

Radiocomunicación subterránea en HF y MF en Sima Aradelas, Noviembre 2.022

Javier Moldes, GES-CAM, EB1HBK.

Orense 2.023

Resumen.

Ensayo de radiocomunicaciones cavidad-superficie en el espectro de media frecuencia (MF) y alta frecuencia (HF), empleando longitudes de onda desde 160 hasta 10 metros, y radiocomunicaciones intracavidad en el espectro de UHF, el 12 de Noviembre de 2.022, en Sima Aradelas, Folgoso del Caurel, Lugo.

Introducción.

En radiocomunicaciones subterráneas se emplean habitualmente frecuencias por debajo de los 100 kHz, que se encuadran en la parte del espectro de radio denominado LF (baja frecuencia) u OL (onda larga), dada la mayor capacidad de penetración de las señales de LF a través del subsuelo. Los transceptores de radio de uso mas extendido en la actividad espeleológica (Heyphone. Nicola, Tedra) operan en frecuencias comprendidas entre los 70 y los 90 kHz que corresponden a unas longitudes de onda que pueden ir desde los 3.500 hasta los 4.500 metros.

Desde el año 2.018 los espeleólogos del GES-CAM han venido realizando diversos ensayos técnicos para investigar las posibilidades de radiocomunicación en actividades subterráneas, empleando frecuencias de radio de un orden mucho mas elevado. Concretamente de aquellas partes del espectro denominados MF (media frecuencia) u OM (onda media) y también del denominado HF (alta frecuencia) u OC (onda corta). Tradicionalmente estas bandas no se han considerando útiles para comunicaciones subterráneas dada su, aparente, escasa o nula capacidad de penetración a través del subsuelo, sobre todo la banda de HF.

Complementariamente a los ensayos en MF y HF, se ha evaluado también la viabilidad, para comunicación dentro de cavidad entre los miembros de los equipos de exploración, de transceptores portátiles operando en bandas de VHF (frecuencia muy alta) y UHF (frecuencia ultra alta), con longitudes de onda de 2 y 0,7 metros, respectivamente. Durante el descenso de la Sima Aradelas los miembros del equipo de exploración subterránea utilizaron pequeños transceptores de UHF (walkie-talkies de uso común), denominados PMR, durante las tareas de instalación, progresión, seguridad y coordinación propias de la actividad espeleológica

Las frecuencias de radio seleccionadas para estos ensayos de comunicación cavidad-superficie se encuadran dentro de los segmentos de MF y HF atribuidos a la actividad de radio amateur. Esta elección se debe a la buena disponibilidad de transceptores multibanda de altas prestaciones y antenas de elevado rendimiento para estas frecuencias, así como la posibilidad de contar con la participación en los ensayos técnicos de operadores de radio altamente cualificados y convenientemente autorizados para efectuar las transmisiones. El abanico de frecuencias disponibles para los ensayos abarca desde los 1,8 MHz, en la banda de MF (onda media), hasta los 28 MHz, en el extremo superior de la HF (onda corta). Las longitudes de onda correspondientes a este abanico de frecuencias son muy diversas, comprendiendo desde los 160 hasta los 10 metros.

La Sima Aradelas se localiza en el ayuntamiento de Folgoso del Caurel, provincia de Lugo. Con una cota de -137 m desde su entrada, es la cavidad de mayor profundidad conocida en Galicia, proporcionando un entorno idóneo para evaluar la capacidad de las radiocomunicaciones cavidad-superficie en alta frecuencia (HF). Para realizar el ensayo de radiocomunicaciones se conformaron tres equipos mixtos integrados por espeleólogos y operadores de radio amateur gallegos. Uno de los equipos efectuó el descenso completo de la Sima y los otros dos establecieron estaciones de radiocomunicaciones de superficie en dos ubicaciones diferentes, denominadas en esta memoria como P0 y P1, ubicadas en el exterior a 250 y 880 metros de distancia de la entrada a la cavidad.

El equipo de exploración subterránea operó su estación de radiocomunicaciones portable desde tres lugares significativos de la Sima: la sala de Pozo del Camello (-68 m), la Sala del Buzón (-115 m) y la Sala Monforte (-137 m). Estas localizaciones pueden ubicarse fácilmente sobre la topografía de la cavidad, que se acompaña en el apéndice D, al final de este documento.



Localización de la Sima Aradelas en El Caurel, Lugo, Galicia.

Reportes de recepción de señal entre las estaciones de superficie y estación subterránea.

