

SELECCIÓN, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES PARA LA MONITORIZACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

José Ramas Ayala*

RESUMEN

La monitorización de aguas subterráneas facilita el estudio de los recursos hidrogeológicos para realizar actividades de prevención, corrección y control. La espectrofotometría es la técnica más avanzada para determinar nitratos en sondeos por su bajo mantenimiento y consumo al no necesitar sistemas de bombeo para pasar las muestras por las cámaras de medida. Los registradores automáticos o dataloggers se destacan en la creación de redes de control automáticas al incluir sensores inteligentes capaces de medir, registrar y transmitir a la vez. Los sistemas de teletransmisión líderes son los satélites de baja órbita Orbcomm para servicios de comunicación bidireccional de datos y localización de todo tipo de activos.

Palabras clave

Instrumentación; monitorización; red; control; sensores; nitratos; espectrofotometría; limnígrafos; datalogger; teletransmisión.

ABSTRACT

Groundwater monitoring is central for water resources protection, remediation and control. Spectrofotometry is the state-of-the-art technology for nitrate determination at bore holes due to low maintenance and power requirements as pumping systems to draw samples to the measuring chamber is not needed. Dataloggers lead automatic control nets since intelligent sensors which measure, record and transfer data at once can be included. Orbcomm low-orbit satellites constitute an outstanding teletransmission system to bi-directional communication data services and multiple assets localization.

Key words

Instrumentation; monitoring; net; control; sensors; nitrate; spectrofotometry; water level recorders; datalogger; teletransmission.

INTRODUCCIÓN

El control y el seguimiento de las aguas subterráneas es fundamental a la hora de estudiar los recursos hidrogeológicos para de esta forma poder establecer mecanismos de protección de los recursos disponibles y acometer las actuaciones pertinentes en el caso de que fuesen necesarias.

Un buen diseño y construcción de una red de control redundará en el rendimiento de los sistemas seleccionados y en la calidad de sus medidas. En el proceso de construcción de una red de monitorización para aguas subterráneas se deberá tener en cuenta la localización idónea de la zona a estudiar, tanto en sus unidades hidrogeológicas como en la construcción de los piezómetros a controlar. Una vez definidos, localizados y ejecutados los piezómetros, es preciso seleccionar el tipo de parámetro a controlar, y por tanto, diferenciar entre red de seguimiento de los niveles piezométricos y red de control de calidad de las aguas.



Red automática de control en La Moraña, Junta de Castilla León TRAGSATEC

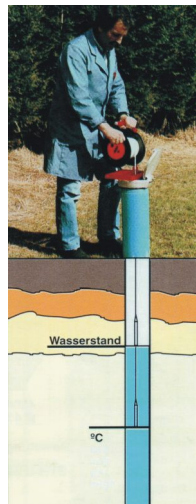


Figura 1. Control del nivel de piezómetro con sonda KII de Seba

La medida del nivel piezométrico permite cuantificar los volúmenes de agua almacenada en los acuíferos y controlar la explotación de los mismos, proporcionando además una valiosa información acerca del funcionamiento de estos sistemas naturales. La importancia de este parámetro y de su medida ha generado un importante desarrollo tecnológico destinado a la obtención en continuo del nivel piezométrico, siendo las soluciones adoptadas diferentes en función del sensor utilizado y del principio físico en el que se basan. El control de las primeras redes instaladas se efectuaba mediante operarios (Fig. 1) que se encargaban de tomar medidas puntuales con sondas eléctricas de nivel. Estas medidas eran escasas por ser muy dilatadas en el tiempo. En algunos puntos se instalaban sistemas mecánicos de registro en continuo a través de limnigrafos de registro vertical (Fig. 7) basados en un sistema de flotador y contrapeso que se describirá mas adelante. El problema de este tipo de control estribaba en su mantenimiento, debido a los tiempos de registro limitados en el mejor de los casos a dos meses y a la compleja interpretación de sus gráficas.

