plazo. El análisis se basa siempre en la comparación de mediciones (o la toma de imágenes) en intervalos de tiempo determinados. La siguiente tabla presenta una vista general de las tecnologías más usadas (radar, LiDAR, cámara) para la investigación de deformaciones en zonas de peligros naturales. Además, todas usan rayos electromagnéticos, pero en distintos rangos de frecuencias:



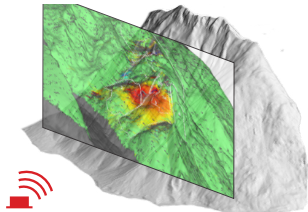
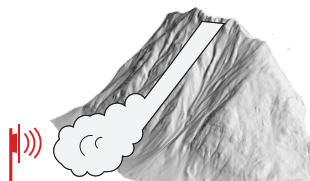
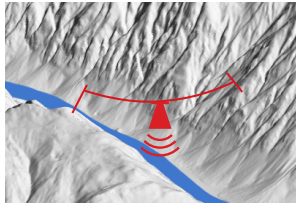
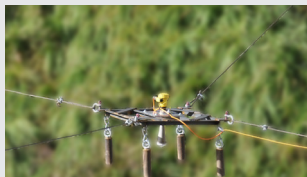
	GEORRADAR INTERFEROMÉTRICO	LIDAR TERRESTRE	CÁMARA DE DEFORMACIÓN
TIPO	Medición a distancia relativa, 2D (con modelo de elevación 3D)	Medición a distancia absoluta, 3D	Medición a distancia relativa, 2D (con modelo de elevación 3D)
FRECUENCIA / LONGITUD DE ONDA	Microondas (17 GHz)	Infrarrojo cercano (800–1600 nm)	Luz visible (380–780 nm)
PRINCIPIO DE MEDICIÓN (SIMPLIFIED)	 El radar mide la fase de la microonda reflejada. → La roca se mueve → Medición nueva de la misma ubicación → Cambio de la fase de microondas → Comparación entre las mediciones y el cálculo de la deformación	 El Lidar mide la duración del pulso de luz. → Distancia hasta la roca → Georreferenciación, clasificación, etc. → Modelo de elevación/ Nube de puntos → Comparación entre dos nubes de puntos y el cálculo de deformación	 Imágenes en alta resolución (42 Megapíxeles) de la roca o glaciar. → Comparación de dos imágenes a través del ajuste de paquetes de píxeles → Cálculo de la deformación
DIRECCIÓN DE MOVIMIENTO MEDIDO	 Dirección visual del radar	 Dirección visual y plano transversal	 Plano transversal de la dirección visual

	GEORRADAR INTERFEROMÉTRICO	LIDAR TERRESTRE	CÁMARA DE DEFORMACIÓN
RESOLUCIÓN ESPACIAL (1 km de distancia, 45° grados de inclinación)*	 1 m x 4.4 m	 ca. 20 cm x 20 cm	 ca. 2 m x 2 m
CLIMA (Funciona en)			
LA ATMÓSFERA	La Atmósfera (es decir: humedad de aire, presión atmosférica, temperatura, viento, turbulencia) influye a la propagación de ondas electromagnéticas. Según el largo de la onda se marca con intensidad diferente y puede ser más o menos bien corregida. Los cambios atmosféricos provocan errores por milímetros. En áreas de estabilidad media se puede mayormente corregir. Debido a la corta longitud de onda (LiDAR y luz visible en un sector comparable), la influencia atmosférica puede producir un error de más centímetros, lo que corresponde al múltiplo de la longitud de onda. En las zonas consideradas de estabilidad media se pueden corregir los errores. Sin embargo, esto conduce a una pérdida en la precisión del análisis de la deformación.		
REFLECTIVIDAD	Muy buenos resultados en rocas y glaciares. En subsuelo suelto (ej.: Roca suelta, vegetación) se pierde la coherencia y con eso la comparabilidad de la medición.	Muy buenos resultados en todos los objetos masivos. No funciona para el agua (transparente) o la nieve (absorbente).	Como el ojo humano.
PRECISIÓN DEL ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN*	0.5–2 mm (en dirección visual)	1–10 cm (en dirección visual y también plano transversal)	1–10 cm (en plano transversal a la dirección visual)
UTILIZACIÓN RECOMENDADA	Para el monitoreo permanente/ periódico de pequeñas deformaciones independientes de las condiciones meteorológicas. (mm por día hasta varios años) Ej. En Inestabilidades críticas.	Para mediciones periódicas para calcular grandes movimientos en lapsos de tiempo prolongados (>10 cm) y para la estimación del volumen. Para (MDT) en el de que no haya.	Para inestabilidades no críticas y donde las condiciones meteorológicas permiten un monitoreo rentable a largo plazo (reconocer un cambio de la situación/aceleración).

* En condiciones óptimas. La resolución depende de los aparatos y la distancia. Es decir, depende de los objetos y lentes utilizados.

3.2 RADAR

Radar significa en inglés Radio Detection And Ranging, o sea, Detección y Localización por Radio. Se refiere a distintos procedimientos de detección y localización. Un equipo de radar emite ondas electromagnéticas agrupadas en un sector de microondas las cuales se reflejan en un objeto y son recibidas con un aparato y luego evaluadas bajo diferentes criterios. Así, el radar funciona independientemente de las condiciones de visibilidad predominantes, de día/de noche, con niebla o nieve. Para el monitoreo de amenazas naturales se emplean los siguientes tres tipos de radares:

	GEORADAR INTERFEROMÉTRICO	DOPPLER RADAR	RADAR DE MEDICIÓN DE NIVEL FLUVIAL
TIPO	Medición remota, zonal	Medición remota, zonal	Medición local, puntual
FRECUENCIA*	17 GHz	10 GHz	24 GHz
PRINCIPIO DE MEDICIÓN (SIMPLICADO)	 El radar interferométrico mide la fase de las microondas reflejadas. Si se cambia, se reconocen las más pequeñas deformaciones en la superficie.	 El radar Doppler hace uso del efecto Doppler en objetos en movimiento y puede distinguir entre objetivos estacionarios y en movimiento, seguirlos y medir su velocidad.	 El radar de nivel envía impulsos de radiocortos en dirección a la superficie donde se reflejan y son recibidos de nuevo por el sistema de radar. En la duración se calcula la distancia a la superficie.
USO	Análisis de deformación de inestabilidad de roca y glaciares con precisión sub milimétrica.	Detección automática con alerta de los movimientos de masas, como avalanchas, caída de rocas, flujo de lodo o también movimientos de personas.	Detección automática de flujos de lodo, marejadas o inundación con alerta.
MÁS INFORMACIÓN	Page 29	Page 30, 31, 32	Page 33
IMAGEN DE MUESTRA DE UNA ESTACIÓN ACTIVA	 Radar interferométrico Piz Cengalo (Bondo), Suiza	 Radar de avalanchas Gonda, Suiza	 Radar de medición de nivel fluvial Bondo, Suiza

* (Gama de) frecuencia de los aparatos radares que utilizamos.

3.2.1 GEORRADAR INTERFEROMÉTRICO

El sistema de georradar interferométrico es apropiado para el monitoreo de grandes superficies de rocas o glaciares con inestabilidad desconocida y aportan un valioso entendimiento sobre zonas inestables. Con la ayuda del georradar se pueden monitorear constantemente grandes inestabilidades a una distancia segura independientemente del clima y parte del día y se pueden identificar derribos tempranamente.

VENTAJAS

- **Grandes superficies, monitoreo a distancia muy confiable** de paredes rocosas y glaciares
- Reconocimiento de deformaciones con **precisión sub milimétrica**
- **Reconocimiento temprano** de derribos de roca o glaciar, incluyendo estimación del derribo (superficie, volumen)
- Análisis extra de **movimientos lentos (milímetro por semana hasta año)** por medio del software de Geopraevent es posible
- Alcance hasta **4 km**, superficie de más de **5 km²**
- **Independiente del clima** (lluvia, nieve, niebla) y parte del día (día/noche) y apropiado para zona de montaña
- Mediciones **permanentes o periódicas** posibles (según la urgencia del peligro). Instalación rápida.
- En el **portal en línea de datos de Geopraevent** pueden encontrarse los datos de medición completos, los análisis las imágenes de la webcam (mediciones permanentes)

LIMITACIONES

- Cobertura (como por ejemplo vegetación, redes de protección y nieve) no es transparente para el radar e interfiere con la medición
- Se puede medir solo el componente del movimiento en la dirección del haz del radar

PROYECTOS DE REFERENCIA

Bondo, Suiza: Monitoreo permanente de Piz Cengalo desde el desplome de montaña en 2017. Análisis extra del movimiento lento (milímetros en meses). Pronóstico correcto de varios eventos de menor magnitud.

Glaciar Weissmies, Suiza: La cámara de deformación reconoció una rápida aceleración del glaciar colgante. Instalación inmediata del georradar y pronóstico correcto del derribo del 10 de septiembre del 2017.

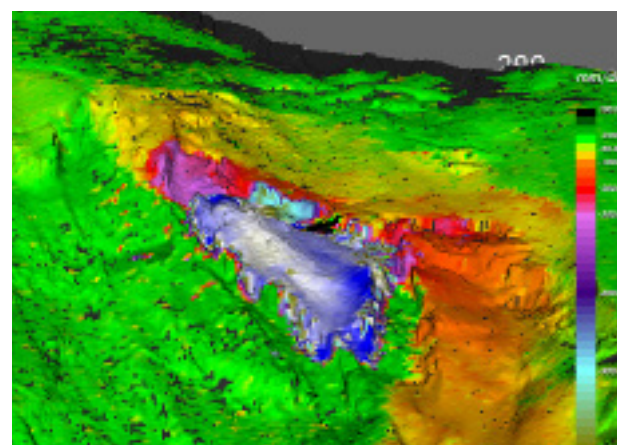
Preonzo, Suiza: Monitoreo breve de la inestabilidad y pronóstico correcto del desplome de montaña del 10 de mayo del 2012.

Desprendimiento de Barry Arm y peligro de tsunami, Alaska, EE.UU: Vigilancia autónoma de un talud inestable con riesgo potencial de tsunami. Instalación remota con estación de radioenlace para la comunicación.

Tipo de sistema	
Distancia/ cobertura	
Clima	
Resolución	
Precisión del análisis de la deformación	 0.5–2 mm
Costos	
Apropiado para monitoreo	



Radar interferométrico a 5 km de distancia Chli Windgällen, Suiza (arriba), Weissmies glacier (Saas Fee), Suiza (abajo)



3.2.2 RADAR PARA AVALANCHAS

El radar para avalancha es un sistema para el reconocimiento automático y rastreo de avalancha independientemente de las condiciones de visibilidad predominantes. Rastrea ininterrumpidamente la ladera en cuestión luego del comienzo de la avalancha y alerta a través de una detección automática con un cierre de carreteras, por ejemplo.

VENTAJAS

- Tecnología de detección muy confiable con **gran cobertura de área (hasta 10 km²) y alcance (5 km)** (único mundialmente)
- Cobertura de **más de un sector de la avalancha** con un solo radar (único mundialmente)
- **Independiente del clima** (lluvia, nieve, niebla) y parte del día
- **Activación de alarma automática** en tiempo real (ej.: cierre de carreteras con semáforos y barreras)
- **Reapertura automática** al detectar que no hay peligro (único mundialmente)
- **Clara representación cartográfica** de la avalancha con camino, tamaño, velocidad y fotos (a la vista)
- Acceso a los datos completos de la avalancha, (cámaras en vivo) Live-views en la zona de peligro y manejo de las barreras/señales a través del **portal de datos en línea de Geopraevent**
- Integración con **teléfono inteligente y tableta**

LIMITACIONES

- Resultados solo del área objetivo del radar. Las zonas aledañas no se pueden observar
- El suceso debe tener un cierto tamaño (los paquetes de nieve individuales son muy pequeños) y debe tener una duración mínima de un par de segundos

PROYECTOS DE REFERENCIA

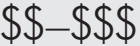
Zermatt, Suiza: Seguridad de la carretera de acceso con cierre de calle automático. Opera desde el 2015, el primer sistema de este tipo en el mundo.