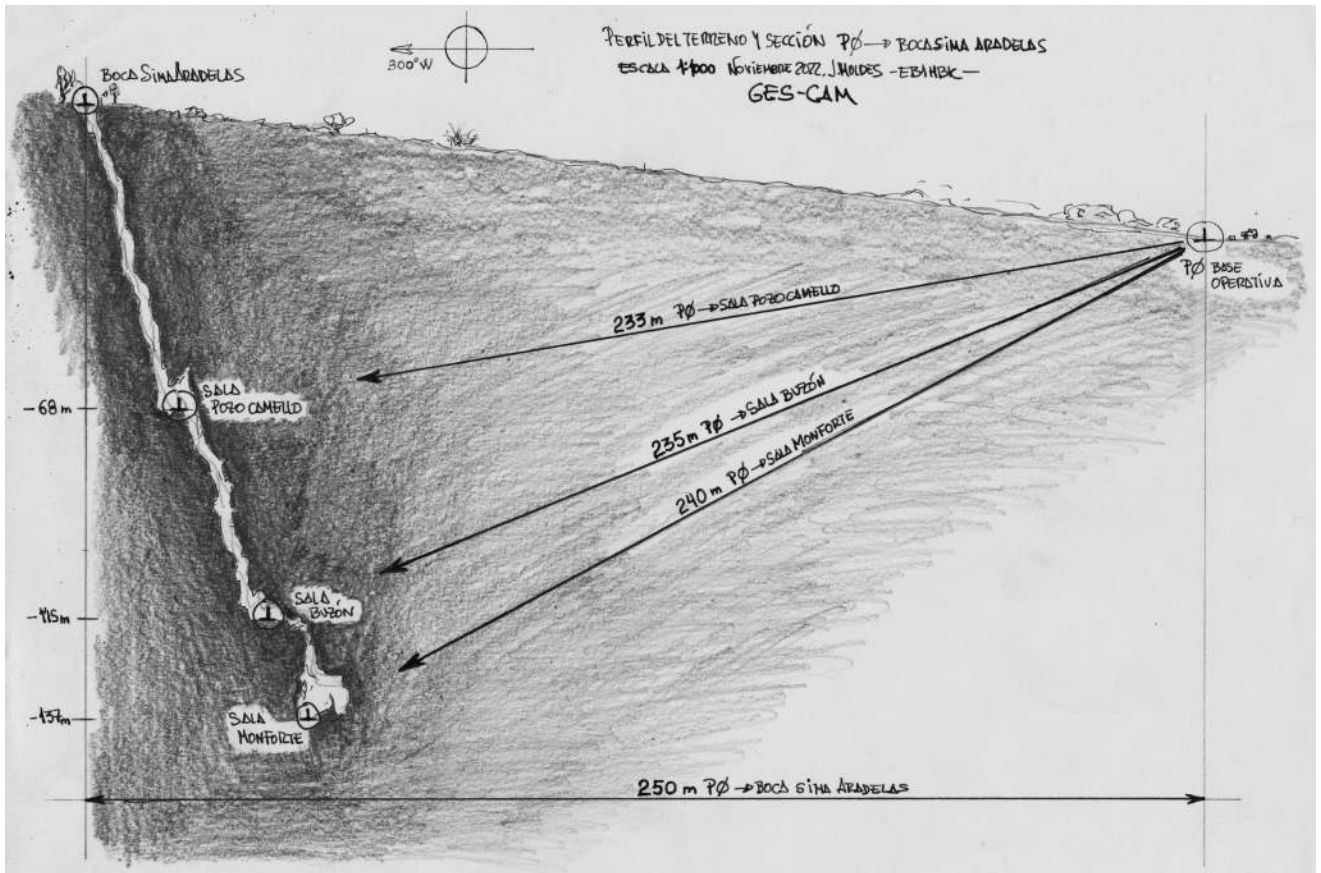


Proyección recta y distancia desde las estaciones de superficie P0 y P1 hasta la entrada de la Sima Aradelas.

El ensayo de comunicaciones en HF se realizó en modo J3E, radiotelefonía en banda lateral única con portadora suprimida, denominada también SSB (Single Side Band). Los niveles de potencia de transmisión empleados fueron de 5 a 0,5 W en la estación subterránea, 5 W en la estación de superficie P0 y de 20 a 5 W en la estación de superficie P1. Estos valores se refieren a los niveles nominales de potencia de cada uno de los transeptores empleados.

En todas las estaciones se emplearon antenas de suelo. En la estación subterránea por funcionalidad y eficacia. En las estaciones de superficie, aunque podría haberse empleado cualquier tipo de antena aérea convencional, se optó por las antenas de suelo puesto que no necesitan de soportes o instalación y ofrecen una buena relación señal/ruido. Además de las antenas de suelo, en la estación de superficie P0, se dispuso una antena de tipo loop magnético para la banda de 80 m, como antena de reserva, pero no fue preciso emplearla.

