

SOBRE LA FORMA DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO EN EL CONJUNTO SUELO-MANTO NIVAL-AIRE

N. Ayuso(*), C. Calvo(**), J. A. Cuchí (*), J. L. Villarroel(*)

(*) I3A. Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón. Edificio Torres Quevedo, c/ Maria de Luna 3, 50018-Zaragoza. GTE. (Grupo de Tecnologías en Entornos hostiles). Universidad de Zaragoza.

(**) Escuela Militar de Montaña y Operaciones Especiales. Grupo Militar de Alta Montaña (GMAM). 22709-Jaca.

1. INTRODUCCIÓN

El tiempo de localización es fundamental en la supervivencia de víctimas de avalanchas que La adecuada utilización de ARVAS permite reducir apreciablemente. Desde su aparición en la década de 1980 han experimentado una profunda evolución. Los más antiguos analógicos, por sonido, contaban con una sola antena en la frecuencia, hoy en desuso, de 2,275 kHz (Pieps 1). Otros eran bifrecuenciales a 2,275 y 457 kHz (ARVA 4000, Orthovox F2). A partir de 1990 se estandariza el uso único de la frecuencia de 457 kHz. (Norma europea ETSI EN 300718). Se mejoró la electrónica y se introdujo una segunda antena, ortogonal a la primera. En 1998 (Tracker DIS) se incorporan los microprocesadores y aparecen indicadores analógicos de distancia. Los nuevos equipos presentan tres antenas ortogonales con indicación en pantalla de la posible dirección y distancia de varios emisores. Esta “avalancha” de equipos ha obligado a realizar pruebas comparativas con diversos criterios. Vease Scheweizer y Krüsi (2002) e informes de organismos como CISA-IKAR o ANENA.

A pesar de las innovaciones, y conocida la poca disposición de los usuarios a renovar sus ARVAS obsoletos, un importante punto débil para un uso adecuado es la necesidad de actuar según protocolos específicos de búsqueda que tengan en cuenta la forma del campo magnético originado por el emisor. A 457 kHz, la frontera entre los campos cercano y lejano, que tienen formas diferentes, está aproximadamente a 100 metros. Normalmente la búsqueda se realiza en campo cercano cuya forma es relativamente compleja. Las figuras 1a y 1b muestran las líneas de flujo y la intensidad de campo magnético en un caso particular que ilustra la dificultad de la búsqueda por métodos tradicionales de sepultados profundos. En la práctica hay que insistir en el entrenamiento de los usuarios. En esta línea, en Ayora y col. (2005) hay un estudio teórico de la propagación del campo magnético, una comparación de equipos y una metodología para el uso adecuado de los mismos. El GTE ha realizado también un software de simulación de una búsqueda. En éste como en los manuales escritos se asume que se trabaja en la situación ideal de un medio isótropo, homogéneo y carente de interferencias. Esta situación no es real dado que se conoce la distorsión que provocan los metales ferromagnéticos y las interferencias de teléfonos móviles o líneas de alta tensión. Además, el manto nival es heterogéneo en espacio y tiempo. También es necesario contar con el efecto del suelo, de propiedades diferentes a la nieve.

Con base en su experiencia en comunicaciones subterráneas, el GTE se ha planteado la cuestión de conocer la forma del campo magnético emitido por un ARVA en las condiciones reales del campo nival para ver si existen diferencias substanciales entre ambos casos.

2. VALOR DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MANTO NIVAL

Es conocido que la propagación de una señal electromagnética en un medio es función de la frecuencia, la distancia y la conductividad eléctrica del medio. La frecuencia está fijada. La distancia es una de las incógnitas y habitualmente se supone inferior al límite del campo

magnético cercano y que, a su vez, depende de la conductividad eléctrica del medio. Por último el campo magnético se atenúa en función a la conductividad eléctrica del medio por el que se propaga, a más conductividad mas atenuación. ¿Cuánto vale la conductividad para suelo y manto nival?. Hay abundantes datos para el suelo. Para el manto nival, la bibliografía presenta muchos trabajos sobre la permitividad en un amplio rango de frecuencias. Se emplea en el medidor de agua líquida (CAL) fabricado por LEAS, que trabaja a 19 MHz, y el snow fork de Toikka Engineering Ltd que trabaja entre 500 y 900 MHz. No aparecen datos de conductividad eléctrica para mantos nivales reales. En laboratorio, Farzaneh y col (2002) presentan valores de 0.1 a 1.5 S/cm.

Tabla 1. Datos básicos y de conductividad eléctrica de manto nival en Rinconada de Tortiellas. Candanchú, en 2006.

