



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

# Telenivómetros

Autor: Javier Alaiz Arnau

Institución: SICE- Fund. ACS

E-mail: [jalaiz@sice.com](mailto:jalaiz@sice.com)



## RESUMEN:

La nieve es una reserva natural de agua, que alimenta las cuencas hidrográficas tras el deshielo primaveral. Prever el caudal que se originará tras la fusión nival es muy importante para regular y economizar el agua embalsada. La Dirección General del Agua lleva aproximadamente veinte años perfeccionando el método de cálculo del agua procedente de la innivación. Para ello viene desarrollando desde 1984 el programa ERHIN (Estudio de los Recursos Hídricos procedentes de la Innivación), que se inició en los Pirineos, y cuya finalidad es el control sistemático de las reservas nivales con el fin de integrar las aportaciones hídricas producidas por la fusión de estas reservas en la gestión general de los recursos hídricos del territorio. La Confederación Hidrográfica del Ebro realiza desde 1987 tres mediciones anuales mediante la lectura directa en las balizas o pértigas, divididas en bandas según un código de colores para facilitar las lecturas; las densidades se obtienen a partir de testigos extraídos de la capa de nieve mediante sondeos. De entre los sistemas de medida a los que se puede optar en la actualidad para realizar una medición continua de los valores de las reservas nivales, el tipo de medidor elegido es el telenivómetro basado en la absorción de rayos cósmicos (NCR), el cual ofrece un mejor comportamiento y mayor fiabilidad que otros sistemas anteriores. SICE es la única empresa en España con formación y experiencia en dichos Telenivómetros por rayos cósmicos, habiendo realizado el suministro, instalación, puesta en marcha, mantenimiento e integración con los sistemas de gestión de recursos hídricos en los SAIH del Tajo, Ebro y actualmente, Duero. Los Equipos de Medición de Rayos Cósmicos (NCR) ó Telenivómetros se basan en un Captador de rayos cósmicos (RC) y un sistema de alimentación, un conjunto de Adquisición de Datos y un sistema de transmisión de los mismos hasta el Centro de Control. Todo el conjunto excepto el sensor RC está emplazado en un mástil de 4 a 8 metros de altura, apto para resistir el esfuerzo provocado por vientos de hasta 200 km/h. Además de la medida del Equivalente en agua, cada Telenivómetro mide automáticamente el espesor de la capa de nieve, la temperatura del aire y la presión atmosférica. La transmisión de los datos puede realizarse vía enlace RTC, GSM ó también mediante satélite, optándose por este último método.



## EL PROGRAMA ERHIN DE NIVOLOGÍA

La nieve es una reserva natural de agua, que alimenta las cuencas hidrográficas tras el deshielo primaveral. Prever el caudal que se originará tras la fusión nival es importante para regular y economizar el agua embalsada. La Dirección General del Agua (antes Dirección General de Obras Hidráulicas) lleva aproximadamente veinticinco años perfeccionando el método de cálculo del agua procedente de la innivación.

Para ello la Dirección General del Agua viene desarrollando desde 1984 el programa ERHIN (Estudio de los Recursos Hídricos procedentes de la Innivación), que se inició en los Pirineos, y cuya finalidad es el control sistemático de las reservas nivales disponibles en cada momento en las diferentes cuencas, con el fin de integrar las aportaciones hídricas producidas por la fusión de estas reservas en la gestión general de los recursos hídricos del territorio.

Las mediciones realizadas permiten conocer el espesor y densidad de la nieve en determinados puntos elegidos estratégicamente para, a partir de estos valores, evaluar el volumen de nieve almacenada y su equivalente en forma de agua. Finalmente, mediante la aplicación de diferentes métodos, se calcula la cantidad de agua que proporcionará la nieve al derretirse, a las cabeceras de los ríos y a los embalses.