En las siguientes tablas se indican los niveles de señal recibida, empleando el código de reporte de recepción R-S, de uso normal entre los operadores de radio amateur. El carácter «x» en las tablas indica que no se realizó la comunicación. En el apéndice E, al final del documento, se detallan las especificaciones del código R-S, empleado internacionalmente para el reporte de la calidad de las radiocomunicaciones.



Sección del terreno desde la estación de superficie P0 hasta la Sima Aradelas.

Estación de superficie P0 - Sala Pozo Camello (-68 m)

- 12/11/2022 13:34 UTC
- **Distancia en línea recta** a través del subsuelo entre ambos puntos: **233 metros.**
- Potencia de transmisión estación de superficie P0: 5 W.
- Potencia de transmisión estación subterránea: 0,5 W.

Estación / Banda	10 m	40 m	80 m	160 m
P0 (ruido fondo)	R3-S0 (S0)	R5-S7 (S0)	R5-S7 (S1)	x
Sala Pozo Camello	R3/4-S0	R5-S8	R5-S9+	x

Estación de superficie P0 - Sala del Buzón (-115 m)

- 12/11/2022 15:05 UTC
- **Distancia en línea recta** a través del subsuelo entre ambos puntos: **235 metros.**
- Potencia de transmisión estación de superficie P0: 5 W.
- Potencia de transmisión estación subterránea: 0,5 W.

Estación / Banda	10 m	40 m	80 m	160 m
P0 (ruido fondo)	x	R4-S0 (S7*)	R5-S9 (S5*)	x
Sala del Buzón	x	R5-S0	R5-S8	x

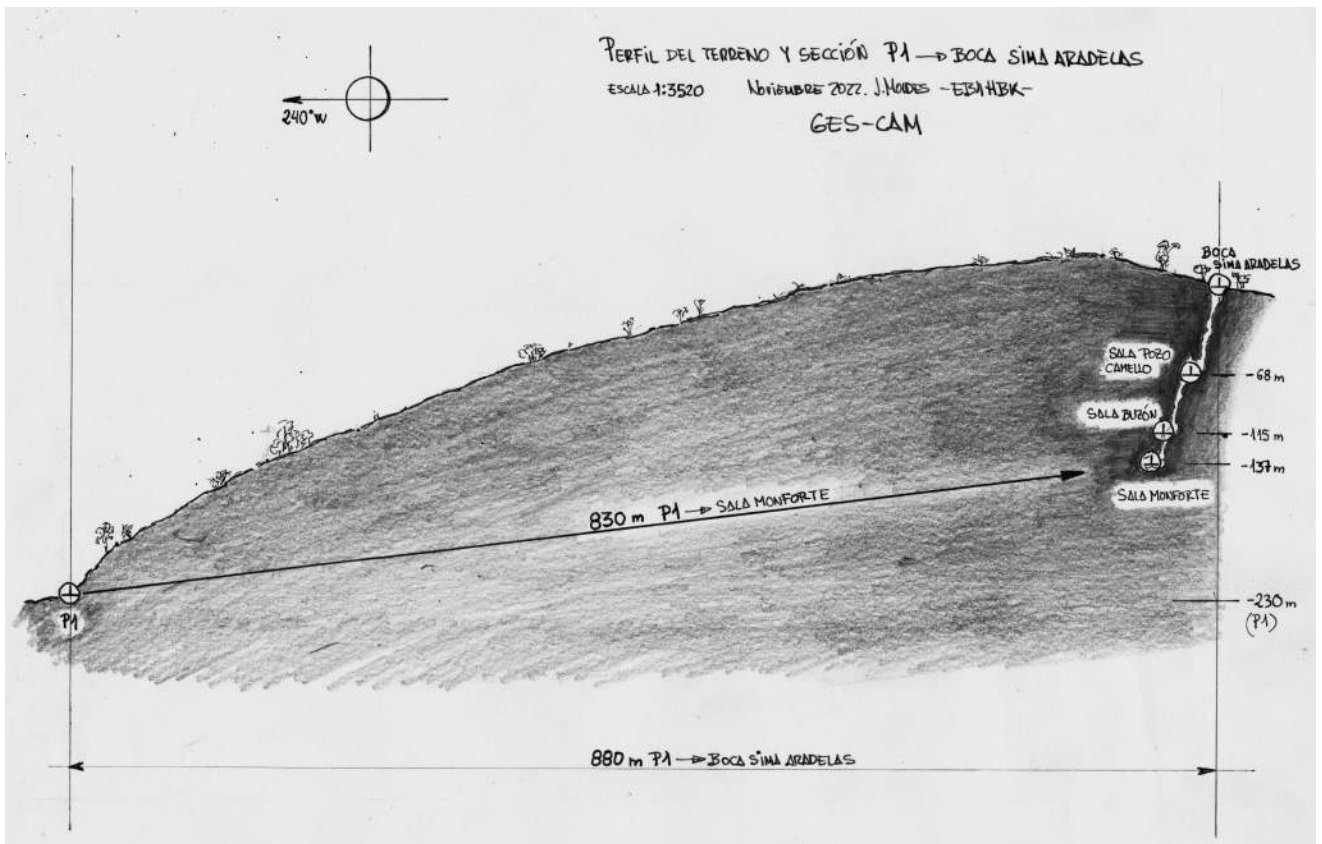
(* picos de ruido impulsivo intermitente)

