

# INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE FORMACIÓN

## SISTEMA HEYPHONE Y NICOLA

Lino del Campo Castañeda  
Grupo de Exploraciones Subterráneas de  
la Sociedad Excursionista de Málaga  
(G.E.S. de la S.E.M.)

### Introducción

Hasta la fecha, la logística de las exploraciones subterráneas ha sido planificada atendiendo a la imposibilidad de establecer comunicaciones entre los equipos que desarrollaban los distintos trabajos en profundidad con la superficie. En casos de accidentes este hecho se ponía aún más de manifiesto, donde no se tenía información si no había una persona que comunicara directamente lo que acontecía y siempre con unas horas de retraso. Es en accidentes donde una comunicación en tiempo real con un equipo portátil, de fácil montaje y de reducidas dimensiones para el transporte es fundamental para la organización de los distintos grupos que componen el rescate; así como de la transmisión de información desde el lugar del accidente sobre el estado o la gravedad de las lesiones.

Tras la evolución de los sistemas de comunicación a través de formación desarrollados y aplicados por primera vez a mediados de los 70, y las evoluciones actuales de éstos hacia los equipos que comentaremos a continuación; la comunicación a través de formación es ya una facilidad a tener en cuenta para la organización y la logística del trabajo subterráneo. Con los equipos que se disponen actualmente se pueden establecer enlaces entre estaciones separadas hasta 1000 m. de roca.

Los iniciadores de la aplicación subterránea de la transmisión por radio fueron los miembros de la British Cave Research Association (BCRA) y concretamente un grupo de trabajo dedicado al diseño y la aplicación de la electrónica a la actividad

espeleológica denominado Cave Radio and Electronic Group. (CREG).

### Historia de las comunicaciones

La transmisión por radio a través de formación se utilizó por primera vez a principio del Siglo XX, durante la Primera Guerra Mundial. El sargento Ernest H. Hinrichs, americano de origen alemán destinado al frente francés en 1.917, desarrolló el sistema y estuvo a cargo de las comunicaciones entre trincheras. La transmisión se realizaba en el rango de frecuencias de 300 a 1.200 Hz., alcanzándose enlaces de hasta 3 km. a través de formación. Las antenas diferían en tamaño sobre las actuales, tanto en círculos como en forma de L, y tenían longitudes de hasta 1.500 m. Como es de suponer, los equipos eran grandes y pesados, pero el enemigo no podía interferir las comunicaciones ya que no disponía de la misma tecnología.

En 1968 la Brigada de Bomberos de Londres requiere un sistema de comunicación subterránea para los incidentes que se producían en túneles. Como resultado de esta creciente necesidad, la empresa Plessey desarrolló y fabricó el sistema integral de comunicación FÍGARO (*FIRE Group Apparatus for Radio Operations*). Fígaro entró en servicio en 1975, y se probó durante el desastre subterráneo Moorgate.

El sistema operaba en alta frecuencia, en tres diferentes canales. Lo componían la estación portátil y la base: La estación portátil trabajaba con una antena de lazo y la base con líneas de cable tendidas en el suelo, como las que conocemos. La dificultad de operarlo debido al tiempo empleado en tender antenas, y el hecho de tener que cambiar ubicación debido a que a veces las frecuencias se inhibían y a la poca base de radio operador de los miembros de las brigadas, hizo que el sistema cayera en desuso. Estuvo en servicio hasta 1988.