Holmbuktura, Noruega: Una gran pendiente con 4 trayectorias de avalancha en hasta 3.5 Km de distancia con un radar. Funciona desde el invierno de 2019/2020 con cierre y apertura automático de carreteras.

Randa, Suiza: Radar con un alcance de 5 km de distancia. Con cierre y reapertura automático de carretera y vías ferroviarias.

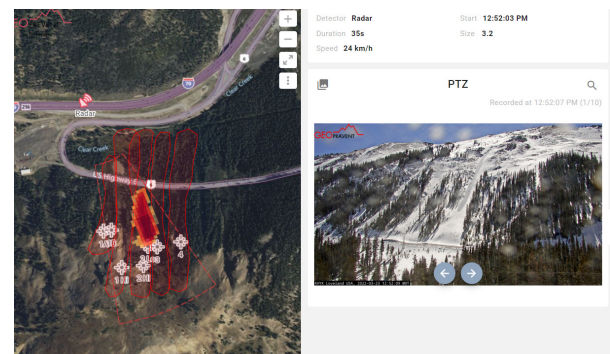
Mina Pascua Lama, Chile: 1 radar desde mayo de 2018.

Paso Rogers, Canadá: 1 radar en noviembre de 2018, 3 más en 2019.

Tipo de sistema	
Distancia/ cobertura	
Clima	
Pistas de avalancha	
Costos	
Apropiado para monitoreo	



Configuración de radar de avalancha doble Zermatt, Suiza (arriba), Radar de avalanchas en Loveland Pass, Colorado, EE.UU. (abajo)



3.2.3 RADAR PARA DESPRENDIMIENTO DE ROCAS

La detección automática de un desprendimiento de rocas es apropiada para el monitoreo (ej.: actividad en el desprendimiento de rocas) o gracias al reconocimiento en tiempo real para la alerta (ej.: con cierre de carreteras). Según la posición de partida, se puede utilizar el radar para desprendimientos de rocas en lugar de tomar medidas con infraestructura o como un complemento de dichas medidas.

VENTAJAS

- Reconocimiento automático de caída de piedras/rocas
- Alcance más de **1 km**, cobertura **1 km²**
- **Independiente de las condiciones meteorológicas** (lluvia, nieve, niebla) y de la parte del día (día/noche)
- **Activación de alarma automática** en tiempo real (ej.: cierre de carreteras con semáforos y barreras)
- **Clara representación cartográfica** con línea de caída, tamaño, velocidad y fotos (a la vista)
- Acceso a toda hora a los datos completos en el **portal de datos en línea**, fotos y manejo de las cámaras y barreras/señales automáticas
- Integración con **teléfono inteligente y tableta**

LIMITACIONES

- Solo se registran resultados del área objetivo del radar
- Solo se registran de suficiente tamaño
- La detección de bloques individuales está por el momento reducida

PROYECTOS DE REFERENCIA

Brinzauls, Suiza: Monitorea de zona de caída de rocas con cierre de carreteras automático. Uno de los primeros sistemas de este tipo del mundo.

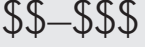
Valle de Gumpisch, Axenstrasse, Suiza: Sistema integral de alerta de caída de rocas con dos cabezas de radar y fusión de sensores con sensores sísmicos para la verificación de eventos debido al corto tiempo de alerta. Cierre y reapertura automáticos del principal corredor europeo. Esquema de reapertura con detección de caída de rocas ladere abajo mediante sensores de movimiento y líneas de activación. A partir de 2019.

Desprendimiento de Ruinon, Bormio, Italia: Detección de caída de rocas y cierre y reapertura automáticos de la carretera de acceso a Santa Catarina (2020–22).

MÁS INFORMACIÓN

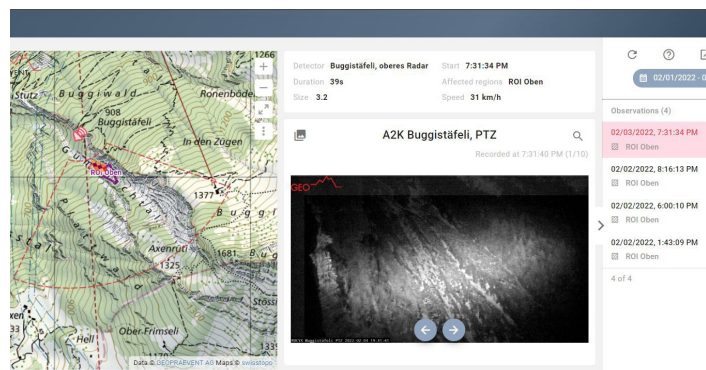
Publicación científica

En el taller interdisciplinario sobre protección de caída de rocas (RockExs 2017), Barcelona: Actas de conferencia

Tipo de sistema	
Distancia/cobertura	
Clima	
Costos	
Apropiado para monitoreo	



Radar de caída de rocas Brienz/Brinzauls (arriba) y mapa de desprendimientos de rocas e imágenes de eventos en Valle de Gumpisch, Axenstrasse (abajo), Suiza



3.2.4 RADAR DE PERSONAS

El radar de personas reconoce personas en movimiento y se emplea para la seguridad de zonas durante el desencadenamiento de avalanchas artificiales. Con la ayuda de este sistema de radar, los servicios responsables tienen un vista general continua de día o de noche en cualquier condición climática, de si hay y donde están detenidos los esquiadores de montaña o los senderistas.