Estación de superficie P0 - Sala Monforte (-137 m)

- 12/11/2022 17:05 UTC
- **Distancia en línea recta** a través del subsuelo entre ambos puntos: **240 metros**.
- Potencia de transmisión estación base de superficie: 5 W.
- Potencia de transmisión estación subterránea: 0,5 W.

Estación / Banda	10 m	40 m	80 m	160 m
P0 (ruido fondo)	x	R3-S0 (S5/7*)	R4-S6/7 (S7*)	x
Sala Monforte	x	R4-S0	R5-S6/7	x

(* picos de ruido impulsivo intermitente y propagación de estaciones lejanas en la misma frecuencia)



Sección del terreno desde la estación de superficie P1 hasta la Sima Aradelas.

Estación de superficie P1 - Sala Monforte (-137 m)

- **Distancia en línea recta** a través del subsuelo entre ambos puntos: **830 metros**.
- Potencia de transmisión estación de superficie P1: 5 W.
- Potencia de transmisión estación subterránea: 0,5 W.

Estación / Banda	10 m	40 m	80 m	160 m
estación móvil P1	x	x	R3-S0	R4-S0
Sala Monforte	x	R3-S0	R4-S0	R5-S0

Ensayo de radiocomunicaciones intracavidad en banda de UHF con transceptores PMR.

El espectro de radio denominado UHF (Ultra High Frequency) comprende frecuencias desde 300 hasta 3.000 MHz y sus longitudes de onda abarcan desde un metro hasta los treinta centímetros. La penetración de estas ondas a través del terreno resulta significativamente inferior a la HF, debido a ello no resultan muy atractivas, al menos a primera vista, como medio de comunicación subterránea. Sin embargo las comunicaciones subterráneas no solo comprenden la comunicación cavidad-superficie, si no también las comunicaciones dentro de la cavidad entre los componentes de un mismo equipo de exploración.

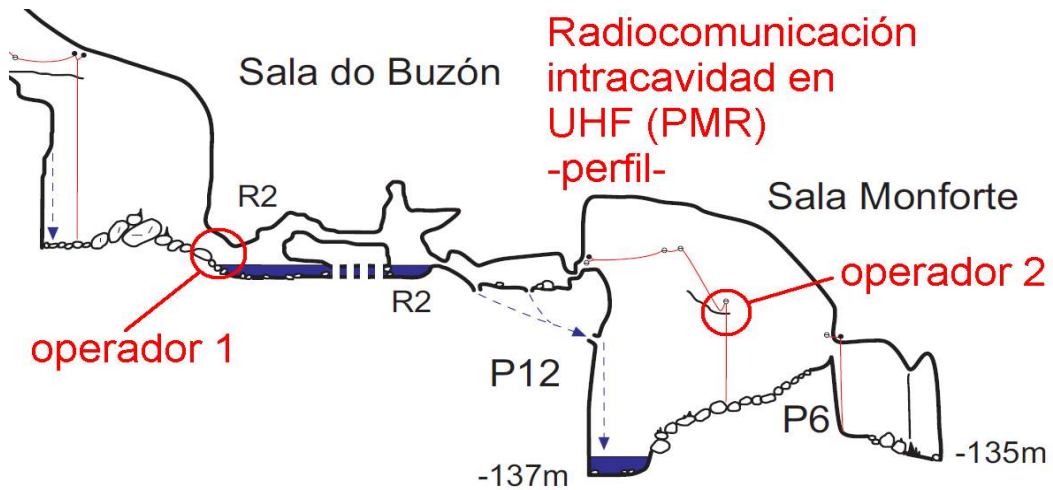
En el transcurso de las actividades subterráneas es una constante el relativo distanciamiento entre los miembros de un mismo equipo, a la hora de acometer tareas de instalación, exploración, toma de datos, registro fotográfico, etc. Bastan unos pocos metros de separación para perder el contacto visual con los compañeros. Aumentar unos metros más esa distancia es suficiente para perder el contacto efectivo de viva voz, debido a los fenómenos de absorción y reverberación que experimentan las ondas acústicas a través de los conductos subterráneos naturales.