En la elección de este tipo de instrumentación es necesario tener en cuenta varios factores como es el elemento de medida a utilizar, el tipo de alimentación que requiere el sistema y el método de captura de datos que se vaya a emplear. Dentro de la selección del tipo de medida se pueden diferenciar dos elementos: control de las fluctuaciones del nivel piezométrico y la medición de la calidad de las aguas. La primera permite cuantificar los volúmenes de agua almacenada en los acuíferos y controlar la explotación de los mismos, proporcionando además una valiosa información acerca del funcionamiento de estos sistemas naturales. Muchos son los métodos actuales de monitorización de variaciones del nivel de la lámina del agua que se pasan a describir a continuación y que

deberán elegirse según las características del punto de medida, la precisión requerida y el presupuesto con el que se cuente.

SENSORES

Sensores mecánicos

Consisten en un sistema de flotador y contrapeso que, unidos por un cable (cinta perforada o cuerda con bolas adheridas), pasan por una polea (de doble canal para evitar el deslizamiento) que gira en función de las oscilaciones del nivel del agua (Figura 2). Estos giros en los sensores, a diferencia de los limnigrafos mecánicos, se transforman en señales eléctricas mediante potenciómetros o mediante codificadores angulares (encoders). Los primeros lo hacen a través de un sistema electromecánico de pequeños engranajes y los codificadores mediante un sistema electrónico de funcionamiento magnético u óptico. Los últimos ofrecen una mayor precisión al digitalizar la señal eléctrica, aunque la elección del convertidor dependerá además del presupuesto, la alimentación y la durabilidad.

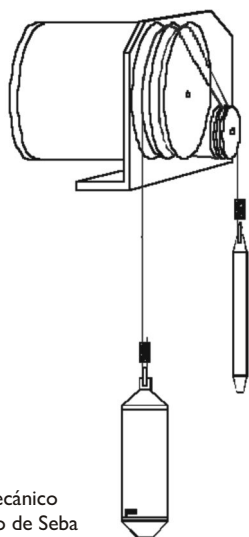


Figura 2. Sistema mecánico de flotador y contrapeso de Seba

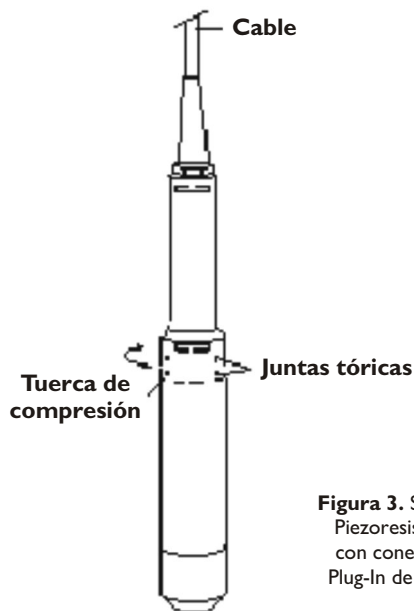


Figura 3. Sensor Piezoresistivo con conector Plug-In de Seba

Sensores de presión

La medida obtenida con estos sensores aprovecha la propiedad de algunos materiales en los que, cuando son sometidos a una corriente eléctrica, se produce una variación en ésta debido a la deformación del material por la presión de la columna de agua. De esta forma, la variación de tensión eléctrica será proporcional a la altura de la columna de agua existente sobre el sensor. Este dispositivo eléctrico es denominado transductor de presión, hablándose de sensores piezoresistivos cuando el material sea sílice y de células capacitivas cuando se trate de materiales cerámicos.

Los sensores piezoresistivos más extendidos para la medida del nivel de agua ofrecen una precisión próxima al 0,1%. Además, se han adoptado diversas soluciones para rebajar los costes de reparación y mantenimiento, como es la posibilidad de desconectar el sensor del cable mediante

dispositivos plug-in de forma que cuando se tenga que calibrar o reparar el sensor en el taller técnico no se necesite transportarlo con el cable, pudiendo llevar un sensor de repuesto el encargado de mantenimiento y cambiarlo en el campo en el caso de encontrarse con alguna anomalía (Fig. 3).

Medición por burbujeo

Estos sistemas inyectan aire comprimido en el fluido en forma de burbujas a través de un tubo transmisor utilizando un pequeño compresor interno o una pequeña bomba de pistón. La columna de agua situada sobre el orificio de salida ejerce una presión que es transmitida a un sensor piezoresistivo de presión de forma que no se mida la presión hidrostática, sino la presión de aire equivalente a ésta. Estos sensores trabajan con rangos tan pequeños que se les descarta para medición en aguas subterráneas profundas y tampoco admiten una variación de nivel muy rápida como puede ser el caso de sondeos de abastecimiento en los que se desea controlar variaciones repentinas de arranque de la bomba.