Fecha	Prof. nieve cm	Agua equiv mm	Dens. media Kg/m ³	CE nieve S/m	CE suelo S/m	CE fusión S/cm	pH
07 feb	110	374	340	1.6	197.4	5.2	5.73
14 feb	85	294	346	1.7	235.3	5.9	5.14
25 feb	189	750	397	4.3	357.5	6.0	5.55
02 mar	239	834	349	0.5	190.1	6.1	6.42
13 mar	150	607	405	0.6	195.9	3.0	5.81
21 mar	148	613	414	0.4	139.7	2.7	5.83
28 mar	125	591	472	0.6	707.4	4.4	6.04
05 abr	88	375	469	0.7	1016.8	3.2	6.02
25 abr	150	734	489	0.4	198.6	5.3	5.67

Ante la falta de datos se han realizado mediciones en la nieve del Pirineo, en una amplia distribución espacial y temporal, realizando simultáneamente estudios convencionales del manto. La conductividad eléctrica se ha medido mediante un dispositivo de fabricación propia con 4 picas en configuración Wenner y espaciado de 1 metro. Se determinó este parámetro en 7 puntos del Pirineo en la Transpirenaica 2005, por personal de la EMMOE. Los resultados aparecen en Calvo y col. (2005). En 2006 se ha estudiado sistemáticamente en Candanchú. Tabla 1, obteniéndose datos similares a los de 2005. No se observan variaciones con la transformación de la nieve. Es de resaltar que la conductividad del suelo es, en todos lo casos, mucho mayor que la de la nieve, y por lo tanto influirá en mayor medida en posibles distorsiones del campo magnético con respecto al modelo de vacío.

3. SIMULACIÓN PARA UN EJEMPLO REAL

A partir de los datos de conductividad eléctrica obtenidos se ha realizado el cálculo del campo magnético real para un medio compuesto por tres capas (suelo, nieve y vacío). Para ello se han utilizado expresiones resultantes de la resolución de las ecuaciones de MAXWELL en un medio estratificado de tres capas, véase por ejemplo Wait (1962). A la nieve se le ha dado un espesor de 3 metros y una conductividad eléctrica de 5 S/, alta dentro del rango de medidas obtenidas para la nieve. Al suelo y aire se le han dado espesores infinitos. Al suelo se le ha asignado una conductividad de 1000 S/m, elevada dentro del rango de medidas obtenidas para el suelo subyacente al manto nival. Al aire se le ha dado el valor correspondiente al vacío. Los resultados se presentan en las figuras 2a y 2b, donde se observa una clara distorsión de las líneas de campo en la simulación del modelo de 3 capas, frente al modelo ideal de vacío.

Las variaciones en módulo entre los modelos vacíos y de tres capas dependen de la distancia la emisor y su orientación. Las diferencias porcentuales normalizadas al valor del vacío van desde un 62 a un 115% dentro de un rango de distancia inferior a 150 metros. Las diferencias en la

orientación del campo son incluso más importantes llegando a obtener variaciones de orientación de hasta 90° a pocos metros del emisor

Como conclusión, en la práctica, la distorsión introducida por el medio en la forma y magnitud del campo magnético dificultará el desarrollo de nuevos ARVAS y técnicas de búsqueda a distancias superiores a algunas decenas de metros.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer la financiación del proyecto *Técnicas de exploración automatizada en aplicaciones de rescate (EXPRES)*. MCYT. DPI2003-07986 y de los compañeros del GTE y de la EMMOE, especialmente los componentes de la Transpirenaica 2005.

BIBLIOGRAFIA

Ayora, A., Casals, A., Villarroel, J.L. Tardós, J. 2005. Rescates en Avalanchas. Desnivel 21: 72-78.

Calvo, C., Villarroel, J.L, Cuchí, J. A. 2005 Valores de conductividad eléctrica de nieve y suelo a lo largo de un transecto longitudinal en el Pirineo. Mallada **12**: 97-108.

Farzaneh, M., Fofana, I., Hemmatjou, H. 2004. Electrical properties of the snow. 2004 Annual report conference on electrical insulation and dielectric phenomena. 611-614.

Schweizer, J., Krüsi, G. 2002. Avalanche rescue beacon testing. Proceedings International Snow Science Workshop. Penticton. Canada. Sept 2002.

Wait, J.R. 1962. Electromagnetic waves in stratified media. Pergamon Press.