Durante el desarrollo de actividades espeleológicas previas hemos podido constatar la efectividad de las frecuencias de VHF y UHF en comunicaciones intracavidad, de cara a mantener el contacto y la coordinación entre los miembros del equipo, mucho más allá de lo que la voz permite, a través de conductos subterráneos naturales fuera de la línea visual. Actualmente los pequeños radiotransmisores de baja potencia denominados PMR (Personal Mobile Radio), que operan en frecuencias de UHF, representan una opción muy ventajosa para desempeñar este cometido. A su favor cabe destacar que son dispositivos considerados de "uso común", por lo que no requieren de licencia, abono de tasas o cuotas para su empleo. Además son de tamaño reducido, poseen una autonomía aceptable y su oferta de precios es muy amplia y diversa, en función de sus prestaciones. La oferta del mercado va desde dispositivos de altas prestaciones para uso profesional, hasta dispositivos para uso recreativo muy asequibles, todos ellos compatibles entre sí. Debido a ello se han convertido en un medio de comunicación relativamente popular durante el desempeño de actividades en el entorno natural.

La intuición nos sugiere que la penetración de la UHF a través del subsuelo es marginal, en comparación con la que se logra en HF. Sin embargo la UHF muestra una buena capacidad a la hora de reflejarse sobre objetos y superficies, por ello es habitual su empleo en sistemas de radar. Si a esta elevada capacidad de reflexión sobre superficies, sumamos su pequeña longitud de onda, parece tentador considerar el comportamiento y propagación de la UHF en una cavidad subterránea, no a través del subsuelo, si no a través de los conductos naturales de la cavidad de manera similar a como lo haría a través de una "guía de onda" o "guíaondas". La "guía de ondas" es un elemento habitual de conducción y propagación de señales de radio en frecuencias de microondas, donde resultan más ventajosas para este cometido que cualquier cable eléctrico. Estructuralmente una "guía de onda" es, en esencia, un tubo hueco de sección rectangular, circular o cuadrado, y de unas dimensiones variables en función de la longitud de onda de la señal de radio que deben conducir.

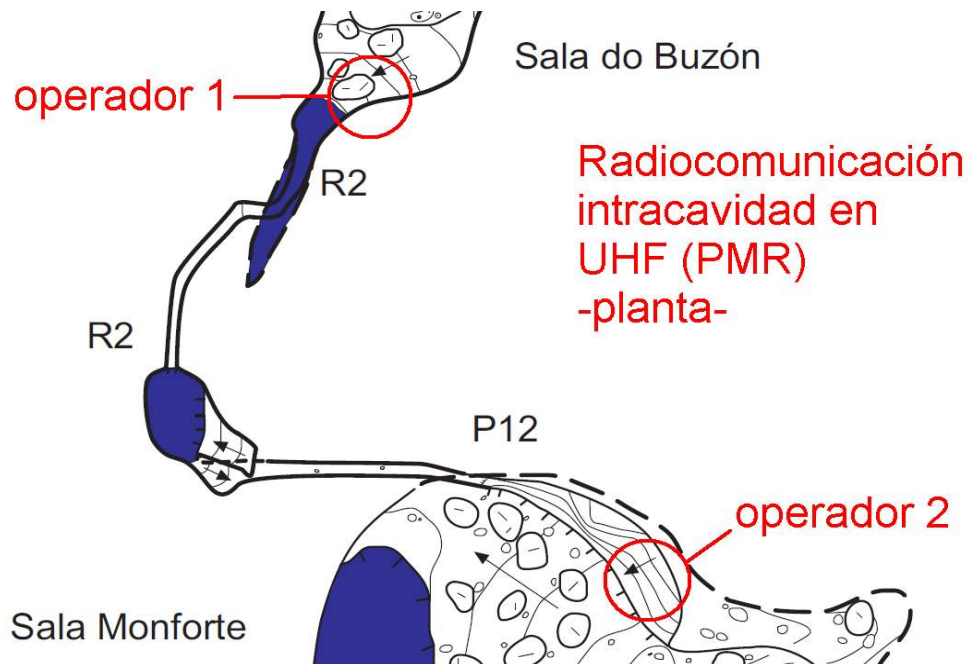
Durante la actividad de la Sima Aradelas, el equipo de exploración subterránea utilizó dispositivos PMR, tanto en el exterior, para comunicarse con el campamento base, como ya el interior de la cavidad, para coordinar el desarrollo de tareas entre los miembros del equipo. Así en tanto uno de ellos desplegaba la estación de radio portátil para realizar los test de comunicación cavidad-superficie, el otro podía ir acometiendo la instalación de los siguientes elementos de seguridad y progresión para seguir profundizando en la cavidad, agilizando el descenso de la misma.