VENTAJAS

- Detección automática de personas con un **alcance de 1 km** y una **cobertura de área de hasta 1 km²**
- **Independiente de las condiciones meteorológicas** (lluvia, nieve, niebla) y de la parte del día (día/noche)
- **Detección, rastreo y mapeo** de todos los movimientos en el área con series de imágenes automáticas.
- Definición de **zonas virtuales** y la correspondiente **alerta en tiempo real** (ej.: alarma acústica/visual al ingreso de zonas cerradas)
- **Claro centro de control en línea** con estado de la instalación, últimos movimientos, imágenes de la webcam actuales, estado de las barreras, etc.
- Integración con **teléfono inteligente y tableta**
- **Combinación** con más radares para la cobertura de **una zona más amplia** o **más puestos neurálgicos**
- Los datos se borran automáticamente (**protección de datos**)

LIMITACIONES

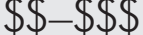
- Solo resultados del área objetivo del radar
- Las áreas con sombra no podrán ser reconocidas
- El radar reconoce también animales en movimiento
- No obstante, es posible filtrar los animales pequeños

PROYECTOS DE REFERENCIA

Zermatt, Suiza: Cuatro estaciones con radar de personas, cámaras y barreras parciales con opción de alerta en caso de que el bloqueo sea incumplido.

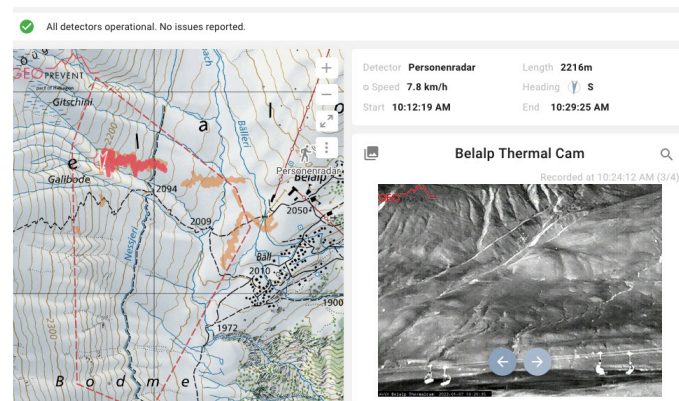
Belalp, Suiza: Sistema acoplado con un radar de avalanchas y de personas para el monitoreo de grandes superficies de la zona de fractura de la avalancha de cresta, la cual es a menudo provocada artificialmente.

Val Bever, Suiza: Avalanchas provocadas artificialmente ponen en riesgo a una popular zona de excursiones de esquí: el radar de personas sirve para controlar las acciones de seguridad planeadas.

Tipo de sistema	 
Distancia/cobertura	
Clima	  
Costos	
Apropiado para monitoreo	



Radar de personas Zermatt (arriba), combinado avalancha y radar de personas Belalp (abajo), ambos Suiza



3.2.5 RADAR DE MEDICIÓN DE NIVEL FLUVIAL

El radar de medición mide, independientemente del clima predominante, de manera continua y confiable el flujo y altura del agua. Una subida repentina del nivel (ej. flujo de lodo, marejadas) dispara la alarma y cierra las calles o evacúa obras.

VENTAJAS

- La **tecnología más confiable** para la medición del nivel de superficies turbulentas como por ejemplo en el caso de flujo de lodo o marejadas.
- **Independiente de las condiciones meteorológicas** (lluvia, nieve, niebla) y parte del día (día/noche)
- **Medida sin contacto** y ninguna alteración en o después de un acontecimiento (fijación por ejemplo bajo un puente o sobre un barranco con cuerdas de acero tirantes)
- Alerta automática en el caso de exceso de los umbrales predeterminados, mediante cierre de carreteras y notificación
- **Medición permanente** de la salida y entrada para posibilitar serie cronológica y datos actuales al igual que imágenes a toda hora en el **portal de datos en línea**

LIMITACIÓN

- Solo resultados del área objetivo del radar registrados. Recomendamos la instalación de dos radares de medición de nivel para la cobertura de un cauce más ancho y por motivos de redundancia
- La falla del radar por destrucción o ajuste por golpe de piedras o sedimentos en el arroyo/flujo de lodo

PROYECTOS DE REFERENCIA

Val Bondasca (Bondo), Suiza: Sistema completo de alarma para el flujo de lodo con un total de cuatro radares de medición de nivel y distintos periodos de preaviso.

Kazbegi, Georgia: El sistema completo de alarma para el flujo de lodo en el monte Kazbegi incluye, entre otros, dos radares de medición de nivel para la protección de la calle en dirección al paso fronterizo ruso cercano.

Spreitgraben, Suiza: Amplio sistema de alarma para el flujo de lodo para la protección de la calle del paso de Grimsel con cierre automático de carreteras.

Muotathal, Suiza: Sistema de alarma de flujo de escombros en Teufbach con cierre automático de tres carreteras diferentes en el pueblo de Muotathal.

Tipo de sistema	
Distancia/ cobertura	
Clima	
Costos	
Apropiado para monitoreo	



Radar de medición de nivel fluvial y cámara de eventos Steinach (arriba), radar de medición de nivel fluvial Bondo (abajo), ambos Suiza



3.3 ESCANER LÁSER TERRESTRE (LIDAR)

Lidar (del inglés: light detection and ranging) es un método óptico para medir la distancia y velocidad basado en rayos láser. Al contrario que un radar, el Lidar utiliza ondas electromagnéticas en un rango de frecuencia óptico y, por lo tanto, longitud de onda corta. Lidar es muy útil para la medición precisa y de alta resolución de grandes áreas a través del muestreo tridimensional de la superficie. Asimismo, el Lidar se puede utilizar para el análisis de deformación y para la estimación del volumen.

VENTAJAS

- **Medición de grandes superficies** de paredes rocosas y glaciares con precisión milimétrica y mayor resolución espacial (min. 0,5 x 0,5 m, dependiendo de la distancia de medición)
- Base de datos para la creación **digital de modelos de elevación**
- **Estimación de volumen** de desprendimiento de rocas y glaciares
- Funciona **de día/noche**, pero solo en condiciones meteorológicas favorables (contacto visual imprescindible)
- Alcance de hasta **4 km**, superficie de **varios km²**
- Análisis de deformación para reconocer movimientos “grandes” entre dos mediciones (> 10 cm de desplazamiento)
- **La vegetación** puede ser parcialmente filtrada
- **Mediciones periódicas** a menudo junto con mediciones del radar interferométrico
- Instalación rápida
- Reporte de medición con análisis de datos e interpretación

LIMITACIONES

- Con el Lidar se pueden calcular solo los “grandes” desplazamientos de más de 10 cm (dependiendo de la distancia de medición. Detalles sobre esto en la comparación en la página 26)
- Depende de las condiciones meteorológicas (las mediciones con niebla, nubes, lluvia o nieve son a menudo imposibles)

PROYECTOS DE REFERENCIA

SBB (Ferrocarriles Federales Suizos) en Biasca, Suiza: Mediciones periódicas de una pared rocosad en combinación con el radar interferométrico para el reconocimiento y estimación del volumen del desprendimiento.