Después de la evolución de prototipos, a principios de los 80, Bob Mackin, perteneciente a la Universidad de Lancaster y miembro del "Cave Rescue Organisation" en Clapham (North Yorkshire) pone en



Prueba del equipo  
en el exterior

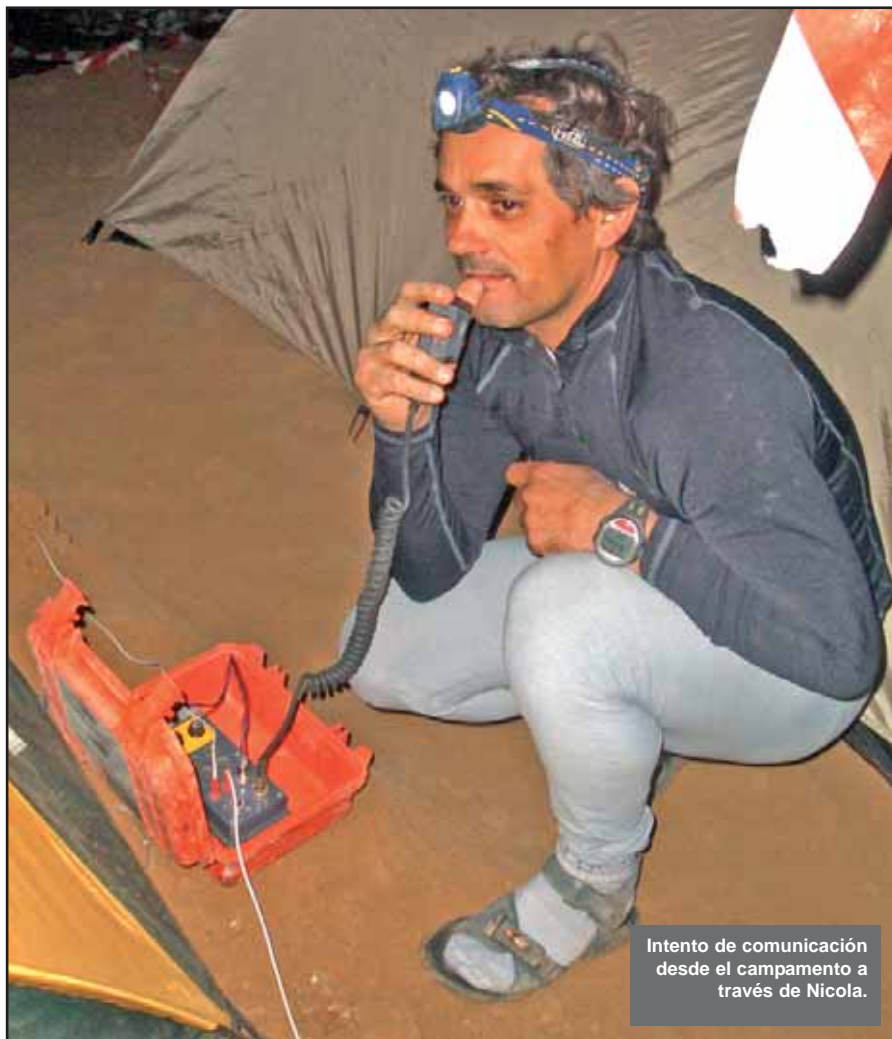
marcha el primer equipo de transmisión a través de formación, denominado Molefone. Es el primero que se utiliza exclusivamente para la comunicación subterránea en cavidades, permaneciendo en servicio hasta 1999. En Abril de 1999, en el encuentro regular de la BCRA en Derbyshire, se exponen por primera vez los prototipos actuales: el Nicola, desarrollado por el grupo ADRASEC 38, Paul Mackrill, Paul Rice y Graham Naylor; y el Heyphone, desarrollado por los miembros del CREG, y en su mayor parte por John Hey, que da nombre al equipo.

En la actualidad ambos sistemas funcionan de modo similar, y están sujetos a constantes evoluciones y mejoras. El próximo paso en el que se trabaja es en la miniaturización de los equipos y en la transmisión digital, en lugar de analógica, lo que permitiría el envío de audio y vídeo de calidad, por lo que el reto es importante. Ambos sistemas no poseen patentes, y están abiertos a la colaboración de aquel que esté interesado en el desarrollo y en las distintas aplicaciones.