Cabe destacar la comunicación con PMR entre la Sala del Buzón y la Sala Monforte, separadas entre si por un sifón que se sortea mediante un conducto superior sinuoso y muy estrecho en alguno de sus tramos. El operador 1 se encontraba al inicio del estanque del sifón, en la Sala del Buzón, mientras que el operador 2 se encontraba en la cabecera de descenso del P12, al final del pasamanos, en la Sala Monforte. La distancia en línea recta entre ambas ubicaciones, estimada sobre la topografía, no excederá de los 35 metros, pero no hay línea visual entre ellas y la comunicación de viva voz, incluso gritando, entre ambas ubicaciones no resulta posible.



Detalle topografía en perfil mostrando ambas ubicaciones.

En las ilustraciones anterior y siguiente se muestran las ubicaciones de ambos operadores sobre la topografía de la cavidad. La ilustración que representa la planta de la cavidad muestra con mas exactitud lo sinuoso y estrecho del conducto de acceso, el cual describe un arco a través del subsuelo. La calidad de comunicación con PMR en esta situación fue muy buena, claramente inteligible y sin interrupciones o entrecortes empleando "walkies" PMR económicos de uso recreativo.



Detalle topografía en planta mostrando ambas ubicaciones.

Conclusiones.

Durante estos ensayos se han utilizado niveles de potencia de RF reducidos. En las estaciones de superficie P0 y P1 se empleó el mínimo valor ajustable en el transmisor, nominalmente 5 vatios. En la estación portable subterránea se utilizaron los valores máximo y mínimo disponibles en el transmisor, nominalmente 5 y 0,5 vatios. El valor máximo en la estación subterránea se utilizó ocasionalmente a efectos de chequear la calidad de la comunicación. En todos los casos la comunicación con las estaciones de superficie pudo establecerse empleando una potencia de transmisión de solo 0,5 vatios. El uso de una potencia de transmisión reducida en la estación subterránea redundaba en una mayor autonomía de las baterías o bien en poder utilizar unas baterías más pequeñas y ligeras.

Penetración de señales de radio de HF a través del subsuelo.

Las distancias en línea recta a través de terreno desde la sala terminal de la Sima Aradelas han sido de 240 metros hasta la estación P0 y de 830 metros hasta la estación P1. Estas distancias se han estimado realizando la proyección de los datos topográficos disponibles de la cavidad, sobre la cartografía del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:25.000. Conforme lo esperado, al reducir la frecuencia, la calidad de la comunicación mejora, evidenciando la mayor penetración de la señal de radio en el subsuelo conforme la longitud de onda aumenta. Con la estación P0 se estableció comunicación en longitudes de onda de 10, 40 y 80 metros. Con la estación P1, a más del triple de distancia, se estableció comunicación en 80 y 160 metros. No llegó a establecerse comunicación con P1 en banda de 40 metros, aunque sí se recibieron sus transmisiones en esa longitud de onda, durante el transcurso del intercambio de mensajes entre las dos estaciones de superficie.

Resulta particularmente destacable que desde P0 hasta la Sala Pozo de Camello, a 68 metros de profundidad y 233 metros en línea recta, fuese posible la comunicación en la banda de 10 metros, a una frecuencia tan elevada como 28,428 MHz, en el extremo superior de la HF. Esta frecuencia se encuadra, en el espectro de radio, por encima de la banda de uso común denominada "Banda Ciudadana" o CB. Demostrando que resulta factible el empleo de transceptores de CB para las comunicaciones subterráneas hasta varias decenas de metros de profundidad, siempre que incorporen la posibilidad de modulación en SSB, para permitir la recepción de señales débiles.

En líneas generales la calidad de recepción subterránea fue muy buena. Prácticamente todo el ruido de fondo y las interferencias que contribuyen a dificultar la recepción de señales débiles en el exterior se atenúan conforme aumenta la profundidad, llegando a desaparecer casi por completo. Esto representa un aumento considerable de la relación señal/ruido, haciendo que las transmisiones de ambas estaciones de superficie, aun llegando con niveles de S0, fuesen perfectamente comprensibles en la sala terminal de la Sima.

La recepción de señal en las estaciones de superficie está expuesta a las interferencias presentes en la frecuencia de comunicación, las cuales pueden llegar a eclipsar la señal procedente de la estación subterránea. Durante el ensayo las estaciones de superficie sufrieron interferencias intermitentes de origen atmosférico de nivel elevado, y también aumento general del ruido de fondo según la variación de las condiciones de propagación de señales lejanas. Por ello es recomendable el empleo de antenas con buena relación señal/ruido en la estación de superficie, como antenas de suelo o loops magnéticos, al menos como antenas de recepción.

Caminos de propagación de señal: onda directa - onda evanescente - onda de superficie.