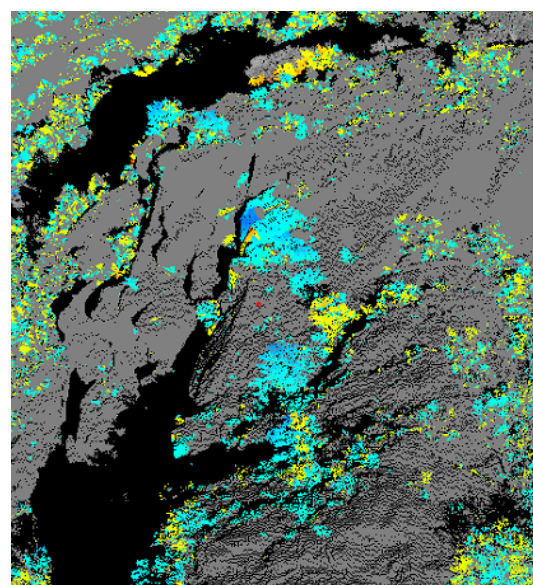
Barranco de Lichtenstein, Austria: Mediciones periódicas junto al radar interferométrico luego del desprendimiento de rocas de 2017 en la zona del barranco del Lichtenstein, utilizada con fines turísticos, para el reconocimiento de grandes desplazamientos.

SCNF (Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses) en Saulcette, Francia: Mediciones periódicas de una zona de deslizamiento sobre las vías de ferrocarril en combinación con mediciones del radar interferométrico.

Tipo de sistema	
Distancia/ cobertura	
Clima	
Resolución	
Precisión del análisis de la deformación	 1–10 cm
Costos	
Apropiado para monitoreo	



Escaneado láser Axenflue (Flüelen), Suiza



3.4 ÓPTICO – CAMARA DE DEFORMACIÓN

La cámara de deformación es una solución rentable que cubre grandes áreas para el monitoreo de rocas y hielo inestable a largo plazo. Con la ayuda del análisis de deformación totalmente automático, los desplazamientos de pocos centímetros se determinan de manera simple y rápida.

VENTAJAS

- **Solución de monitoreo rentable** para el reconocimiento de cambios en el movimiento de una zona (ej.: aceleración)
- **Procesamiento, análisis y selección de imágenes automatizado** gracias a algoritmos sofisticados
- **Representación en color** del movimiento con dirección incluida
- Visualización práctica de imagen con la **opción de zoom** para una vista detallada
- **Intervalo flexible de análisis seleccionable** (diario, cada dos días, semanal, de temporada)
- Análisis de deformación completo e imágenes de alta resolución disponibles en todo momento a través del **portal de datos en línea de Geopraevent**
- **Fotos de alta resolución** para la comparación manual de cambios

LIMITACIONES

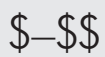
- Solo en condiciones de visibilidad buenas, es decir, de día y bajo condiciones meteorológicas buenas. No es apropiado para inestabilidades agudas
- Contraste: para un análisis de imágenes exitoso, se necesitan imágenes con alto contraste. En aplicaciones exigentes, se puede efectuar un procesamiento de imágenes de alto rango dinámico o ARD (HDR en inglés), el cual mejora el contraste y con eso la calidad del análisis
- Solo son medibles ambos componentes de deformación perpendiculares a la dirección visual

PROYECTOS DE REFERENCIA

Desprendimiento del glaciar Weissmies, Suiza: La cámara de deformación reconoció la velocidad de la inestabilidad de la zona del glaciar correctamente. Subsiguiente uso del georradar para el monitoreo de peligros agudos.

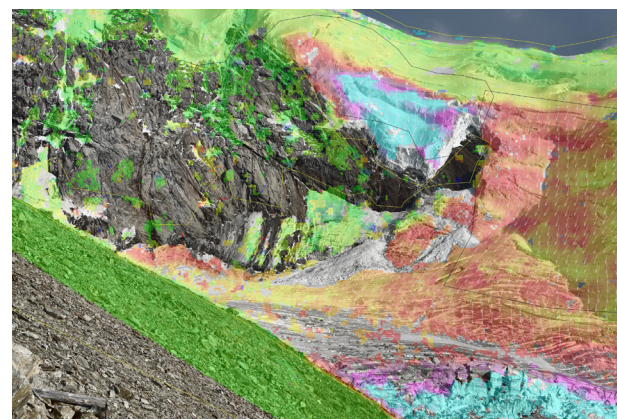
Deslizamiento en Moosfluh, Suiza: Monitoreo de una extensa zona de deslizamiento en el glaciar de Aletsch desde el lado opuesto de la ladera.

Glaciar Bis, Suiza: Monitoreo de la parte empinada inferior del glaciar con tres cámaras y detección de avalancha de hielo extra con radar para avalancha y alerta inclusive. Monitoreo del glaciar colgante desde más arriba en Weisshorn a 4133 m.

Tipo de sistema	
Distancia/ cobertura	
Clima	
Resolución	
Precisión del análisis de la deformación	 1–5 cm
Costos	
Apropiado para monitoreo	 



Cámara de deformación Weisshorn (Randa) a 4133 m de altitud (arriba) y en Weissmies (Saas Fees) (abajo), ambas Suiza



3.5 OTROS

3.5.1 MEDIDOR DE FISURAS

Para el monitoreo local de fisura en roca en una masa rocosa inestable se emplean dos tipos de medidores: tele medidor de junta para determinación del ancho de la fisura y extensómetro integrado en perforaciones para los movimientos rocosos ubicados en profundidad. Ambos son mediciones puntuales y requieren una instalación en la zona de peligro.