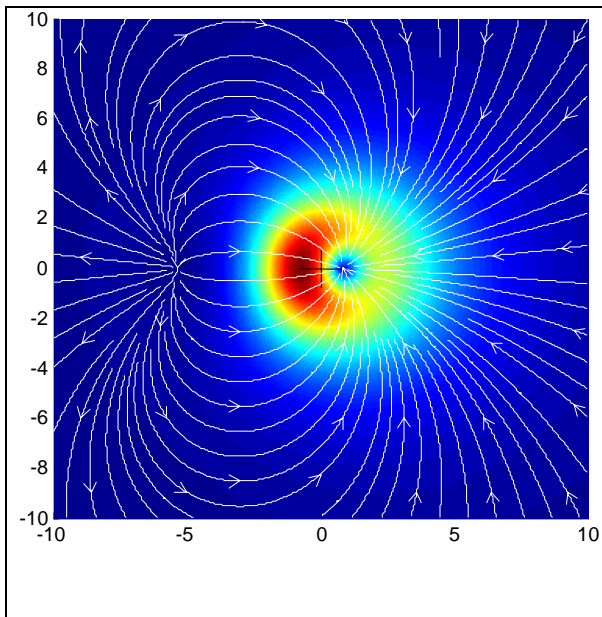


Figura 1a. Campo magnético cercano suponiendo propagación en el vacío. ARVA emisor con eje inclinado a 45° sobre la vertical situado en el centro de la figura (cruz). ARVA receptor de una o dos antenas. La intensidad del campo magnético recibido se muestra con la calidez del color. Ni las líneas de flujo ni la intensidad del campo en la superficie de búsqueda indican la posición real del accidentado.

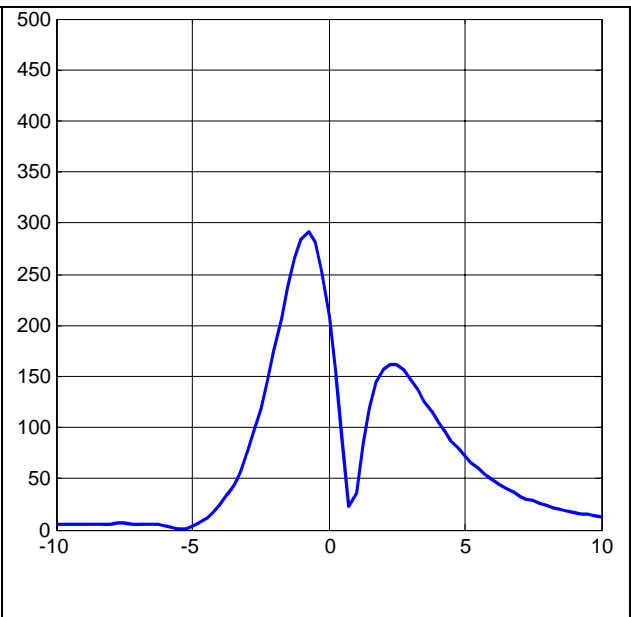


Figura 1b. Máximos de campo magnético en la misma situación de 1a. El ARVA emisor se encuentra entre los dos máximos a una profundidad igual a su separación.

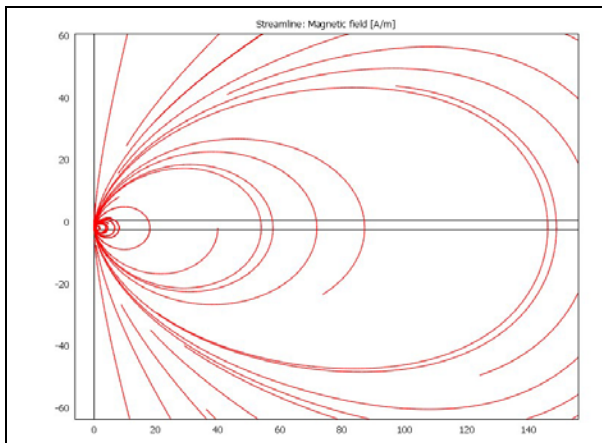


Figura 2a. Forma del campo para el vacío.

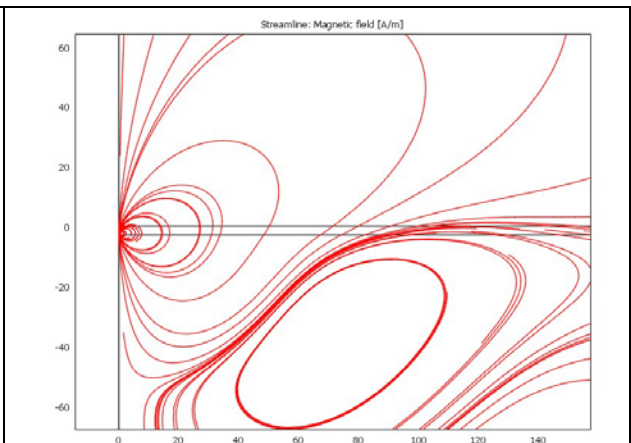


Figura 2b. Forma del campo magnético para un medio formado por vacío, nieve y suelo.