El programa ERHIN dispone de una red de 260 puntos fijos de control del manto nival, instalados a partir de 1985 y repartidos a lo largo de las tres cadenas montañosas en las que, por su mayor interés, se ha desarrollado dicho Programa: Pirineo (113), Cordillera Cantábrica (127) y Sierra Nevada (21). En estos ámbitos cada temporada invernal se realizan, como norma, tres campañas de toma de datos nivales en las que se evalúan superficies, espesores y densidades de la capa de nieve para, a través de los correspondientes cálculos, determinar la reserva de agua en forma de nieve para cada una de las cuencas consideradas.

Es muy importante seleccionar adecuadamente las zonas en las que se van a instalar los elementos que proporcionarán la información necesaria para calcular el volumen de agua que se puede prever tras el deshielo. Para ello varios equipos recorrieron el Pirineo Central en invierno y en verano para ver dónde debían de colocarse las pértigas encargadas de medir los parámetros de la nieve.

Una vez elegidos los emplazamientos que, por diferentes criterios, se consideraron representativos de las características del manto nival en su entorno, se instalaron unas pértigas graduadas en diferentes colores, para facilitar la lectura del espesor de la nieve en ese punto, medida que se complementa con la densidad de la nieve de las muestras extraídas en el lugar en cada una de las campañas de medición realizadas a lo largo del año. Actualmente la elección y lectura de los puntos se realiza con la ayuda de un helicóptero.

Para la evaluación de los recursos hídricos en forma de nieve existentes en el momento en el cual se ha realizado la campaña de campo, se aplica un modelo estadístico-hidrológico a cada una de las zonas que previamente se han definido por un comportamiento nival homogéneo.



En base a la aplicación de este análisis a los valores puntuales registrados en campo, se obtiene la denominada "Ley de Innivación" que permite evaluar el volumen de agua en forma de nieve disponible en el momento de la medición para la cuenca estudiada.

Con todos los datos y análisis realizados para cada una de las mediciones de campo se genera un informe, que representa las disponibilidades hídricas en forma de nieve detalladas para cada una de las subcuencas.

En todas las cadenas montañosas estudiadas la fusión principal de la nieve se concentra en los últimos meses de la primavera y principios del verano. Por ello la última de las mediciones realizadas cada año (los primeros días de mayo, normalmente) permite cuantificar con mucha aproximación los volúmenes de agua que transportarán los ríos como consecuencia de la fusión del manto de nieve formado en la alta montaña durante el invierno.

Además de los procedimientos de cálculo que parten de las mediciones directas de la nieve depositada y del agua procedente de la fusión, el Programa ERHIN ha desarrollado un modelo hidrológico (ASTER) que, a partir de datos termo pluviométricos, permite el control continuo de los procesos de acumulación y fusión en todas las cuencas nivales del Pirineo español. El modelo ASTER se aplicó en primer lugar (1995) en la cuenca alta del río Aragón (embalse de Yesa).

## **TELENIVÓMETROS, MEDICIÓN CONTINUA DE LA RESERVA NIVAL**

De entre los sistemas de medida a los que se puede optar en la actualidad para realizar una medición continua de los valores de las reservas nivales, el tipo de medidor elegido es el telenivómetro basado en la absorción de rayos cósmicos (NRC), el cual ofrece un mejor comportamiento y mayor fiabilidad que otros sistemas probados anteriormente.

Cabe citar como ventaja sobre otros sistemas anteriores utilizados con el mismo propósito, el hecho de que este sistema no utiliza medición mediante isótopos, lo que supone una ventaja máxime habida cuenta la implantación en ubicaciones remotas y espacios naturales del medidor NRC.

En España están instalados en la actualidad equipos de estas características en las siguientes cuencas:

- Cuatro equipos en funcionamiento en el SAIH del Tajo
- Doce equipos en funcionamiento en el SAIH del Ebro
- Doce equipos en el SAIH del Duero, que acaban de ser instalados

Existe asimismo una importante cantidad de Telenivómetros NRC instalados en otros países europeos, sobre todo en la zona de los Alpes y Pirineos franceses.