VENTAJAS

- **Tele medidor de junta:** medición de movimientos diferenciales en la superficie entre cuerpos rocosos con una precisión de medida de 0,2–1 mm dependiendo del lugar de montaje, anchura de la fisura y rayo de sol (variaciones diurnas)
- **Extensómetro:** mide movimientos diferenciales entre dos superficies rocosas y del cuerpo rocoso a diferentes profundidades en una perforación con una precisión de medida de 0,1 mm aprox.
- **Independiente de las condiciones meteorológicas** (lluvia, nieve, niebla) y parte del día
- Alerta automática ante un sobrepaso de los límites de **valores de medición absolutos o relativos**
- Transmisión de datos por radio o cable y acceso a los datos de medición sobre el **portal de datos en línea de Geopraevent**

Para el monitoreo de zonas de una pared rocosa se recomienda el empleo de un radar interferométrico.

El tele medidor de junta, en cambio, para la observación local de lugares críticos.

LIMITACIONES

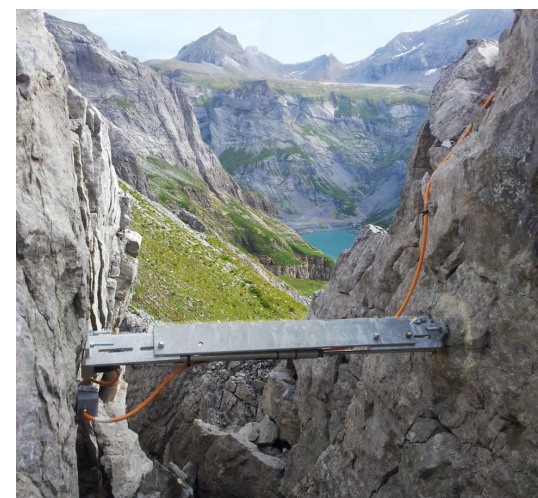
- Los datos de medición aportan solo información sobre movimientos rocosos a distancia media del tele medidor de junta y solo en la dirección del montaje
- Posible trabajo de instalación peligroso
- Los aparatos de medición pueden dañarse ante un derribamiento y luego no sirven para estimar el peligro restante en áreas inestables
- Los aparatos de medición en sí están expuestos a golpes de piedras y necesitan la protección correspondiente

PROYECTOS DE REFERENCIA

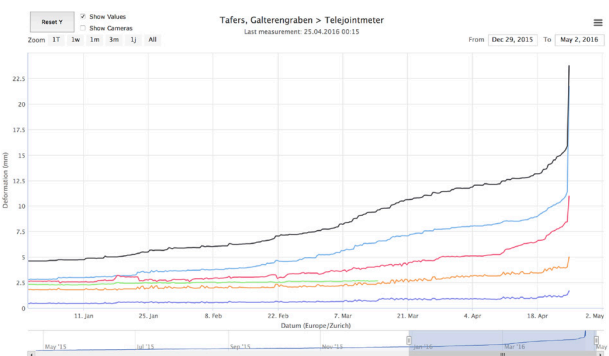
Desprendimiento de rocas en Tifers, Suiza: Monitoreo de inestabilidad rocosa sobre una vivienda en una zona de esparcimiento. Dispositivo de medición con alerta automática ayudó a la evacuación a tiempo.

Desprendimiento de rocas en 2012 en Gurntellen, Suiza: Monitoreo integral durante los trabajos de seguridad para el eje norte-sur de los Ferrocarriles Federales Suizos (SBB).

Tipo de sistema	 
Distancia/ cobertura	
Clima	
Precisión del análisis de la deformación	 > 10 cm
Costos	\$\$–\$\$\$
Apropiado para monitoreo	



Fisurómetros Limmern (arriba), fisurómetros con fallo de pendiente Tifers (abajo), ambos Suiza



3.5.2 GEOFÓNOS Y SENSORES SÍSMICOS

Los geófonos y sensores sísmicos miden las vibraciones en el suelo y reconocen mediante estas un movimiento de masas. Los sensores sísmicos son así frecuentemente más sensitivos que los geófonos. Los sensores de vibraciones se instalan localmente siempre que sean necesarios más sensores para una detección confiable (redundancia). Una alerta con acciones automáticas, como por ejemplo el cierre de carreteras o la notificación, es en cualquier cosa posible.

VENTAJAS

- **Método de detección local relativamente sencillo** para avalanchas o flujo de lodo
- Sensores **robustos**, apropiados para condiciones extremas
- **Independiente de las condiciones meteorológicas** (lluvia, nieve, niebla) y de la parte del día (día/noche)
- **Activación automática de alarma** en tiempo real
- Los **sensores sísmicos** son más sensitivos que los geófonos y pueden ser implementados para el monitoreo de actividad de **caída de roca**
- Acceso a los datos de vibración e imágenes de la cámara tanto como manejo de barrera/señales sobre **el portal de datos en línea de Geopraevent**
- Integración con **teléfono inteligente y tableta**

LIMITACIONES

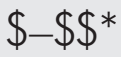
- El sensor o cable pueden ser alterados y dañados por una avalancha/ o un flujo de lodo
- La avalancha o el flujo de lodo no producen la vibración mínima requerida (ej.: porque los sedimentos de avalanchas anteriores atenúan la señal)
- Posible falsa alarma debido a otras fuentes de vibración, ej. terremotos, tormentas (truenos), animales o personas

PROYECTOS DE REFERENCIA

Valle de Gumpisch, Axenstrasse, Suiza: Fusión de sensores con radares de caída de rocas para la verificación de sucesos debido al escaso tiempo de alerta. Cierre y reapertura automáticos de la carretera principal del corredor europeo.

Bondo, Suiza: Tres sensores sísmicos sirven como redundancia para el radar de medición de nivel fluvial para la detección de flujo de lodo en Val Bondasca. Asimismo, los sensores muestran la actividad de caída de rocas ubicadas más arriba en Pizzo Cengalo.