#### **Sistema Nicola. Sistema Heyphone**

Ambos Sistemas mantienen en su origen el diseño inicial de la circuitería para el transmisor y el receptor de John Hey (1.995). La versión MKII del sistema Nicola utiliza la escala de componentes SMD, por lo que el tamaño es sensiblemente menor. Para el actual Heyphone, la evolución a componentes SMD es ya casi una realidad que estará disponible para principios del próximo año 2007. El tamaño previsto para este equipo será menor que el del actual sistema Nicola.

En líneas generales los dos sistemas son transmisores y receptores de radio que emplean el principio de campo inducido, en lugar de radiado, a una frecuencia de 87 KHz., con lo que se evita la necesidad de incluir grandes antenas en el equipo. Esto quiere decir que se utiliza el propio terreno que hay alrededor del equipo como antena, donde se genera un campo electromagnético



Intento de comunicación desde el campamento a través de Nicola.

co que se propaga a través de la formación. La propagación de la transmisión de ondas por la formación rocosa depende de las propias características de la emisión. De hecho, toda radiación electromagnética se atenúa cuando atraviesa un medio. La penetración de la señal depende de la longitud de onda de la radiación, y suele ser una distancia equivalente a ésta. La frecuencia con la que trabajan los equipos Heyphone y Nicola es de 87 KHz, y ésta implica una longitud de onda de 3.5 km, en el aire. Debido a la reducción de velocidad de la señal dentro de un medio rocoso, la longitud de onda se reduce hasta una fracción de la original, que dependiendo del medio será mayor o menor, lo que da una penetración máxima en torno a los 1000 metros. Una emisión de ondas de radio como las que utilizan los teléfonos móviles, los cuales operan en MHz, tienen longitudes de ondas muy pequeñas, y solo pueden penetrar pocos metros dentro de formaciones, incluso en condiciones ideales.

La diferencia entre los sistemas actuales y el Molefone está en la utilización de antenas de tierra que trabajan con campo inducido. El Molefone trabajaba con una antena circular de 1 metro cuadrado, sobre la que se induce el campo electromagnético que se propaga por la formación. La antena circular portátil es menos efectiva y transmite peor que las antenas de tierra. En cambio ésta tiene una ventaja, y es que se puede dirigir la emisión del campo hacia puntos concretos, ya que el campo se propaga de modo perpendicular al plano de la antena. Este hecho posibilita trabajos de radiocalización desde superficie de segmentos de cavidades en los que se encuentran espeleólogos. El sistema Heyphone puede trabajar con los dos tipos de antenas, por lo que se puede primero radiocalizar desde superficie cuales son los mejores puntos para la establecer la comunicación con la estación subterránea, para luego tender las antenas de tierra donde se haya obtenido la mejor señal.



Muestra del equipo en interior

### Factores que afectan a la transmisión de la señal a través de la formación

Como hemos comentado en los párrafos anteriores, la señal de radio se genera por la circulación de la corriente eléctrica entre los electrodos de tierra que se disponen al final de dos líneas de cable que se tienden en una misma dirección, pero en sentidos opuestos a ambos lados del equipo, el cual se sitúa en el centro. Esta corriente modula o genera un campo que es el que se propaga. Por tanto, los primeros factores que afectan a que la señal se propague de modo aceptable son aquellos que influyen en el desarrollo del circuito eléctrico entre los electrodos de tierra. Este es uno de los cuellos de botella de los sistemas. Los mejores lugares para ubicar las antenas serían aquellos que fuesen los más conductores, son por tanto los suelos arcillosos, húmedos, marmitas con agua, en general, ambientes mojados. Los peores lugares son aquellos en los que la roca que forma el sustrato está desnuda y seca. En el interior de las cavidades es posible localizar los electrodos en sitios húmedos con facilidad. Pero en superficie, donde por lo general nos desenvolvemos en un paisaje kárstico, no existen suelos muy húmedos y abunda la roca desnuda.