En la foto siguiente puede verse un Telenivómetro instalado en los Pirineos próximo a una pértiga de control visual del espesor de nieve.



## COMPOSICIÓN DEL EQUIPO

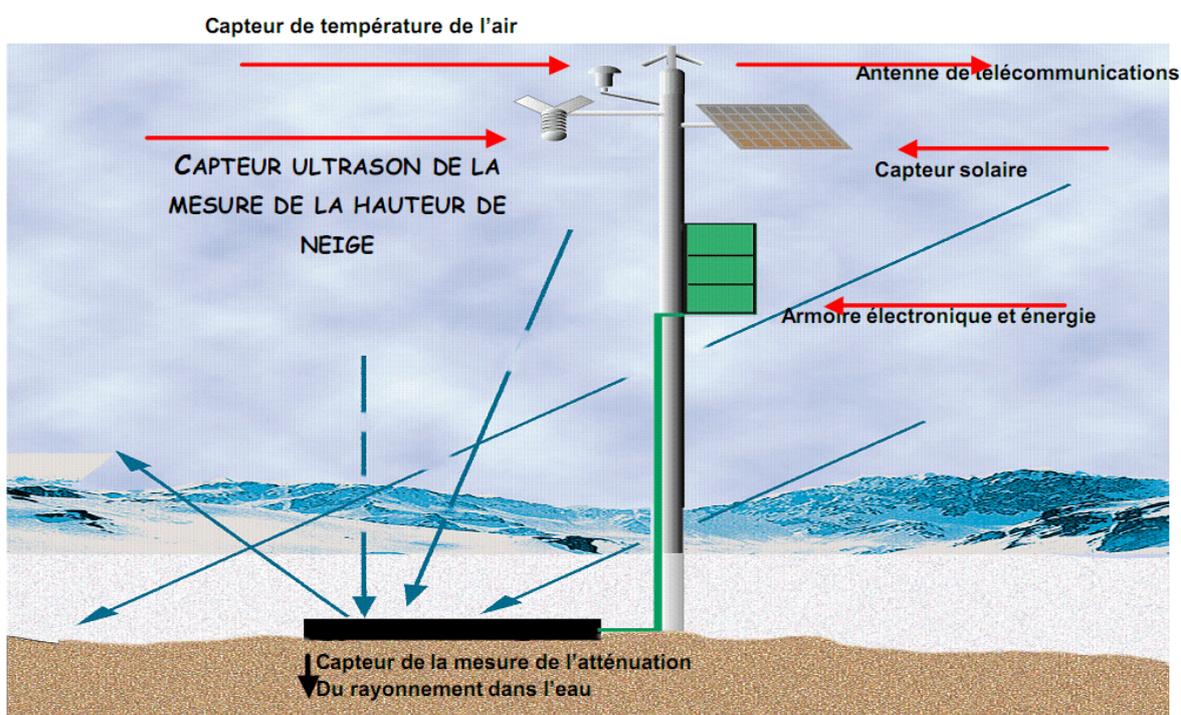
Los Equipos de Medición de Rayos Cósmicos (NRC) ó Telenivómetros están formados por los siguientes elementos:

- Captador de rayos cósmicos (RC), enterrado en ubicación cercana al mástil
- Medidor de presión atmosférica
- Medidor de temperatura
- Medidor ultrasónico (US) para la medida de altura de nieve.
- Conjunto de Adquisición de datos, comunicaciones y sistema de protección.
- Sistema de alimentación con panel solar, baterías y regulador fotovoltaico.

Todo el conjunto está emplazado en un mástil de 4 a 6 metros de altura, el cual debe resistir el esfuerzo provocado por vientos de hasta 200 Km/h, de acuerdo a Eurocode 3.

Los datos brutos recibidos por el medidor RC, el medidor de presión atmosférica, temperatura y medidor ultrasónico son recogidos por una remota que trata estos datos y los envía al centro de control de cuenca, típicamente mediante enlace vía satélite.

En el esquema siguiente pueden verse representados los elementos más importantes de un Telenivómetro.



## CRITERIOS DE INSTALACIÓN DE LOS TELENIVÓMETROS NRC

Los criterios básicos para instalación de Telenivómetros de rayos cósmicos (NRC), siguiendo las reglas generales utilizadas en emplazamientos ya realizados tanto en España como en otros países europeos son:

- Análisis previo con campañas de medida (pértigas) para la elección del mejor emplazamiento de medida.
- Determinación de la cota de implantación, considerando todas las limitaciones que implique la exacta ubicación (permisos, accesos en épocas y campañas invernales, uso de medios especiales –helicópteros, etc.)
- Planificación de instalación y trabajos más importantes, acomodada a los periodos practicables (periodos entre junio y noviembre).
- Problema de paso de animales (zonas de trashumancia en pasos naturales transpirenaicos).
- Problemas de robo y vandalismo.



- Problemas atmosféricos (incidencias de rayos y tormentas por las especiales ubicaciones).

## **CARACTERÍSTICAS DE LOS EMPLAZAMIENTOS**

Las características que debe reunir el emplazamiento de los equipos de telenivometría NRC son:

- Entorno despejado, libre de cualquier tipo de obstáculos
- Zona con bajo riesgo de aludes
- Emplazamientos entre 1.700 y 2.800 de altitud
- Superficie lo mas plana posible con una pendiente aconsejable entre un 2% y 3%.
- Orientación adecuada para la alimentación paneles solares.
- Posibilidad de fácil acceso a vehículos (vehículos todoterreno, trineos ó suficiente espacio para aterrizajes)
- Señalización adecuada del sensor de rayos cósmicos y el cableado enterrado
- Mimetización de estructura y sensores.
- Elementos escamoteables para evitar accesos no deseados.

## **TELENIVÓMETRO DE REFERENCIA**

Adicionalmente a la cantidad de medidores instalados en los puntos representativos de las cuencas, existirá un Telenivómetro patrón o de referencia de absorción de rayos cósmicos, en zona sin innivación, el cual realiza la función de referencia para la medida del resto, con el fin de disponer de una corrección para las fuentes de variación de los rayos cósmicos que se indican a continuación:

- La erupción solar (efecto GLE, Ground Level Event)
- El evento "Forbush" caracterizado por una disminución rápida del flujo y un lento restablecimiento de este en varios días.
- La disminución del flujo a nivel del suelo en el ciclo solar

Estas causas de fluctuación en el espacio y tiempo hacen necesaria la utilización simultánea de dos captadores, uno de ellos como equipo de medición en el emplazamiento a controlar, mientras que el otro fuera de zona innivada, se utilizaría como referencia.

La relación de los porcentajes de medición de ambos captadores elimina de modo automático las variaciones inducidas por los fenómenos apuntados anteriormente.



Así pues, una red de medición está formada por un conjunto de medidores NRC y una estación de referencia.

## SOFTWARE DE CONTROL

La unidad remota que se encuentra alojada en el interior de los Telenivómetros está controlada por el software ALPHEE, se encarga del almacenamiento de todos los datos recibidos por los sensores, la gestión de la alimentación y la gestión del módem al que esté conectado, normalmente satélite.

Éste mismo software se encuentra en el CPC (Centro de Proceso de Cuenca) instalado en un PC específico, que es el encargado de controlar cuándo recibir los datos de los distintos Telenivómetros instalados en campo, y almacenarlos para su posterior tratamiento.

El software ALPHEE permite elegir a qué equipo se quiere llamar, ver los datos en tiempo real del equipo, así como todos los valores históricos recibidos hasta la fecha.

El ALPHEE se encarga de la capa física de la comunicación, realizando el diálogo entre el PC del centro de control y la remota que controla el nivómetro en el campo. Permite conectarse con los Telenivómetros tanto remotamente a través de una llamada telefónica como en local a través del puerto serie directamente, como se realiza durante el mantenimiento y puesta en marcha de los mismos

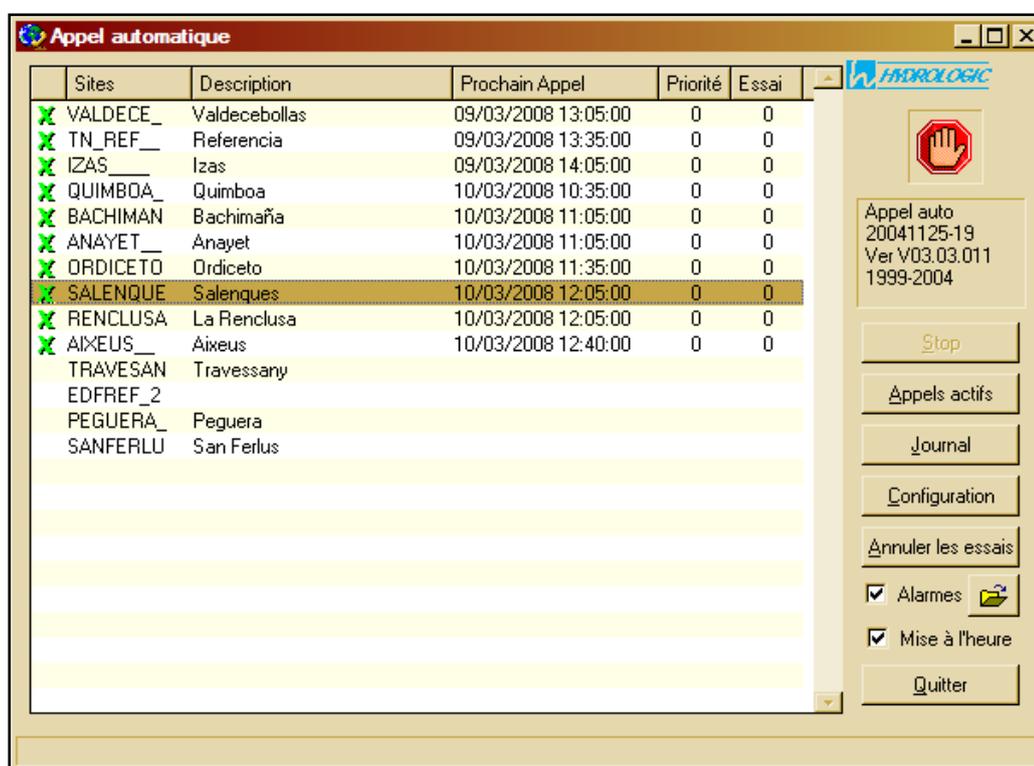
En la siguiente imagen puede verse una captura de pantalla del software ALPHEE.

The screenshot displays the 'Alphée Win / Hydrologic Grenoble-France' application window. The main interface is divided into several sections:

- Navigation:** 'Caractéristiques', 'Valeurs historiques' (selected), 'Paramètres', and 'Valeurs courantes'.
- Measurement Channels:** A list on the left includes '00: Station', '01: Hauteur neige', '02: Pression', '03: Temperature' (highlighted), '04: Valeur en eau', and '05: Tension'.
- Table:** A table with columns 'Date et heure', 'Voie', 'Valeur', 'Unité', and 'Libellé'. It shows a series of temperature readings from 22/09/2008 23:00:00 to 23/09/2008 12:00:00. The selected row is 23/09/2008 07:00:00 with a value of 6.00 c.
- Filters:** 'Tri par date' and 'Traitement' buttons.
- Options:** 'Type de mesure' with 'Mesure' checked and 'Alarme' unchecked. 'Afficher les valeurs', 'Imprimer', and 'Exporter' buttons.
- Time Range:** 'Date de Début' (09/11/2006), 'Date de Fin' (07/10/2008), 'Heure début' (00:00:00), and 'Heure fin' (23:59:59).
- Status:** 'Nombre total de valeurs historiques : 87142' at the bottom.

Además del tipo de comunicación que establece normalmente el software ALPHEE para la descarga de datos almacenados en la remota, éste permite un modo de comunicación con los Telenivómetros mucho más complejo y a bajo nivel, que permitirá realizar el mantenimiento a los mismos, comprobar y modificar todos los parámetros de funcionamiento y de configuración de los equipos instalados en campo.

Para automatizar la tarea de realizar llamadas periódicas a los Telenivómetros se encuentra el software denominado APPEL AUTOMATIQUE, en el que se programan todos los parámetros de la comunicación con los equipos: a qué hora se quiere realizar la comunicación, cuantos intentos se tienen que realizar, qué datos le va a pedir al mismo, dónde debe guardarlos una vez recibidos, etc.



Los datos una vez recibidos en CPC, han de ser procesados, siendo comparados con los valores recibidos a su vez del telenivómetro de referencia. Después de ser tratados mediante un complejo algoritmo se determina el valor final del equivalente en agua disponible en la cuenca. El software encargado de dicho cálculo es el TRADE.

Dicho software nos permite ver gráficamente de manera mucho más intuitiva que con los programas anteriores los valores de todos los sensores instalados en campo, y de algunos parámetros internos del equipo, para su mantenimiento.

En la siguiente captura de pantalla puede observarse cómo varían los valores de la tensión en un Telenivómetro conforme a la carga y descarga producida diariamente.



El parámetro más importante de todos los que aporta el TRADE es el equivalente en agua. Para obtener dicho valor es necesario tener ubicado perfectamente el emplazamiento (altitud, coordenadas), haber recibido los valores de todos los sensores del emplazamiento y los valores del telenivómetro de referencia, y además haber ajustado perfectamente todo el sistema.

Para ser ajustado el sistema, será necesario realizar durante varios años campañas de medición de datos nivales. Los valores obtenidos mediante dichas campañas se incorporarán al software TRADE, y dicho software también los tendrá en cuenta para proporcionar el dato de equivalente en agua de la reserva nival existente. El TRADE irá ajustando y modificando ligeramente su estimación de reserva de agua teniendo en cuenta éstos valores obtenidos manualmente.

A continuación se muestra una gráfica del software TRADE, en la que se pueden observar (aspas rojas) las mediciones manuales introducidas en el sistema.



La siguiente gráfica del software TRADE muestra el equivalente en agua de la reserva nivel de las distintas subcuencas que conforman una determinada cadena montañosa.



A pesar del sencillo interfaz de los sistemas ALPHEE y TRADE, y que proporcionan respuestas como las mostradas en la captura de pantalla superior, se vio la necesidad de incluir los valores obtenidos por el TRADE, en el software de gestión de las cuencas donde estuvieran instalados, típicamente SCADA. Estos datos a su vez serán tenidos en cuenta por el software de modelización de las distintas cuencas.

SICE ha desarrollado los programas de adaptación y sincronización del software TRADE con los SCADA instalados en las cuencas en las que hay Telenivómetros funcionando.

Debido a la experiencia ya acumulada con los sistemas de telenivometría mediante medición de rayos cósmicos, SICE es la única empresa en España con formación y experiencia en todas las fases de implantación de los Telenivómetros.

Así pues, mediante acuerdos marco realiza el suministro de los mismos, su instalación en los emplazamientos seleccionados, su puesta en marcha y comprobación del buen funcionamiento, el mantenimiento de las instalaciones mediante personal altamente cualificado acostumbrado a trabajar en condiciones climatológicas extremas, así como la última integración con los sistemas de gestión de recursos hídricos en los SAIH.