Quinto, Suiza: Un geófono como ampliación del sistema de radar para avalancha: el geófono da indicios de cuán lejos avanzó la avalancha ya que la última parte de la avalancha no es visible con el radar.

Tipo de sistema	
Distancia/ cobertura	
Clima	
Pistas de avalancha	
Costos	
Apropiado para monitoreo	

* en función del número de sensores



Geófono



Sensor sísmico Bondo (Suiza)

3.5.3 CUERDA DE ACTIVACIÓN

Una cuerda de activación se tensa sobre zanjas de avalanchas o de flujos de lodo y se rompe en el caso de una salida. En un extremo de la cuerda de activación se encuentra un interruptor con un punto de ruptura el cual se rompe por una fuerza de tracción determinada y activa la alarma. Las cuerdas de activación son empleadas una vez y deben ser reemplazadas después de un suceso.

VENTAJAS

- **Método de detección sencillo y rentable** para avalanchas y flujos de lodo (como también para otras aplicaciones)
- **Independiente de las condiciones meteorológicas** (lluvia, nieve, niebla) y parte del día (día/noche)
- **Activación automática de la alarma** en tiempo real (ej.: cierre de carreteras con semáforos y barreras)

LIMITACIONES

- Se puede usar solo una vez; luego de un suceso, la cuerda debe ser reemplazada
- No se produce detección cuando:
 - El suceso no rompe la cuerda de activación (ej.: el anclaje es arrancado y la cuerda de activación permanece intacta)
 - El suceso daña la cuerda de activación fuera del punto de ruptura
 - El suceso esquiva la cuerda de activación
- Falsa alarma cuando animales o personas tiran de la cuerda de activación
- Según el tipo de cuerda de activación empleada: el estado de cuerda no puede ser controlado a través del mantenimiento a distancia
- Rondas de control necesarias regularmente
- Se recomienda cuerda de activación vigiladas (con permanente medición de fuerza)

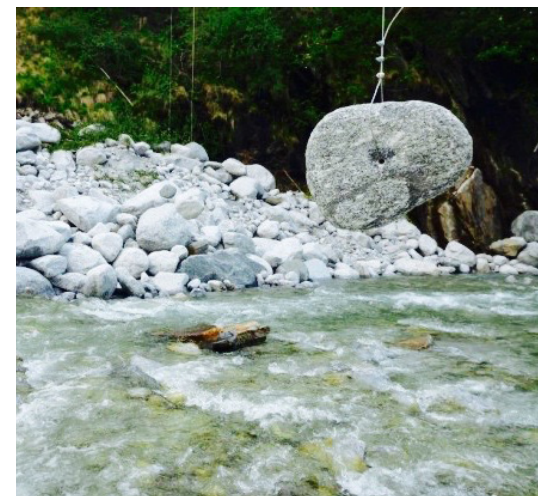
PROYECTOS DE REFERENCIA

Bondo, Suiza: El sistema de alarma de flujo de lodo instalado en 2015 en Val Bondasca activó correctamente la alarma en el desplome de montaña en 2017, con consiguiente flujo de lodo, y cerró varias carreteras en el pueblo de Bondo.

Karbegi, Georgia: El sistema de alarma de flujo de lodo completo en el monte Kazbegi, para la protección de la calle hacia el paso de frontera ruso cercano, contiene dos cuerdas de activación, entre otros.

Spreitgraben (fosa tectónica de Spreit), Suiza: Sistema de alarma de flujo de lodo extenso para la protección de la calle en el paso del Grimsel con cierre de carretera automático.

Tipo de sistema	
Distancia/ cobertura	
Clima	
Pistas de avalancha	
Costos	
Apropiado para monitoreo	



Cuerda de activación Bondo, Suiza (arriba), Cuerda de activación cerca del monte Kazbegi, Georgia (abajo)



3.5.4 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GPS)

Los movimientos de una zona inestable son medidos puntualmente con varios aparatos de GNSS. Uno de los aparatos se ubica en un área estable (relativamente) y sirve como estación de referencia.

El aparato GNSS evalúa los datos de posición y de tiempo enviados por el satélite y los retransmite a nuestro servidor para el cálculo del desplazamiento.

VENTAJAS

- Monitoreo sencillo de deslizamiento con una precisión de medida de 1 cm aprox.
- Cálculo del desplazamiento posible en todas las tres dimensiones (en la dirección vertical mayormente peor precisión)
- Independiente de las condiciones meteorológicas (lluvia, nieve, niebla) y parte del día (día/noche)
- Un mensaje de texto de alerta ante el exceso de los valores determinados
- Serie temporal de la velocidad del aparato de GNSS individual accesible en todo momento a través del portal de datos en línea
- Integración con teléfono inteligente y tableta

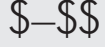
LIMITACIONES

- Solo medición de desplazamiento local
- Precisión de medición depende del número de satélites visibles. Valles estrechos, cercanía de las paredes rocosas o de árboles ocultan los satélites y reducen la precisión
- Mediciones no posibles si los aparatos están cubiertos de nieve
- El aparato de referencia debe estar ubicado en suelo estable

PROYECTOS DE REFERENCIA

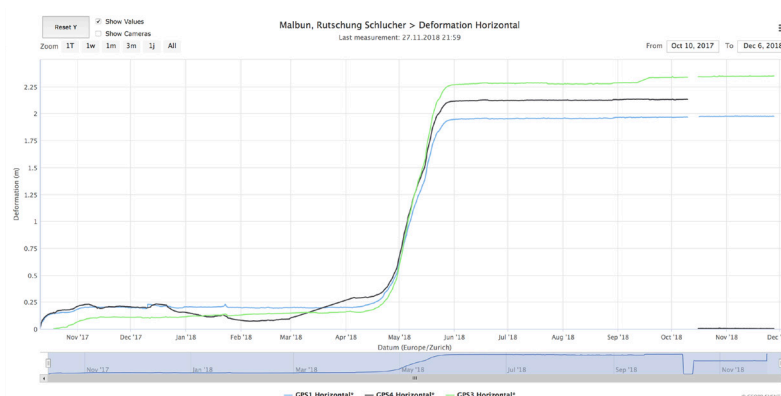
Deslizamiento en Schlucher, Lichtenstein: Monitoreo del deslizamiento de Schlucher con tres sensores GPS.