La separación entre las antenas es otro factor a tener en cuenta. Por lo general, cuanto mayor es la distancia entre electrodos, mayor es la intensidad del campo electromag-

nético generado, y mejor es la transmisión obtenida. Esto tiene un límite, y a partir de cierta distancia no se obtiene incremento de la calidad de la transmisión. Según nuestras pruebas en campo, no obtendremos mejoras de la calidad a partir de 100 m. de separación total de electrodos.

El tipo de electrodos también influye. Por lo general, los equipos los montamos con dos tipos distintos de antenas de tierra o electrodos. Los electrodos para interior están formados por trenzas de cobre, de hasta 15 m. de longitud sin aislamiento. Estos se entierran en un suelo arcilloso y húmedo o se introducen en marmitas llenas de agua, poniendo piedras sobre ellos para que se hundan en su totalidad. De esta manera el contacto es muy bueno. Los electrodos para exterior pueden ser de dos tipos, y la selección de uno u otro depende de las características del suelo y de las condiciones de humedad existentes. Por un lado podemos utilizar los mismos de interior, si las condiciones de humedad lo permiten, o podemos clavar picas de aluminio clavadas sobre el suelo (picas de tienda de campaña) si el suelo está compuesto por arenas o gravas con arcillas y éstas se encuentran parcialmente secas. Si las condiciones son de sequedad total, como la que existen por el Sur durante el verano, lo que mejor funciona es clavar hasta seis picas por electrodo, dispuestas en forma poligonal en los vértices de un hexágono imaginario. La ventaja de la pica, frente a la trenza en estas

condiciones es que la pica al clavarla llega a más profundidad dentro del sustrato, pudiendo alcanzar zonas más húmedas o arcillosas que la superficie.

El terreno por donde se transmita la señal es uno de los factores más importantes. La onda se propaga por el interior de la formación, de ahí que por lógica medios porosos con gran cantidad de huecos por el interior serán los que mejor permitan la transmisión. Así, formaciones de rocas carbonatadas, como calizas, dolomías o mármoles son las más apropiadas para obtener mejores transmisiones. Por el contrario, formaciones esquistosas, margosas o arcillosas absorben la transmisión por completo, no permitiendo la propagación.

De hecho, en el desarrollo de las cavidades, las series de rocas que las forman pueden tener intercaladas distintas capas de naturaleza variada o ser la estructura del macizo compleja, con pliegues y fracturas que superponen estratos; en el caso de que uno o una de ellas se interponga entre dos estaciones, la comunicación puede verse afectada, cosa que es lo más normal.

### Ruidos

Debido a fenómenos meteorológicos, perturbaciones atmosféricas o interferencias con otros sistemas de radio, las transmisiones de los equipos pueden verse afectadas. El sistema LORAN de navegación Europea por satélite genera un ruido característico en los equipos de superficie. Se parece a un ruido motorizado y periódico, muy carac-



Detalle de las antenas

terístico. Los equipos de interior no se ven afectados por estas interferencias, y en general las transmisiones tienden a recibirse mejor en el interior de las cavidades debido a la inexistencia de estas interferencias. Las interferencias que normalmente imposibilitan las comunicaciones son las que se producen en las proximidades de líneas de media o alta tensión y tuberías subterráneas. Estos lugares hay que desecharlos sobre la marcha.

La utilización de la iluminación mediante leds, incluso los últimos (Luxeon) de gran potencia, producen interferencias con los equipos de comunicación; por tanto se recomienda al operador de radio que esté comunicando apague su sistema de iluminación, si éste es por leds.

### Protocolos de comunicación

Debido a que por regla general los espeleólogos no están familiarizados con aparatos de radio, la transmisión de información debe hacerse dentro de los protocolos de comunicación establecidos. Hablar claro, a cierta distancia del micro, decir "cambio" al final de la transmisión, numeración de las estaciones (por ejemplo, superficie 1, etc. y cueva 1, cueva 2, etc.), uso de un lenguaje que no induzca interpretaciones erróneas y el uso de códigos que signifiquen mensajes preestablecidos cuando proceda. Cuando las condiciones de comunicación son próximas a la inteligibilidad, es fundamental mantener todas estas reglas, ya que de una manera se podrá transmitir información, pero no de la otra. Así, asumiremos el deletreo de palabras mediante otras que denoten una letra en particular, como el código fonético internacional, Alfa, Bravo, Charly, Delta, Eco, etc. También se podrán establecer horas a las que contactar por defecto, así ahorraremos

energía al minimizar los tiempos de conexión, previa sincronización de los relojes.