Existen otros muchos métodos para medir el nivel de la lámina del agua como es el caso de los sensores ultrasónicos, radar, etc. que no son aconsejables para el control de las aguas subterráneas debido a sus limitaciones por las reflexiones que producirían las paredes del sondeo.

Medida de parámetros de calidad

La preocupación por la calidad de las aguas subterráneas ha permitido un importante desarrollo en las tecnologías que permiten caracterizar el agua en función de ciertos parámetros fisicoquímicos. De esta forma, hoy en día, los sensores más frecuentes suelen medir:

- **Temperatura:** Importante para el control de las reacciones químicas. Estos

sensores miden en rangos 0-50 °C con una precisión de 0,15 °C.

- **pH:** Controla la actividad de iones de hidrógeno (acidez o alcalinidad). Miden todo el rango (0-14pH) con una precisión de 0,1 pH.
- **Potencial redox (ORP):** Importante para, por ejemplo, riego de desechos industriales con aguas tratadas. Suelen medir en un rango de 2000 mV con un error de 2 mV.
- **Conductividad:** Mide la actividad iónica en soluciones acuosas y es utilizado también como índice de contaminación. Rangos de 0-100 mS.
- **Oxígeno disuelto:** Junto con el pH y el ORP es un buen indicador de susceptibilidad del sondeo a la corrosión química. Pueden medir hasta 60 mg/l con una precisión del 0,5%.
- **Turbidez:** Parámetro que sirve para controlar el comportamiento de los filtros del sondeo instalados.

Existen otros parámetros donde los equipos resultan demasiado costosos y necesitan una calibración frecuente, como son por ejemplo el cloro libre residual, aceite en aguas fosfato amonio, fluoruros y nitratos.

Actualmente se dispone de sondas multiparamétricas (Fig. 4) que integran varios sensores en su interior de forma modular pudiendo obtener diferentes combinaciones de sensores según las necesidades del usuario. De esta manera también se abaratan los costes de reparación puesto que se permite una sencilla retirada de los sensores de forma individual.

Dentro del control de las aguas subterráneas, los nitratos son uno de los parámetros que más importancia están adquiriendo en la

actualidad, por causa de las zonas agrícolas y ganaderas. Los compuestos nitrogenados del agua provienen en gran medida de la materia orgánica o vegetal, siendo los nitratos la forma más oxidada del nitrógeno.

Figura 4. Sonda multiparamétrica KLL-Q-D (pH/ Redox/ °C/ O₂/ Conductividad Turbidez/Nivel Calidad) de Seba



Desde el punto de vista de la potabilidad, los nitratos no son nocivos, si bien la posibilidad de reducirse a nitritos les hacen peligrosos en grandes cantidades, ya que al ser ingeridos especialmente por los niños, cuyos jugos gástricos son poco ácidos, se desarrolla una abundante flora bacteriana reductora y los nitritos resultantes provocan cianosis.

El origen de los nitratos se encuentra esencialmente en las rocas que los contienen, en el uso de los fertilizantes y por oxidación bacteriana de las materias orgánicas eliminadas por los animales. En las aguas superficiales se encuentran en escasas proporciones. En las subterráneas pueden llegar a exceder los 60 mg/l.

El límite máximo en aguas de bebida se encuentra en unos 10 mg/l como nitrógeno en sus distintas formas (nitratos, nitritos, amonio). Como ión nitrato NO₃⁻ se admiten 30 mg/l. También cabe destacar que como

algunos iones monovalentes es posible de la forma más cómoda con un electrodo de ión selectivo, en este caso mediante un par de electrodos, uno de referencia o de pH y otro específico de nitrato.