Deslizamiento en Zongling, China: Medición del desplazamiento del terreno en siete puntos de medición con una estación de referencia.

Tipo de sistema	
Distancia/ cobertura	
Clima	
Costos	
Apropiado para monitoreo	

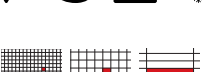


Desprendimiento de la estación GNSS de Schlucher (Malbun), Liechtenstein

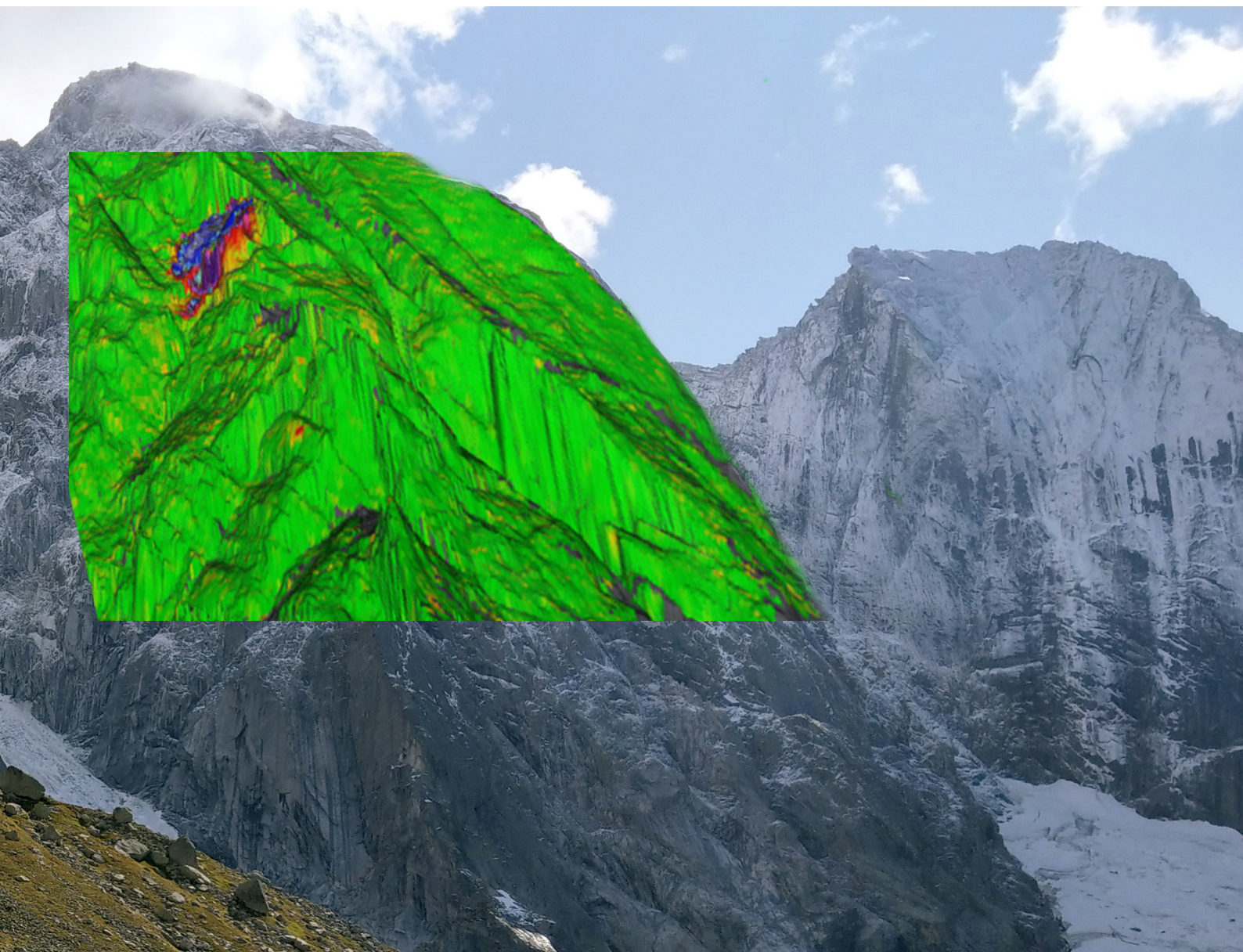


4 ANEXO

SÍMBOLOS

	Sistema de alerta		Lidar terrestre
	Sistema de alarma		Láser
	Sensores		Radar de avalanchas Radar para caída de rocas Radar de flujo de detritos
	Registrador de datos		Radar interferométrico
	Alerta		Satélite georadar interferométrico
	Portal de datos		Radar de nivel fluvial
	Comunicación		Geófono Sismología
	Clima (de día/con buen tiempo, en la noche, niebla, nieve/lluvia)		Cuerda de activación
	Resolución		Cámara de deformación
	Costos		Estación Total
	Pistas de avalancha Vías de flujo de detritos		Profundidad de la nieve
	Avalancha		Sistema global de navegación por satélite (GPS)
	Caída de piedras Inestabilidad en la roca		Medidor de fisuras
	Flujo de lodo		Infrasonido
	Deslizamiento		Tecnologías del futuro Drones
	Inundación		





Radar interferométrico Piz Cengalo (Bondo), Suiza

SISTEMAS DE MONITOREO Y ALARMA PARA AMENAZAS NATURALES

Geoprevent proporciona soluciones de monitoreo y alarmas para una amplia variedad de amenazas naturales. Nosotros supervisamos la zona de amenaza para medir los precursores de un evento o detectamos el evento en sí y activamos alarmas automáticamente. Además, Geoprevent proporciona tecnología para detectar personas en la zona de amenaza (por ejemplo, antes del desprendimiento artificial de una avalancha).



Radar combinado de avalancha y personas Belalp, Suiza

GEOPREVENT
Räffelstrasse 28
8045 Zürich
Suiza

Tel. +41 44 419 91 10
info@geoprevent.com

Más información: www.geoprevent.com

Síguenos en:

