

SATCAD 307

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA EVENTOS HIDROGEOLÓGICOS EXTREMOS EN UNA RUTA DE MONTAÑA

Manuel Sergio PASTOR

Sabin 2651 – (4107) Yerba Buena – Tucumán Tel: (+54 381 5684237)
e-mail: sergiopastor@arnet.com.ar

RESUMEN

La Ruta Provincial N° 307 en la provincia de Tucumán, Argentina, es el principal vínculo vial entre la Ruta Nacional N° 38 que discurre por la llanura tucumana y la Ruta Nacional N° 40 que atraviesa de norte a sur el extremo oeste provincial en plena montaña. Reviste un alto valor estratégico por tratarse de la vía de comunicación terrestre más conveniente para el tránsito, tanto turístico como comercial, y para la provisión de todo tipo de suministros de una vasta región de los valles Calchaquies.

En el marco del Proyecto “Programa de Infraestructura Vial del Norte Grande - Contrato de Préstamo BID 1851/OC-AR” cuya contratante fue la Unidad Ejecutora del Programa de la Unidad de Coordinación de Programas y Proyectos con Financiamiento Externo (UCPyPFE) del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios de la Nación, se realizó la obra “Reconstrucción de la Ruta Provincial N° 307 Tramo: Acheral – Taí del Valle. Empalme Ruta Nacional N° 38 Tucumán”, reconocida como Obra Provincial Vial del año 2014 por la Asociación Argentina de Carreteras.

Según el pliego, la obra debía contar con un sistema de alerta temprana consistente en un conjunto de instrumentos y equipos operados por personal de la DPV Tucumán, a ubicarse en campamentos localizados a la vera del camino. Este equipamiento estaría destinado a detectar condiciones meteorológicas y físicas límites en la ruta y alertar sobre las mismas.

En el presente trabajo se explica qué criterios se siguieron para el diseño, prototipación, construcción, instalación y transferencia a la DPV Tucumán del SATCAD 307 - Sistema de Alerta Temprana para la RP N° 307. El mismo consiste en una compleja multired polimórfica, completamente automatizada, compuesta de redes telemáticas especializadas (limnimétricas, meteorológicas, geosísmicas, sistemas de avisos, entre otras) específicamente creada para satisfacer los requerimientos de seguridad planteados, y aún otros.

INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático existe, y vino para quedarse. En caso de dudas no hay más que observar sus efectos en la estructura vial argentina: destrucción parcial o total de rutas y caminos, de puentes carreteros y ferroviarios, de obras de arte menor de todo tipo, y un largo etcétera de daños. Las rutas de montaña están particularmente expuestas por su proximidad directa con las fuentes de eventos hidrogeológicos extremos. Por ello, comprender la génesis y el desarrollo de fenómenos naturales tales como crecientes, aluviones, derrumbes y lahares, resulta esencial para poder mitigar los cada vez mayores costos directos e indirectos que ocasionan tanto en pérdidas de vidas como en daños físicos a la infraestructura vial en general. Para atender esta compleja problemática se ha desarrollado un Sistema de Alerta Temprana cuyas características generales se describen en el presente trabajo en una aplicación concreta.

ORIGEN DEL SATCAD 307

En el marco del Proyecto “Programa de Infraestructura Vial del Norte Grande - Contrato de Préstamo BID 1851/OC-AR” cuya contratante fue la Unidad Ejecutora del Programa de la Unidad de Coordinación de Programas y Proyectos con Financiamiento Externo (UCPyPFE) del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios de la Nación, se realizó la obra “Reconstrucción de la Ruta Provincial N° 307 Tramo: Acherál – Taquí del Valle. Empalme Ruta Nacional N° 38 Tucumán”, reconocida como Obra Provincial Vial del año 2014 por la Asociación Argentina de Carreteras.

Se realizó repavimentación completa a lo largo de 57 kilómetros de esta ruta provincial, ensanchamientos parciales y pavimentación de banquetas. Asimismo, se hizo cordón cuneta en las zonas urbanas, se mejoraron los tramos con mayor índice de riesgo, como las curvas cerradas, y se construyeron nuevos puentes y alcantarillas.

Según el pliego, la obra debía contar, además, con un sistema de alerta temprana consistente en un conjunto de instrumentos y equipos operados por personal de la Dirección Provincial de Vialidad de Tucumán (DPVT), a ubicarse en campamentos localizados a la vera del camino. Este equipamiento estaría destinado a detectar condiciones meteorológicas y físicas límites en la ruta y alertar sobre las mismas. Con la idea de atender esta requisitoria se construyó un Sistema de Alerta Temprana (SAT) específico para esta obra denominado SATCAD 307.

Para poder mejor comprender los criterios seguidos en el diseño y la implementación general del SATCAD 307 es necesario primero referirse a los dos aspectos principales del problema: la ruta y la montaña.

LA RUTA PROVINCIAL N° 307

Según datos provistos por la DPVT la red de caminos que administra totaliza entre rutas primarias y secundarias un total de 2.143 km. Las pavimentadas suman un total de 1.066 km, mientras que las enripiadas alcanzan 930 km. El variado relieve de la provincia y la existencia de abundantes ríos y cursos de agua hacen que cuente con un promedio aproximado de un puente por cada 12 km de ruta. Esta profusa red vial es gestionada por medio de campamentos permanentes distribuidos en cinco zonas cubriendo todo el territorio provincial.

En particular, la Ruta Provincial N° 307 (RP 307) se desarrolla íntegramente en los departamentos de Monteros y Taquí del Valle, en la Provincia de Tucumán, República Argentina, siguiendo estrechamente a la Quebrada de los Sosa en toda su longitud. Se inicia en la Ruta Nacional N° 38, en la localidad de Acheral, sube por la Quebrada de Los Sosa hasta el valle de Taquí y termina empalmando a la Ruta Nacional N° 40, en el Valle de Santa María. Su punto más bajo está en Acheral a 361 m.s.n.m. y su mayor altura la alcanza a 3.050 m.s.n.m. en el Abra del Infiernillo, el punto vial más alto de la provincia. Esta ruta tiene un alto valor estratégico en vista de que es el medio de comunicación terrestre más conveniente para el tránsito, tanto turístico como comercial, y para la provisión de todo tipo de suministros de una vasta región de los valles Calchaquíes. Se encuentra en la Zona IV de cobertura por parte de la DPV Tucumán. (Figura 1)

Por tratarse de la única vía directa hacia los valles en buen estado todo el año, esta ruta presenta un tránsito vehicular liviano y pesado creciente que se incrementa en gran medida durante los meses de verano a causa del turismo. Estos meses coinciden con la época de las máximas precipitaciones y, por lo tanto, con la ocurrencia de fenómenos hidrogeológicos de alto riesgo tanto para la ruta como para los transeúntes.

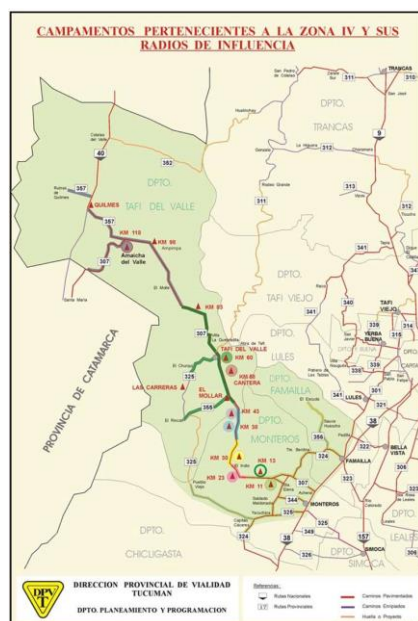


Figura 1. Desarrollo de la RP 307 en zona de influencia de la DPVT

FENÓMENOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS DE ALTO RIESGO EN LA RP 307

Los procesos geológicos que modifican constantemente el entorno de la RP 307 lo constituyen principalmente la remoción en masa, la erosión y el desborde de ríos y arroyos los que ocasionan distintos tipos de aluviones, derrumbes y crecientes.

- **Aluviones**

Denominamos aluvión a un flujo complejo de agua mezclado con grandes volúmenes de suelo que se desplaza de forma rápida y violenta por una quebrada o lecho de río. En su movimiento es capaz de arrastrar todo tipo de material superficial natural que se encuentre sobre el curso de descarga: principalmente tierra, rocas y árboles; como así también otros elementos no naturales: obras de arte mayor y menor (puentes, caminos, alcantarillas, etc.) edificaciones y vehículos de todo tipo y porte. El SATCAD 307 es apto para cualquier tipo de aluvión.

- **Derrumbes**

Un derrumbe se produce, en general, como consecuencia de roturas bruscas de laderas y taludes, pudiendo clasificarse resumidamente en: caídas, vuelcos, deslizamientos y flujos. En la Quebrada de los Sosa se han registrado, en particular, los siguientes tipos de derrumbes:

- Desprendimientos de rocas
- Deslizamientos traslacionales
 - Deslizamientos de tierra (*earth slide*)
 - Deslizamientos de detritos (*debris slides*)
 - Avalanchas de detritos (*debris avalanche*)
- Flujos
 - Flujos de detritos (*debris flow*)
 - Flujo hiperconcentrado (*hyperconcentrated flow*)
 - Movimientos complejos
 - Combinación de deslizamientos y flujos

- **Crecientes**

Existen distintos tipos de crecientes en función de su velocidad y material de arrastre. El SAT a que hace referencia este trabajo se aplica preponderantemente a crecientes aluvionales, de cualquier caudal y velocidad. Crecientes aluvionales son aquellas que transportan abundante material sólido, principalmente suelo, sin que puedan ser consideradas aluviones en sentido estricto.

El impacto adverso de todos estos fenómenos sobre la RP 307 ha sido históricamente muy significativo. Por ejemplo, en el año 2001 se registraron numerosos movimientos de remoción en masa y eventos de erosión fluvial que afectaron severamente a la ruta con un costo que por su magnitud hubo de afrontarse con créditos externos.

Las zonas afectadas por movimientos de ladera a lo largo de la Ruta Provincial N° 307 abarcan desde el kilómetro 15 hasta el kilómetro 43. Se pueden distinguir cinco zonas bien diferenciadas: Zona 1: Caracterizada por deslizamientos en materiales conglomerádicos cuaternarios. Zona 2: Deslizamientos superficiales en las areniscas y conglomerados finos de la Formación Pirgua. Zona 3: Deslizamientos de detritos, avalanchas de detritos, flujos hiperconcentrados y caída de rocas en los materiales esquistosos del Grupo Puncoviscana. Zona 4: Zona de múltiples deslizamientos y movimientos complejos en esquistos del grupo Puncoviscana y en la tonalita El Indio. Zona 5: Deslizamientos de detritos, flujos de detritos, movimientos complejos y caída de detritos afectando a los esquistos del Grupo Puncoviscana. La zona de mayor peligrosidad del área estudiada se encuentra ubicada entre el kilómetro 23 y el kilómetro 40 de la ruta en donde se suceden distintos tipos de movimientos de ladera. Los procesos más comúnmente observados son los deslizamientos de detritos, mientras que aquellos de mayor magnitud son las avalanchas de detritos y los flujos de detritos, destacándose entre estos últimos el del Km 39, que sólo en un aluvión depositó aproximadamente 14.100 m³ de materiales. (Fernández, D. S, y Lutz, M.A., 2003)

Los flujos principales fueron observados en su mayoría en la zona donde afloran las metamorfitas de bajo grado, mientras que los deslizamientos de detritos en materiales previamente alterados por acción meteórica predominaron en la zona donde aflora la tonalita El Indio.

Se han registrado numerosos accidentes por estas causas. (Figura 2)



Figura 2. Cortes de la RP 307 por aluviones y derrumbes

En total se han inventariado a la fecha alrededor de 40 lugares entre los kilómetros 23 y 40, donde tienen lugar múltiples movimientos de ladera, correspondiendo mayoritariamente a deslizamientos superficiales, mientras que los de mayor magnitud son los flujos de detritos. Cabe destacar que año a año se forman nuevos cauces aluvionales de descarga con distinta magnitud de peligrosidad.

PORQUÉ DESARROLLAR UNA TECNOLOGÍA PROPIA

Considerando la formidable complejidad del problema que supone detectar una creciente, un aluvión o un derrumbe en un curso de agua, en un cauce aluvional o en una ladera de montaña, y además determinar su grado de peligrosidad, se determinó hace tiempo la necesidad de partir desde cero en la investigación y desarrollo completo de un sistema de hardware, firmware y software que permitiera cumplir con las especificaciones establecidas en una serie de criterios que modelaran al problema considerando todos los factores involucrados en el mismo: geológicos, hidrológicos, hidráulicos, físicos, matemáticos, electrónicos, eléctricos, informáticos, económicos y antropológicos, por citar los más relevantes.

Se hizo un diseño general basado en el uso de componentes asequibles a un país como el nuestro resultando una tecnología robusta, flexible y económica, pero no por eso menos avanzada. El resultado fue un sistema que he denominado SATCAD que puede emplearse en todo tipo de rutas y caminos, cursos de agua, poblaciones urbanas y rurales, obras de infraestructura vial e hídrica, construcciones estratégicas, entre otras aplicaciones.

SATCAD: UNA SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE LA RP 307

Un SATCAD, acrónimo de Sistema de Alerta Temprana contra Crecientes, Aluviones y Derrumbes es, en resumen, una compleja multired, es decir una red compuesta de redes especializadas (limnimétricas, meteorológicas, sismológicas, RECs, REIs, sistemas de avisos, entre otras) específicamente diseñadas y construidas para los objetivos propuestos en cada aplicación en particular. Se puede realizar la detección y monitoreo de un aluvión, un derrumbe o una creciente de distintos tipos, a todos los fines a que hubiere lugar: alerta temprana, avisos, alarmas, tareas de Defensa Civil, protección a la infraestructura pública y/o privada, planeamiento urbano y rural, catastro; registros geohidrográficos con fines legales, académicos o comerciales; entre otras utilidades.

Cada una de estas redes está constituida por un conjunto de dispositivos electrónicos, en adelante nodos, que pueden funcionar tanto de forma autónoma, o integrados a una red superior local. Estas redes especializadas interactúan estrechamente entre sí, permitiendo una gran capacidad global de respuesta de conjunto. Todas las tareas se realizan en forma completamente automática sin intervención humana alguna. Esta multired puede integrarse telemáticamente a un Centro Remoto de Control pudiendo coexistir con otras redes similares en la gestión informatizada de una red vial de pequeño, medio o gran tamaño.

PRINCIPALES CRITERIOS DE DISEÑO DEL SATCAD 307

El Pliego de Licitación de la Obra establecía originalmente como única estrategia para la toma de decisiones de alerta la implementación de tecnología que brindara información de carácter meteorológico, la que debía obtenerse de equipos instalados en los campamentos de la DPVT distribuidos en un tramo de riesgo de la RP 307. Asimismo, proponía que el sistema de procesamiento y control estuviera a cargo de un SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) con personal específico a cargo del mismo.

A criterio de este autor la propuesta del Pliego no era la solución más adecuada para abordar la problemática de esta ruta de montaña. En efecto, además de las meteorológicas, existen sobre ella otras situaciones de riesgo, tales como: geológicas, sísmicas, hidrológicas y antropogénicas, razones por las cuales se consideró más apropiado diseñar y construir un SATCAD específico para esta ruta: el SATCAD 307.

No sólo condiciones meteorológicas límites (grandes lluvias, por ejemplo) pueden generar deslizamientos de laderas y aparición imprevistas de aluviones afectando la transitabilidad de la traza y provocando siniestros. Para la Quebrada del río los Sosa resulta clave comprender que son dos los factores desencadenantes relacionados con las precipitaciones que tienen incidencia directa en estos eventos en las zonas de riesgo: la progresiva acumulación del agua debido a lluvias prolongadas y la gran intensidad de las tormentas de verano. El efecto que ambos factores provocan sobre los materiales constitutivos del suelo de esas montañas es el incremento de las presiones intersticiales y el flujo de agua a través del terreno. Esto genera una disminución en la resistencia al corte de los materiales, además de elevar su peso e influir en sus propiedades resistentes. Tomando en cuenta además las altas pendientes del terreno, se puede concluir que de aquí al proceso de remoción en masa hay un solo paso. La evaluación de estos factores no puede realizarse sólo con los datos que provengan de estaciones meteorológicas como propone el pliego originalmente. Por tomar un ejemplo, en el caso de la litología como factor condicionante, debe mencionarse que se han producido deslizamientos espontáneos de detritos secos en el tramo que aflora la tonalita El Indio, sin causa meteorológica alguna que los genere.

Otros factores desencadenantes no considerados en el Pliego son la acción antrópica efectuada de manera intencional y/o accidental, y la acción sísmica.

El último incendio mayor registrado data de agosto del año 1999 y abarcó una franja de aproximadamente 30 kilómetros de longitud desde la sierra de la Ventanita al norte, hasta el parque nacional Campo de Los Alisos al sur, con un ancho promedio de 8,5 kilómetros medido sobre la ruta provincial 307. Este incendio afectó principalmente a la Selva Montana y al Bosque Montano de altura. La pérdida de cobertura y protección como consecuencia de este evento, se tradujo en la aparición de numerosos deslizamientos traslacionales durante las tormentas de los años 2000 y 2001, en sectores en donde en el pasado no se tenían registros de movimientos gravitacionales. Hasta la fecha la vegetación original no se ha regenerado del todo, observándose en aquellos sectores afectados por el incendio únicamente la presencia de plantas parásitas, las cuales no ofrecerán resistencia a las intensas precipitaciones del sector. (Fernández, D. S, y Lutz, M.A, 2003)

La mayoría de las fallas en laderas durante sismos se deben al fenómeno de licuefacción en suelos no cohesivos, sin embargo, también se han observado fallas en suelos fracturados durante algunos eventos sísmicos de cierta magnitud a los cuales la Quebrada del río Los Sosa no es inmune. Crecientes bruscas de creeks también pueden ser sumamente peligrosas y destructivas no siendo detectables con equipamiento meteorológico.

Las condiciones meteorológicas, hidrológicas, geológicas y antropogénicas límites no se generan en la ruta a la vera de los campamentos sino, principalmente, en las cuencas altas, en los cursos de agua y en las laderas de las montañas que los contienen, de modo que instalar los componentes principales de detección de eventos del sistema únicamente en los campamentos de la DPVT resultaba inapropiado. Taludes con riesgo potencial de inestabilidad tanto secos como saturados, cañadas estrechas con capacidad para descargar grandes volúmenes de agua, cursos hídricos que pueden inutilizar pasos y puentes en caso de crecidas, entre otros eventos, deben ser monitoreados con estaciones geosísmicas e hidrológicas, entre otras, de manera de poder abarcar con la mayor efectividad posible las distintas causas que producen los eventos de riesgo que se tratan de contemplar con este Sistema de Alerta Temprana en este sector de la RP 307.

Resulta imprescindible un preciso y profundo conocimiento del contexto geográfico en el que se desarrolla la traza del camino a proteger previo a definir el tipo y la localización de las instalaciones de detección, las más importantes desde el punto de vista del objeto básico de un SAT.

Se ha diseñado al SATCAD 307 de forma tal que no resulte una pesada y muy costosa infraestructura de hardware y software tanto en lo informático como en lo telemático, caso de haberse mantenido la propuesta del Pliego. Se ha evitado de esta manera un SAT funcionando sólo con una fuerte dependencia humana, de difícil mantenimiento en el tiempo, con obsolescencia asegurada en muy pocos años dado el vertiginoso avance de la tecnología, y con altos costos ocultos de todo tipo (servicios técnicos especializados en distintas ramas para el mantenimiento, stock de repuestos, etc.)

Su alto nivel de automatismo evita que para su correcta operación se requiera de personal ubicado full time las 24 horas del día en cada campamento involucrado sólo para la atención de este Sistema. Asimismo, no se hace necesario que el personal a cargo deba estar altamente capacitado, su tarea es básicamente supervisoria de bajo nivel. Se ha procurado la menor intervención humana posible con el objeto de que al no participar personas en la operación del SATCAD 307 la probabilidad de fallo humano en momentos de ocurrencia de eventos extremos disminuya radicalmente frente a sistemas cuyo diseño implique un grado mucho menor de automatismo en todas sus etapas (adquisición, procesamiento, control). El SAT instalado es un sistema robusto frente a las fallas humanas tanto en el contexto del personal necesario y disponible como en cuanto a las condiciones en que éste tendría que operarlo.

Por sus características físicas (tamaño, visibilidad, valor individual y utilidad de sus partes constituyentes, portabilidad de los elementos más críticos, etc.) el SCADA del pliego requería medidas de seguridad especiales que aseguraran la integridad de todos sus com-

ponentes al vandalismo externo y/o interno que pudiera producirse a lo largo del tiempo en todos sus lugares de instalación, de alta probabilidad. Los costos ocultos de este rubro pueden llegar a ser muy elevados (locales específicos, medidas de seguridad físicas y electrónicas, mantenimiento, personal, etc.)

En el SCADA original no hay redundancia conceptual ni tecnológica en ninguna de las etapas principales (adquisición, procesamiento, comunicaciones, control) lo cual lo hace sumamente frágil en su respuesta tratándose de un sistema de seguridad de alta criticidad. La falla de cualquiera de sus componentes es la falla del conjunto completo.

Un SATCAD no es un Sistema de Alerta Temprana convencional sino un Sistema de Avisos, Alertas y Alarmas más completo, aunque lo seguiremos denominado SAT por razones de simplicidad y costumbre. Se entiende por Avisos, a los que se producen en concordancia con la detección temprana de uno o más procesos que pueden conducir a eventos de riesgo; por Alertas, a los que se dan cuando se ha detectado un evento de riesgo en plena evolución, y por Alarmas, a las que se emiten cuando el evento de riesgo ya se ha producido. El SATCAD 307 en particular, se ajusta a estas características.

En el Pliego se expresaba que *“Se fijarán condiciones límites, de distintos niveles, para las que se conoce por experiencia que superadas las mismas se producen situaciones de riesgo.”* La pregunta a formularse era: ¿la experiencia de quién? Carece de rigor científico y técnico fijar los umbrales de riesgo de un sistema tan sofisticado como lo es cualquier SCADA y como debe ser cualquier Sistema de Alerta Temprana, en la no verificable experiencia del personal de la Repartición y/o de los paisanos del lugar. Además del testimonio de las personas, siempre subjetivo y no cuantificable, **debe** poder contarse con mediciones representativas, confiables, abundantes y repetidas en el tiempo para poder realizar la calibración de base del SAT. Eso sólo se logra midiendo con los equipos adecuados e interpretando correctamente los resultados obtenidos. El proceso completo resulta de ir almacenando información de cada ciclo Meteo-geo-hidrológico anual vs. Eventos producidos hasta lograr valores confiables de referencia para la calibración de base y de funcionamiento normal de todo el Sistema.

ARQUITECTURA DEL SATCAD 307

- **Misión principal**

Finalmente se dispuso realizar el relevamiento, diseño, construcción e instalación de un Sistema de alerta temprana contra crecientes, aluviones y derrumbes en un sector de riesgo predefinido por las autoridades técnicas de la DPVT, a situarse sobre la Ruta Provincial N° 307, tramo Acheral-Tafí del Valle, en correspondencia con localizaciones históricamente peligrosas comprendidas entre los Km 22 a 43 de dicho tramo y en los Campamentos que van desde el km 11 hasta el km 60 de la ruta, con el fin primordial de permitir el desarrollo de una tecnología verdaderamente adecuada a las particulares y extremadamente complejas características que presenta este camino en el sector de referencia frente a los eventos de riesgo determinados.

- **DAQ, sistema de análisis y control**

El SATCAD 307 es básicamente un conjunto de hardware y software específicamente diseñados y contruidos para permitir la adquisición de datos (DAQ) relacionados con los eventos naturales mencionados. Estos datos son analizados por el equipamiento en tiempo real con el objeto de tomar decisiones entre las cuales se incluye las de controlar a un conjunto de dispositivos que pueden cumplir una variada gama de funciones, principalmente, dar avisos, alertas o alarmas.

La etapa de adquisición de datos cuenta con sensores específicos tanto en su diseño como en la construcción e implantación de los mismos. Estos sensores miden variables meteorológicas, geológicas, hidrológicas y del tránsito, entre otras.

Las funciones de detección, evaluación y transmisión de los eventos puntuales que se desean monitorear en las áreas de riesgo están íntima y efectivamente relacionadas con estos sensores específicos.

Además de la adquisición, transmisión y análisis de datos, y control de cargas pueden hacerse además tareas complementarias de singular importancia tales como post procesamiento complejo de datos para la validación de modelos y ajustes de calibración.

El SATCAD 307 consta de elementos adecuados para su calibrado y control de mantenimiento, alarmas para las variables relevantes del sistema electrónico, almacenamiento de datos con preprocesamiento para su posterior transmisión a sistemas informáticos de escritorio ya desarrollados con los que se pueden realizar una serie de tareas de análisis más refinado y completo de los datos recolectados.

Los beneficios de esta solución tecnológica son múltiples: los microcontroladores que gobiernan a los distintos subsistemas que componen al SATCAD 307 permiten programar cualquier tipo de escenario requerido perfeccionando el funcionamiento del conjunto sin modificaciones de hardware posteriores. A medida que se van acumulando datos de cada temporada hidrológica se puede saber con más certeza cuál es la frecuencia, intensidad, duración y otras características de las crecientes, aluviones y derrumbes en un determinado lugar, sean estos eventos peligrosos o no. El análisis informático posterior de esta información con software de alto nivel permite validar los Criterios establecidos y determinar nuevos, si los hubiera, de modo de reprogramar al equipo confiriéndole mayor precisión y confiabilidad en cada etapa de la detección, la evaluación y el control.

- **Componentes**

Un SATCAD se diseña a partir de redes específicas según sea el tipo de problema que deba atender. Cada una de estas redes se desempeña de forma completamente autónoma en cuanto a propósito, diseño, construcción e implementación, pero pueden funcionar de forma integrada. En el caso particular del SATCAD 307, las redes que lo conforman son las siguientes: (Figura 3)

- Una red limnimétrica (LIMNI)
- Una red pluviométrica (PLUDAN)
- Una red geosísmica (SISMI)
- Una red meteorológica (METEO)
- Varias redes geodinámicas (GEO)
- Varias redes telemáticas (TELE)
- Una red de Avisos, Alertas y Alarmas (AAA)
- Una red de Datos Respaldo
- Centro Local de Control (CLC)

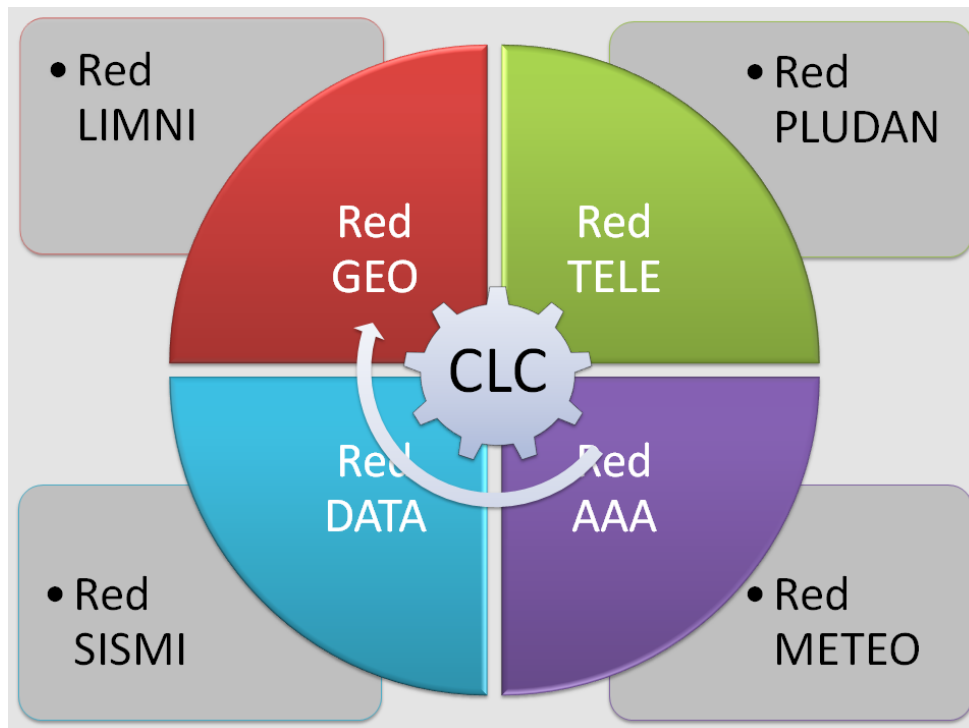


Figura 3. Redes constitutivas del SATCAD 307

En razón de que se procura obtener la mayor cantidad y calidad de datos de los sistemas de información naturales que se están controlando (laderas, cursos de agua, geodinámica, clima, etc.) los nodos de estas redes se han construido de modo tal que funcionen eficientemente en un conjunto denso de elementos instalados en el área que se desea monitorear, y con este único objeto. Estos nodos tienen una elevada capacidad de registro de datos pudiendo algunos de ellos transmitir los mismos hacia nodos de otra clase.

- **Topologías**

Morfológicamente hablando SATCAD 307 es una red polimórfica, es decir una red compuesta por nodos que pueden asumir distintas distribuciones o topologías de acuerdo al diseño funcional específico de la red, especialmente en lo que a la transmisión de datos se refiere. Las topologías de diseño empleadas para los distintos subsistemas fueron las siguientes: estrella, anillo con/sin centro local de control, árbol, parcialmente conexa, bus y anillo bidireccional.

- **Algunas características del sistema informático**

El diseño general de este SAT debía llevar a una Informática de fácil uso e interpretación por parte del personal de la DPVT que tuviere alguna relación con el mismo por lo cual no eran aconsejables sistemas de software de alta complejidad. Se procuró dejarle al hardware y al firmware las tareas de adquirir los datos, procesarlos y transformarlos en información sencilla y rápida de transmitir a los puntos de control automático de avisos en tiempo real.

El Centro Local de Control (CLC) consta de un Sistema Informático Principal (SIP) diseñado para integrar y procesar en tiempo real la información recibida de cada componente de las distintas redes. El SIP permite adquirir datos, registrarlos en bases de datos especializadas, hacer pronósticos de corto plazo, tomar decisiones de control, y dar avisos de todo tipo. A fin de no recargar innecesariamente al SIP y por razones de seguridad informática, tanto de software como de hardware, se han construido Sistemas Informáticos Secundarios (SIS) encargados de atender tareas más especializadas pudiendo gestionarlas y controlarlas en forma autónoma del Sistema Principal en caso de fallo parcial o total del mismo.

- **Vandalismo**

El diseño general y particular de los componentes trata de preservar al equipamiento de cualquier acción de vandalismo, particularmente del robo total o parcial y del daño intencional de todo dispositivo o señal de seguridad.

- **Mapas de Riesgo y Protocolo de Medidas de Ingeniería para control aluvional**

En base a los datos que ya está obteniendo el SATCAD 307 desde su instalación y a partir de las experiencias realizadas con el sistema funcionando, se han comenzado a construir distintos mapas de riesgo (meteorológico, hidrológico y microsísmico) para el área que está siendo monitoreada. También se ha elaborado un protocolo con sugerencias de medidas estructurales de ingeniería de prevención y/o corrección a realizar regularmente por parte del personal de Conservación de la DPVT respecto al manejo aluvional del sector instrumentado para lograr la mejor respuesta posible del sistema montaña-ruta-SATCAD 307 en caso de eventos hidrogeológicos extremos.