Existen métodos basados en autoanalizadores de técnica colorimétrica o por electrodo de ión selectivo (Fig. 5), es decir instrumentos que se encargan de emular un laboratorio de forma automática con sistema de preparación de la muestra, dosificación de reactivos, control de la muestra en baños termostáticos, etc. Para que la medida sea fiable y el proceso pueda realizarse en continuo y automáticamente, el equipo de medida requiere unas condiciones de caudal de muestra constante, a temperatura también constante y en un equipo con microprocesador que regule estas condiciones así como su autocalibración a dos os



Figura 5. Autoanalizador para la medición de nitratos en continuo de GLI

puntos. Al hacerse la autocalibración el equipo indicará la desviación y la corregirá hasta los límites en que los electrodos lo permitan. Cuando alguno de los dos electrodos se vaya deteriorando, el equipo llegará un momento en que no pueda corregir la desviación y dará una alarma que nos indique que se debe cambiar los electrodos o uno de ellos. El problema radica en su alto mantenimiento y consumo, puesto que estos sistemas requieren una alimentación eléctrica a la red o la instalación de grades paneles fotovoltaicos. Por otra parte este tipo de autoanalizador necesita un sistema de bombeo capaz de llevar la muestra hasta la cámara de medida, aumentando así el consumo energético.

Sin embargo existe otro método más fiable y avanzado que los descritos con anterioridad que se denominada técnica espectrofotométrica basado en la medida espectral (Fig.6). Utiliza un espectro de ultravioleta visible UV-Vis (200-380 o 190-750 nm.). Los haces de luz, desde ultravioleta hasta completar el rango de visible, atraviesan la muestra y la transforma en el parámetro deseado dependiendo de la cantidad de luz recibida. Utiliza los calibradores específicos y puede ser de ayuda en algún tipo de software diseñado específicamente para este tipo de medida. Este método evita la dificultad de otros cuando existen altos contenidos de carbono o de sólidos. Su tiempo de respuesta es muy corto (15 sg.) y puede alcanzar concentraciones de hasta 0,01 mg/l. La ventaja fundamental es su bajo mantenimiento y consumo ya que no necesitan incorporar sistemas de bombeo que hagan pasar una muestra por su cámara de medida. Este sistema se está instalando en la actualidad en piezómetros de observación en los países de Europa Central, obteniéndose unos resultados muy satisfactorios para la monitorización de los nitratos en las aguas subterráneas.

REGISTRADORES

El registro de datos consiste en el almacenamiento de las señales producidas por los sensores previamente convertidas a sus unidades correspondientes. Este registro puede hacerse de forma analógica, en papel (tal y como funcionan los limnógrafos al registrar el nivel de agua) y también digitalmente mediante registradores automáticos o dataloggers. Estos últimos se han impuesto sobre los primeros en el control de las aguas subterráneas debido a sus grandes prestaciones, aunque la adopción de un sistema dependerá de factores económicos y legales.

Limnógrafos

Transmiten el movimiento de un flotador y su contrapeso, mediante un sistema de poleas y engranajes, a una plumilla que imprime las oscilaciones del nivel del agua en un papel enrollado entorno a un tambor giratorio (Fig. 7). La escala de registro o reducción de alturas es variable en función del recorrido del cable a través de las poleas, del tamaño del tambor y de la velocidad de rotación del mismo, variable mediante un mecanismo de reloj. La precisión depende a su vez del diámetro del flotador que debe moverse libremente, de la reducción de alturas y de si tiene o no indicador de inversión. Los limnógrafos suelen estar provistos de registros de inversión, es decir; el registro de las variaciones de nivel no está limitado a la anchura del tambor. Un husillo



Figura 6. Medidor de nitratos por espectro-fotometría Uv-Vis en sondeos de Scan



Figura 7.
Limnógrafo vertical
modelo Alpha de Seba

de inversión hace que se registren los valores en el papel invertido hacia adentro a partir de cierto valor. El dispositivo de registro situado en el extremo izquierdo del tambor indica, en combinación con el mecanismo registrador inversor, si al efectuarse la inversión de la escritura se registra un descenso o un aumento del nivel del agua. De esta forma podemos llegar a obtener precisiones de hasta 1 cm y una operatividad en tiempo que oscila entre 32 días con relojes mecánicos y 500 días con relojes de cuarzo. No obstante, los registros están limitados por la gráfica. Cuanto menor sea el tiempo de registro, más efectiva será la interpretación en su gráfica.