### Aplicaciones de los sistemas de comunicación a través de formación

Como casi siempre suele ocurrir es la experiencia vivida lo que nos enseña a valorar la importancia de cierto tipo de equipos no sólo para la práctica cotidiana en nuestras actividades, sino también para situaciones como la que vivimos en el rescate de nuestro compañero José Antonio Romero en la Sima Prestá. Fue en esta ocasión cuando valoramos la indiscutible aplicación de este tipo de material, no sólo de cara a nuestras exploraciones, sino también durante la evolución de un rescate.

El resultado ha sido que en menos de un año hemos cubierto tanto el desarrollo de un protocolo y los planes de actuación en la Sierra de las Nieves (zona habitual de trabajo) como la fabricación de tres unidades que ya están operativas, superando con éxito las pruebas a las que les hemos sometido.

Una vez terminados los aparatos era necesario probar la compatibilidad entre los equipos fabricados por nosotros (Heyphone) y los equipos Nicola. Para ello recurrimos a la colaboración del Grupo E.R.E.I.M de la Guardia Civil de Álora, que posee tres unidades nuevas, realizando las pruebas de compatibilidad en la Cueva del Gato, dando positivo al enlace entre ambos equipos y en varios puntos de la cavidad. Se probaron también los diferentes tipos de antenas de superficie e interior combinándolas entre ellos, al objeto de valorar las diferentes opciones.

Otra de las consecuencias que hemos extraído durante estas prácticas ha sido la necesidad de marcar

con carteles indicadores en el interior de las cavidades y en el exterior (con sistema G.P.S.) lo que denominamos como puntos "Eco", que son aquellos lugares donde ha sido positiva la conexión, con la idea de incluirlos en los planes de actuación de cada cavidad. Se ha valorado también la posibilidad de dejar montada la preinstalación de antenas permanentes en las cavidades más utilizadas o en exploración para mayor rapidez en caso de necesidad.

Durante las campañas de exploración en el año 2.005 también se realizaron pruebas en la Sima del Aire, siendo positiva la comunicación hasta la zona del vivac a -520 metros y en Sima Prestá a -355 m.

La utilidad de este tipo de comunicación abre puertas hasta ahora inimaginables en el campo de la comunicación subterránea. La posibilidad de que los espeleobuceadores lleven unidades de este tipo y podamos saber de ellos una vez franqueados los sifones aportan un plus de tranquilidad a los equipos de apoyo.

El futuro de esta tecnología es realmente alentador: miniaturizaciones, formato digital, portabilidad y desde luego como herramienta de seguridad harán probablemente algo tan extendido y útil como lo es en la actualidad el taladro en nuestras exploraciones.

### Agradecimientos

John Rabson, Rob Gill, John Hey, David Gibson, Chris Trayner, y en general a todos los miembros del CREG, por habernos facilitado la información, habernos cedido dos unidades Heyphone para nuestra campaña de 2005, y a su constante apoyo en la construcción de nuestro prototipo.

## Referencias

- BCRA Cave radio and Electronic Group. Journals.
- Naylor, Graham. Introducing the Nicola System. CREG J.33.
- BCRA. Heyphone Documentation Set. 2002.
- Bedford, Mike (2001) Update - Heyphone Circuit. CREG J.44.
- Hey, John (2000). A New Rescue Radio. The Electronic Design. CREG J.41.
- Anon (1975b), FIGARO experimented communications system for fire underground use, Fire, May 1975 p595.