PROTOTIPACIÓN

A fin de confirmar que la solución tecnológica que se buscaba con este SAT sea lo que razonablemente se esperase del mismo y, previo a su instalación final, se estableció la realización de pruebas de funcionamiento. Estas pruebas consistieron en la realización de demostraciones de campo con prototipos materiales del equipo y su software de control a fin de demostrar la factibilidad técnica (diseño general y particular, funcionalidades, componentes, geometría, etc.) de las soluciones a implementarse. (Figura 4) Se prototiparon los componentes correspondientes a un Sistema de Alarma contra Crecientes Inminentes y a un Sistema de Alarma contra Derrumbes y Aluviones, complementados con un Sistema de Avisos, Alertas y Alarma. A continuación de las pruebas de funcionamiento mencionadas, una vez aprobadas, se dio inicio al período de construcción final el cual concluyó con la instalación de todo el equipamiento completo.



Figura 4. Pruebas in situ con prototipos del SATCAD 307 para la validación del diseño

INSTALACIÓN FINAL

Todos los componentes de hardware, firmware y software de los sistemas que componen a este Sistema de Alerta Temprana contra Crecientes, Aluviones y Derrumbes han sido específicamente diseñados y contruidos para la RP 307 en la provincia de Tucumán. De este modo se puede lograr una respuesta inmediata a las contingencias técnicas que pudieran producirse dada la complejidad de la tecnología a utilizar y al comportamiento no predecible de la Naturaleza en cuanto a sus destructivos aspectos meteorológicos, hidrológicos, geológicos, etc. (Figura 5)



Figura 5. Postes de señalética inteligente en zona aluvional monitoreada

La decisión de disponer tecnología no importada ha permitido contar con asistencia técnica preventiva y correctiva constantes; alta flexibilidad en el perfeccionamiento, actualización y evolución de sistemas y subsistemas; certidumbre y rapidez en la reposición de componentes, bajo costo de mantenimiento, capacitación continua, entre otras ventajas.

PROCESO DE TRANSFERENCIA INSTITUCIONAL

El proceso de transferencia del SATCAD 307 a la DPVT se ha diseñado y programado minuciosamente atendiendo las necesidades, modalidades y posibilidades operacionales de la Repartición y las del Sistema.

La DPVT designó un profesional responsable con un equipo de personal a cargo de la supervisión de las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo que el sistema requiere para asegurar su correcto funcionamiento en el tiempo. Se realizó un extenso y completo programa de capacitación a todo el personal de las distintas áreas que deben intervenir en la gestión del SATCAD 307: supervisión y gestión de datos, mantenimiento, campamentos.

El proceso de capacitación incluyó la formación necesaria para poder confeccionar Mapas de Riesgo de Eventos Extremos (MREE) tales como, aluviones, derrumbes y cre-

cientes a lo largo de toda la RP 307 involucrada en el SATCAD 307. Para el área que está siendo monitoreada ya han comenzado a construir distintos tipos de Mapas de Riesgo meteorológico, hidrológico y microsísmico, en base a los datos que se van obteniendo desde su instalación. Aluviones de importancia del tipo flujo de detritos (debris flow) ocasionando el corte total a la altura del kilómetro 36 de la ruta como del 22/04/2014 y el del 11/03/15 han sido registrados con precisión y volcados a los MREE.

En base a las experiencias de campo realizadas y a los datos provistos in situ por el SATCAD 307 se pudo diseñar un Plan de Manejo Aluvional (PMA) para el sector de alto riesgo de Las Azucenas enfocado principalmente en las tareas de manejo de laderas y de la infraestructura vial de protección existente que es necesario realizar periódicamente en el lugar por parte del Departamento Conservación de la DPVT a fin de morigerar el impacto real que producen sobre la ruta y el tránsito los eventos aluvionales extremos que se registran todos los años en el área de riesgo en donde está instalada este sistema de alerta. Éste fue un aporte genuino no previsto originalmente en el pliego de la obra.

En esta etapa de transferencia se hicieron modificaciones de hardware y firmware para ajustar más la confiabilidad general del sistema en base a los datos de funcionamiento obtenidos a partir de su instalación.

AVISOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

- **Chañaral 2015**

A finales de marzo de 2015, inundaciones repentinas y deslizamientos de tierra devastaron regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo en el norte de Chile. Para los estándares de la mayoría del mundo, los totales de lluvia no fueron extraordinarios, pero en una región desértica en la que precipitan minúsculas cantidades de agua en un año, las fuertes lluvias fueron desastrosas. Por su efecto, metafóricamente hablando, produjeron un verdadero tsunami en el desierto. Según la NASA, los totales de lluvia apenas superaron 50 milímetros, pero cayeron en una de las regiones más secas del mundo. La ciudad de Antofagasta recibió 24 milímetros de lluvia en un día; con un promedio anual de 1,7 milímetros. La localidad de Quillagua vio su primera lluvia en 23 años. El daño más extenso se produjo en la localidad de Chañaral. Como resultado de estos eventos se reportaron 26 personas fallecidas, 101 desaparecidas y 29.739 damnificados. Se decretó el Estado de Excepción Constitucional de Catástrofe y toque de queda para algunas poblaciones con el fin de resguardar su seguridad. El gasto estimado para hacerse cargo de la compleja tarea de la reconstrucción se estimó por ley federal en US\$ 1.500 millones.

Por su emblemática escala y proximidad, el de Chañaral es un aviso muy significativo de los cambios que se están operando en el clima de todo el planeta con consecuencias que están a la vista. Para todos.

- **Puentes dañados en Tucumán en el año 2015**

En la edición del diario La Nación del jueves 12 de marzo de 2015 el periodista Fabián López titulaba un artículo: “El agua arrasó nueve puentes en Tucumán” (Figura 6)

SAN MIGUEL DE TUCUMÁN.- Las lluvias no dan tregua en esta provincia, donde hay varias localidades que permanecen aisladas y cientos de evacuados que rezan para poder encontrar en pie sus casas cuando vuelvan, una vez que baje el agua. Además de inundar pueblos, el desborde de los canales y ríos hizo colapsar la red vial, cortando rutas y destruyendo nueve puentes. Ayer a la madrugada, el puente del río Lules, en el kilómetro 19 de la ruta 301, no soportó la creciente y se desplomó, por lo que quedó interrumpido el paso más utilizado para unir el municipio homónimo con esta capital. El comisario Roque González, de la Unidad Regional Oeste de la policía provincial, informó que el hecho sucedió poco después de las 2, cuando la fuerza de la correntada "socavó unos 15 a 20 metros del puente". El aluvión del río Lules también hizo colapsar el antiguo puente ferroviario. Por otro lado, la crecida del río Zerda, a causa de las fuertes tormentas en el pedemonte, destruyó ayer el puente ubicado en el kilómetro 40 de la ruta provincial 307, que conduce a los Valles Calchaquíes. En tanto, la crecida del río Jaya arrasó con el puente del Parque Nacional Campo de Los Alisos e hizo sucumbir a otros dos en La Sala; mientras que el río Caspinchango deterioró las bases del puente que lo cruza sobre la ruta 324. El pasado fin de semana, por las crecidas que ocasionaron las incesantes lluvias en los cerros, se desplomaron el puente sobre el río La Sala (ruta 305), que une El Sunchal con Villa Padre Monti y Río Nio, y el terraplén de acceso al puente sobre el río Calera (ruta 321). El director de Vialidad, Raúl Basilio, aclaró que la prioridad será habilitar pasos alternativos para que no queden localidades incomunicadas, dado que la construcción de nuevos puentes tardará entre cinco y siete meses. En tanto, el pronóstico meteorológico prevé nuevas tormentas para los próximos días.”



Figura 6. Puentes caídos en Tucumán en 2015 debido a eventos extremos

¿Qué tienen que ver Chañaral en Chile, los puentes caídos y las rutas cortadas en Tucumán en 2015 con la RP 307? Nada, si ven por separado; todo, si se interpretan como parte de un mismo ecosistema regional sometido a eventos naturales globales comunes.

Nunca más apropiada la frase que reza: “Es de sabios saber qué hay al otro lado de la montaña”.

Prepararse frente a un futuro cada vez más preocupante en relación a estos fenómenos naturales extremos y su interacción con personas e infraestructura significa tratar de comprender con el máximo rigor posible lo que sucede en un entorno mucho más amplio que el que sólo rodea a la obra.

EVOLUCIÓN DEL SATCAD 307

El SATCAD 307 ha sido diseñado de forma tal que es posible adicionarle nuevos módulos de monitoreo y control para otros sectores de riesgo hidrogeológico de la ruta de un modo absolutamente flexible y rápido. Del mismo modo puede conectarse a subsistemas informáticos de alta complejidad para la atención de la seguridad de los puentes y de otras obras de arte menor localizados en la ruta de referencia permitiendo alertar oportunamente a las autoridades viales y provinciales pertinentes acerca del riesgo de daños que pueden sufrir estas estructuras de acuerdo a la evolución de los eventos extremos en desarrollo.

CONCLUSIONES

La implementación del SATCAD 307 en la ruta que discurre por la Quebrada de los Sosa tal vez pueda ayudar a relacionarnos de otra manera con la Naturaleza y sus efectos destructivos en la vida y obra humana. La enorme cantidad de datos que está generando puede servir, una vez analizados e interpretados debidamente para transformarlos en información útil, para entender cómo verdaderamente funciona la montaña respecto al camino en distintas condiciones a lo largo del tiempo. Sólo si los ingenieros logramos armonizar correctamente el “lenguaje” Medio ambiente - Hombre podremos diseñar y construir sistemas tecnológicos lo suficientemente confiables y duraderos para salvar vidas y ahorrarnos ingentes pérdidas y sufrimientos.

AGRADECIMIENTOS

A Lucre y Eric por su incondicional apoyo en todas las fases del proyecto.

Al siguiente personal de la Dirección Provincial de Vialidad de Tucumán:
Ing. Dante Luis Divizia, por su enorme lucha administrativa para que el SATCAD 307 se pudiese construir tal como es. Lic. Fernando Ledesma, por su constante apoyo y comprensión de lo nuevo en las etapas de gestión inicial, prototipación y transferencia final. Ing. Hugo Romero, por su sostén en algunos momentos críticos del trabajo. Profesionales y técnicos de la División Conservación que se comprometieron con el proyecto en la etapa de instalación. Capataces, carperos y obreros de los campamentos Km 11, Km 23, Km 30, Km 38 y Km 60 de la RP 307 por su desinteresada colaboración y actitud positiva frente a la instalación de una tecnología desconocida para la Repartición.