Tradicionalmente, estos equipos se han venido instalando en todo el mundo por su gran efectividad y durabilidad. Hoy en día, no sólo siguen fabricándose en gran número, sino que además se han buscado diferentes opciones para contribuir a su evolución y desarrollo. Así, se han diseñado limnógrafos verticales mejor adaptados para la medida en aguas subterráneas, limnógrafos accionados mediante sistemas de burbujeo, limnógrafos que además registran curvas de temperatura, etc. Una tendencia actual, es la de adaptarlos para que admitan pequeños registradores automáticos dotándoles de un doble registro (Fig. 8).

El mantenimiento de estos equipos consiste en la recogida y sustitución del papel, el control de la cuerda del reloj mecánico o cambio de las pilas en el caso de los relojes de cuarzo, la limpieza de su mecanismo de registro (una vez cada cinco años) y finalmente en el ajuste y contraste de la medida con una sonda eléctrica de nivel. En la actualidad, la tendencia es la de instalar redes de control automáticas debido a que éstas admiten unos registros más precisos y continuados que en los métodos citados con anterioridad y una menor dependencia de personal, debido a que se establecen unos registros más prolongados y la posibilidad de operar en modo on line a través de módulos de transmisión.



Figura 8.
Limnógrafo con
registrador
automático
XI de

Datalogger

Los registradores de datos automáticos o datalogger consisten en una memoria de estado sólido que almacena señales eléctricas interpretándolas y transformándolas en unidades útiles mediante algoritmos matemáticos aplicados con ayuda de un microprocesador. Existen grandes unidades que permiten el registro de muchos tipos de medidas gracias a sus múltiples entradas, cada una de ellas programables de forma independiente. Son equipos de gran capacidad de memoria (más de 250.000 medidas) que además permiten la transmisión de información bien mediante tarjetas de memoria magnéticas o bien mediante distintos tipos de interfaces que permiten su conexión a un ordenador portátil u otra unidad de lectura. Sin embargo, la aplicación de estas unidades se ha visto orientada a otros campos como la meteorología o las aguas superficiales, donde gran cantidad de parámetros a controlar precisan equipos muy potentes.

Para aguas subterráneas se han desarrollado equipos más compactos y adaptados para su colocación en el interior de los pozos o piezómetros (Fig. 9). Estos consisten también en una memoria, un microprocesador y una batería que alimenta tanto a los sensores como al microprocesador, proporcionando una completa autonomía al equipo, todo ello protegido adecuadamente para su colocación en el interior del piezómetro. En su diseño incluyen conexiones para la transmisión de datos bien mediante salida RS 232 o mediante un IRDA (interfase óptico). Las pilas pueden ser sustituidas por una batería recargable o por la instalación de paneles solares. El consumo de estos registradores depende en gran medida de los sensores que tengan que alimentar y de la frecuencia de las medidas, aunque de forma aproximada pueden lograr una autonomía de un año con medidas cada 15 minutos

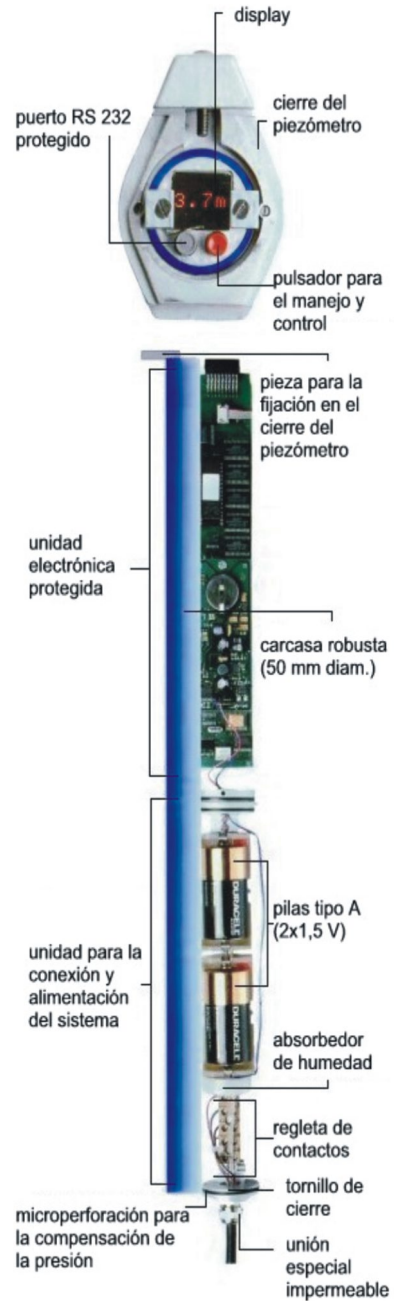


Figura 9. Datalogger compacto para la instalación en piezómetros

registradas a partir de un canal en serie adaptado para sondas multiparamétricas. Son capaces de realizar medidas a partir de un segundo y llegar a almacenar hasta 60.000 valores variando en función de los diferentes modelos existentes.

Sensores inteligentes

Tal y como se mencionó anteriormente, la tendencia en el diseño de equipos para el control de las aguas subterráneas es desarrollar instrumentos capaces de efectuar varias funciones a la vez. De esta manera surgen los denominados sensores inteligentes, los cuales son capaces de medir, registrar y transmitir a la vez. Son equipos muy compactos que integran el sensor de medida y la memoria en un mismo instrumento y que sólo permiten la lectura de un único parámetro (Fig. 10).



Figura 10.
Sensor inteligente
Dipper de Seba

Para determinar el nivel del agua existen unos pequeños instrumentos que se instalan en profundidad, ya sea tanto por encima del nivel del agua con medición mecánica como por debajo de ella con sensores de presión y se comunican con el exterior mediante un cable que funciona a la vez como sujeción y como interfaz para la comunicación y extracción de datos. También hay otros equipos que registran las variaciones de nivel de agua automáticamente al poder adaptarse a limnógrafos y utilizar su sistema de flotador y contrapeso que estos (Fig. 8). El consumo de todos estos equipos es muy inferior al resto puesto que posee una autonomía mayor de 10 años. Junto con esto, sus pequeñas dimensiones, bajo costo y fácil instalación hacen que sean equipos muy adecuados cuando sólo se desee medir de forma automática el nivel del agua, aunque futuros diseños prometen la medida conjunta de otros parámetros.

LECTURA DE DATOS

Unidades de display

Permiten leer de forma directa las medidas del sensor previamente convertidas por el datalogger prescindiendo de unidades de lectura. Por ello, estas unidades casi siempre digitales están incorporadas en el propio registrador de datos. Su posición en el registrador debe facilitar una lectura rápida y cómoda, aparte de evitar la extracción de todo el equipo (Fig. 11 sup.).

El inconveniente de estas unidades es que aumenta el consumo de batería, por lo que suele presentarse como algo opcional dentro de los diferentes modelos. Además, dichas unidades permiten una lectura inmediata de otros parámetros muy importantes como son el número de valores registrados y el estado de las baterías.

Existen también unidades de display móviles y portátiles que permiten conectarse a múltiples equipos y comprobar el correcto funcionamiento de toda una red con un solo equipo (Fig. 11).



Figura 11. Modalidades de lectura

Unidades de lectura

Las unidades de lectura (Fig. 12) o de manejo desempeñan dos funciones bien diferenciadas. Por un lado sirven para capturar los datos registrados por el datalogger para después trasladarlos al ordenador central y por otro lado nos sirven para configurar el punto de control (escalímetro) variando la frecuencia de la medida, la fecha, la hora, etc. Ambos procesos se pueden realizar de dos formas. Una forma es conectar la unidad al punto de control, escalar al punto de control y extraer del datalogger los valores para más tarde llevar la unidad a la estación central (generalmente un PC) y posteriormente volcar los datos. La otra forma es mediante una tarjeta magnética, evitándose así el tener que volver a la estación central con la unidad. Bastaría

cargar la tarjeta de datos directamente con la unidad en campo pudiendo mandarla posteriormente por correo a la estación central. El proceso de configuración o escalamiento mediante tarjeta se realiza de forma inversa: desde el ordenador central se programa la tarjeta y en el campo se vuelve este programa en el registrador automático. Las tarjetas tienen unas dimensiones aproximadas de 85x54x4, con un peso de unos 20 grs. y con una capacidad de memoria de hasta 52.000 valores. Existen unidades que sólo sirven para el escalamiento de la estación, pero normalmente integran las dos funciones, llegando en algunos casos a incluir funciones de análisis in situ.

En cualquier caso, el coste de estos equipos resulta en ocasiones tan excesivo que la mejor solución es optar por un ordenador portátil que permita realizar las tres funciones (configuración, captura y análisis in situ) y donde la unidad de la tarjeta de memoria se sustituya por las ventajas del



Figura 12. Unidad lectura

correo electrónico. A pesar de ello, las unidades de lectura siguen teniendo grandes ventajas como son una alta resistencia a las inclemencias climáticas y una facilidad de uso aún para iniciados a la informática.

TELETRANSMISIÓN DE DATOS

Los sistemas de teletransmisión o transmisión on line consisten en el intercambio de información de un lugar a otro (en este caso desde la estación central a los puntos de control y viceversa) mediante sistemas que actúan a distancia de forma que ya no sea necesario acercarse hasta los puntos de control para obtener datos. Esta transmisión a distancia en constante evolución dentro del campo de las telecomunicaciones puede realizarse de diferentes formas en función del medio utilizado.

A continuación se intentan resumir las ventajas e inconvenientes de aquellos sistemas utilizados con más frecuencia en sistemas de control ambiental. El elemento que siempre se encuentra presente, con independencia del método utilizado, es la fuente de energía de alimentación del sistema. Los paneles solares, las baterías recargables de plomo hermético y los reguladores de carga son indispensables en instalaciones de este tipo cuando se les desee dotar de un funcionamiento completamente autónomo. Según sea el sistema elegido se necesitará o no antena.

- **Línea telefónica:** Para instalar este sistema se necesita un módem conectado a la salida del datalogger y a una línea telefónica común. Precisamente es la disponibilidad de estas líneas el problema fundamental de estos sistemas, máxime cuando se trate de una red de control con numerosos puntos.
- **Radiofrecuencia:** La transmisión se hace a través de ondas de radio. Se trata de un sistema muy barato que únicamente llega a cubrir distancias que oscilan entre 2 y 5 km. Además de su corto alcance, el uso común de frecuencias tan pequeñas facilita que existan muchas interferencias debido a sus numerosos usuarios.
- **Red móvil GSM:** Hoy en día es el sistema más utilizado por sus bajos costes en llamadas y sencillez de instalación, ya que sólo es necesario conectar el registrador a una unidad GSM y asegurarse de que exista una buena cobertura.
- **Vía satélite:** A comienzos de los 60, el mundo de las telecomunicaciones fue revolucionado con la introducción de sistemas satélites para satisfacer los problemas de comunicación a largas distancias. Las posibilidades de cubrir grandes zonas geográficas y la eliminación de repetición que requerían los sistemas terrestres hicieron de los satélites una alternativa atractiva en toda clase de comunicación a distancia al posibilitar la implementación de redes globales con sólo tres modos. Son varios los sistemas satélites que dan un servicio adecuado (Inmarsat, Meteosat, Hispasat, Orbcomm, etc.), aunque a continuación sólo se describen los recientes sistemas de transmisión por satélite de baja órbita.
- **Sistema Satélite de baja órbita Orbcomm:** Consta de una constelación formada por 28 satélites en órbita baja y proporciona servicios de comunicación bidireccional de datos y localización de todo tipo de activos. El sistema está concebido para proporcionar capacidad de tráfico de datos tipo mensaje con una cobertura global en todo el planeta mediante terminales fijos o móviles de pequeño tamaño y bajo coste (Fig.13).

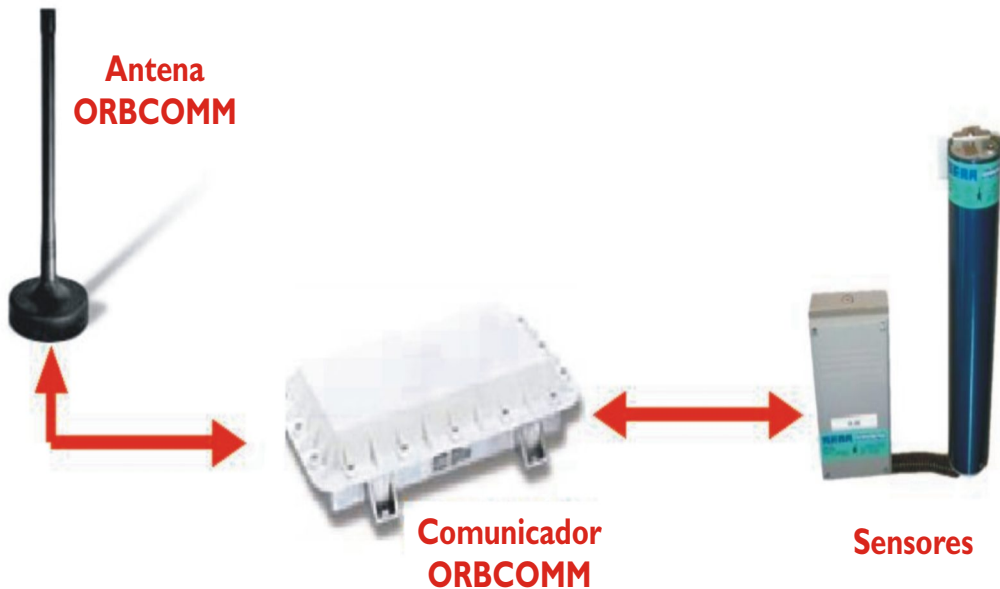


Figura 13. Modalidades de lectura

El sistema funciona de la siguiente manera: El usuario o punto de control envía un mensaje de solicitud al seguimiento espacial para transmitir. Un satélite visible comprueba la autorización del usuario, busca una frecuencia libre y se le asigna al terminal. El terminal transmite su información al satélite, que a la vez la vuelca en una estación terrena (Gateway) a la que el usuario está adscrito. La estación terrena analiza el destino y encamina el mensaje a través de redes convencionales hasta el destinatario final (Internet, X.25, X.400, líneas dedicadas, etc.). En sentido contrario, desde un ordenador se teclea un mensaje y se transmite por una red convencional hasta la estación Gateway. El mensaje se transmite al satélite correspondiente que busca el terminal y vuelca el mensaje cuando está visible. Este sistema de transmisión tiene cobertura mundial, aunque para que la

comunicación se realice en tiempo real, es necesario que el terminal del usuario y la Gateway a la que está asignado sean visibles simultáneamente por un mismo satélite. Si esta situación no se produce, debe esperarse hasta que ocurra.

EVALUACIÓN DE DATOS

El seguimiento de los datos adquiridos en las fases anteriores debe realizarse en la estación central, normalmente un ordenador personal, además de utilizar las herramientas necesarias en función de los objetivos pretendidos. Se trata de un conjunto de programas que se configuran en lo que se denomina software de gestión y evaluación, y que deben permitir realizar una serie de funciones para obtener los mejores resultados posibles, como por ejemplo:



Figura 14. Bases de datos y Software para el tratamiento de los datos en multigráficos y multilistados / Seba

- Importación de archivos en sus diferentes formatos.
- Uso de multigráficos, versatilidad en las salidas gráficas.
- Gestión de base de datos y posibilidad de aplicación en GIS.
- Interpretación de datos, mallados, funciones matemáticas, etc.(Fig. 14).
- Posibilidad de incorporar modelos matemáticos, ensayos de bombeo, etc.
- Sistemas de gestión con posibilidad de avisos y alarmas.

Por supuesto, además estas herramientas informáticas deben permitir también gestionar un buen sistema de transmisión permitiendo la bidireccionalidad del mismo y la captura de datos ya sea vía on line (teletransmisión) o vía off line (mediante unidades de lectura).

BIBLIOGRAFÍA

- Arregui, J; Camuñas, C.; Domínguez, J. M^a. Diseño de una Red de Control Piezométrico y Calidad de Aguas en la "Cubeta de Santiuste". Proyecto XXXIII Curso de Hidrogeología "Noel Llopis". 2000.
- Custodio, E y Llamas, M.R. Hidrogeología Subterránea. Editorial Omega. Barcelona. 1971.
- Martínez Rubio, J. Y Ruano Magna, P. Aguas subterráneas. Editorial Progensa. Madrid. 1996.
- Sánchez-Solís, M. et al. La red automatizada de control de los recursos hídricos subterráneos de La Moraña (Comunidad de Castilla León). IV Simposio de Hidrogeología. Tomo 12. Sección 5.
- Catálogos comerciales de Seba Hydrometrie, SCAN, Orbconm.