La comunicación lograda en HF entre la estación subterránea, en sala terminal de la Sima, y la estación de superficie P1, separadas por 830 metros en línea recta, es un acontecimiento ciertamente desconcertante. A primera vista parece imposible que la onda directa entre ambas estaciones, con las bajas potencias empleadas, no resulte atenuada por el terreno hasta resultar indetectable, Cabe la posibilidad de que esta comunicación se efectúe a través de la señal evanescente que aflora en el suelo, en aquellas zonas donde la distancia desde el origen de la transmisión subterránea hasta la superficie del terreno es mas corta. Propagándose luego la onda a través de la interfase suelo-aire, entre ambas estaciones, como una onda de superficie. El hecho de ubicar las antenas en el suelo, exactamente en la frontera de separación entre el terreno y el espacio libre, podría estar relacionado con ello. Los reportes de señal entre la estación móvil subterránea y la estación de superficie P0, en la banda de 40 metros, parecen sostener este modelo de propagación.

La boca de entrada de la Sima Aradelas se ubica al noroeste, y en una cota superior, respecto de la ubicación de la estación de superficie P0. El desarrollo de la Sima, conforme se va profundizando, no es completamente vertical, si no que experimenta cierta pendiente hacia el sur. Debido a estas particulares circunstancias, las distancias en línea recta entre la estación P0 y las diferentes ubicaciones de la Sima, se mantienen relativamente constantes conforme se profundiza en la cavidad, La distancia entre ambas ubicaciones se hace mas pequeña conforme ganamos profundidad, para volver a incrementarse ligeramente hacia el final de la cavidad.

distancia	Boca Sima Aradelas (0 m.)	Sala Pozo Camello (-68 m.)	Sala del Buzón (-115 m.)	Sala Monforte (-137 m.)
P0	250 m.	233 m.	235 m.	240 m.

Distancias, en línea recta a través del terreno, desde la estación de superficie P0.

La Sala Pozo Camello se encuentra a 68 metros de profundidad, y a una distancia de P0 de 233 metros. Los reportes de señal, en la banda de 40 metros, fueron de R5-S7 en la estación de superficie y R5-S8 en la estación subterránea. La Sala del Buzón se encuentra a 115 metros de profundidad, y a una distancia de P0 de 235 metros. Los reportes de señal, en la banda de 40 metros, fueron de R4-S0 en la estación de superficie y R5-S0 en la estación subterránea. La distancia en línea recta entre las dos ubicaciones subterráneas y la estación de superficie P0 es prácticamente la misma (233<->235 metros), pero casi hemos duplicado la profundidad alcanzada (-68<->-115 metros). Si observamos los reportes de señal apreciaremos que el nivel de intensidad «S» desciende de desde S7 y S8 hasta S0 en ambos casos, lo que indica reducción significativa en el nivel de intensidad de señal. El principal factor que justificaría esta disminución del nivel de señal es la profundidad vertical alcanzada, ya que la distancia recta se mantiene constante en la práctica. Además ocurre tanto en la estación de superficie como en la subterránea, lo que sugiere un comportamiento recíproco en el camino de propagación de la señal. Estas observaciones sostienen que, de cara a establecer una comunicación efectiva cavidad-superficie, la ubicación de la estación de superficie exactamente en la vertical de la estación subterránea no es algo imperativo, permitiendo ubicar la estación de superficie en otro lugar mas cómodo, si resultase difícil o imposible ubicarse sobre la vertical de la estación subterránea.

La escasa diferencia en los reportes de señal entre la estación subterránea y P1, en las bandas de 160 y 80 metros, los atribuimos a la antena empleada en la estación subterránea. En las estaciones de superficie no representa un problema mayor desplegar una o varias antenas y sus respectivas dimensiones, pero en la estación subterránea el volumen, peso y espacio disponible son factores limitantes. Por cuestiones de eficacia práctica, para uso dentro de la cavidad, se empleó una antena diseñada para funcionar en las bandas de 80 y 160 metros, de 20 metros de longitud. Esto representa una solución de compromiso, con buen rendimiento en la banda de 80 metros y funcional en la banda de 160 metros. Emplear en 160 metros una antena de rendimiento equivalente a la de 80 metros supondría duplicar la longitud de la antena en la estación subterránea. Ello incrementaría el volumen y peso a transportar, así como la dificultad de manejo de una antena de tales dimensiones a través de los estrechos conductos subterráneos. Ganar en intensidad de señal, aumentando la longitud de onda de la transmisión, para perder luego esa ventaja si no podemos emplear una antena de dimensiones acordes a esa longitud de onda, empeorando con ello el rendimiento, invita a una reflexión amplia acerca de la eficacia de las longitudes de onda más largas.

Limitaciones encontradas.

La estación de superficie debe afrontar y sortear las posibles interferencias de radio de origen natural o artificial, así como reducir el efecto de fuentes de ruido electromagnético (líneas de suministro eléctrico, pastores eléctricos, etc.). Por ello resulta prioritario elegir una ubicación adecuada y el empleo de antenas con buena relación S/N. Esto facilita la recepción de la señal subterránea, aun si su nivel es bajo. La estación subterránea, generalmente, no se ve afectada por estas interferencias.

Considerando únicamente como distancia máxima de comunicación la profundidad vertical de la Sima Aradelas, -137 metros, hemos constatado la efectividad de la HF para comunicaciones cavidad-superficie. Habiendo logrado comunicación efectiva, en radiotelefonía, en la banda de 40 metros entre la estación de superficie P0 y la sala terminal de la Sima. En la banda de 80 metros la calidad de comunicación resultó muy buena, y más aún en 160 metros, teniendo en cuenta que se han empleado potencias de transmisión muy reducidas, iguales o menores a 5 vatios. Hasta el presente hemos empleado únicamente radiotelefonía para establecer la comunicación en los diversos ensayos realizados, incrementando en cada ocasión la distancia y profundidad. Es preciso realizar estudios adicionales en otras cavidades fuera de nuestra Comunidad Autónoma, con mayor desarrollo y profundidad, para encontrar el límite práctico de las frecuencias de HF en comunicaciones subterráneas. El empleo de otras técnicas de modulación, como radiotelegrafía o modulaciones digitales de señal débil, sin duda permitirán extender aun más los alcances subterráneos que se puedan lograr empleando radiotelefonía.

Comunicaciones en UHF con walkies PMR.

Las comunicaciones efectivas entre todos los participantes en actividades en el entorno natural, no solo optimizan la coordinación entre los miembros de los diferentes equipos, también aumentan la seguridad. La telefonía móvil a menudo representa una opción poco satisfactoria para este cometido. Podemos encontrar los siguientes problemas: cobertura deficiente o inestable, fragilidad de los terminales, imposibilidad de recargar las baterías, dificultad de manejo con guantes, etc.

En este contexto, los dispositivos PMR representan una opción mucho más cómoda y eficaz. Su uso en tareas de prospección, coordinación y seguridad deportiva son ya conocidas. A todas las mencionadas debemos añadir la versatilidad que proporcionan para las comunicaciones de proximidad entre los participantes de una actividad subterránea, como ya se ha detallado anteriormente. Pueden manejarse con una sola mano, no precisan de atención visual, se enganchan del arnés o a la instalación de progresión vertical, y proporcionan comunicación dentro de la cavidad mucho más allá de lo que la comunicación visual o de viva voz permite.

Hemos podido constatar también que permiten la comunicación con el exterior antes de salir por completo de la cavidad, conforme nos aproximamos a la boca de la misma. Las frecuencias de UHF nos han demostrado su capacidad para adentrarse unos metros en el interior de los conductos de entrada, rebotando sucesivamente a lo largo de los mismos. Este mismo fenómeno se produce en sentido contrario, de dentro hacia afuera, pudiendo informar a los miembros que aguardan en el exterior que ya se está cerca de la superficie. Dependiendo del grado de dificultad técnica de cada cavidad, recorrer unos pocos metros hasta salir completamente al exterior pueden representar muchos minutos de espera e incertidumbre. Esta facilidad de comunicación con el exterior presenta un comportamiento muy variable según el tamaño y morfología de la entrada de la cavidad.



Apéndice A

Participantes en el ensayo.

Este ensayo ha sido realizado íntegramente por espeleólogos del Grupo de Exploraciones Subterráneas del Club Alpino Manzaneda, de Orense (GES-CAM), y del Grupo de Exploraciones Subterráneas del Club Montañeros Celtas, de Vigo (GES-Celtas). Así como por operadores de radio amateur del grupo radiomakers.org, estructurados en los siguientes equipos:

-Documentación y apoyo técnico:

Miguel Caramés (GES-Celtas) espeleólogo y Técnico Deportivo en Espeleología

-Estación de superficie **P0** (base operativa):

Laura Lobón (GES-CAM) espeleóloga, dirección logística y coordinación de comunicaciones; José Luis Piñeiro (EB1IZS) operador de radio amateur; Juan Moldes (GES-CAM) espeleólogo asistente; Fernando Moldes (GES-CAM) espeleólogo asistente.

-Estación de superficie **P1** (estación móvil):

Antonio Díaz (GES-CAM, EB1AJP) espeleólogo y operador de radio amateur.

-Equipo de exploración subterránea:

Celso Pérez (GES-CAM) espeleólogo y Técnico Especialista en TPV; Javier Moldes (GES-CAM, EB1HBK) espeleólogo y operador de radio amateur.

Apéndice B

Frecuencias, transceptores y antenas empleados.

-Banda de 160 metros: 1,850 MHz. radiotelefonía con modulación LSB (Low Side Band)

-Banda de 80 metros: 3,760 MHz. radiotelefonía con modulación LSB (Low Side Band)

-Banda de 40 metros: 7,188 MHz. radiotelefonía con modulación LSB (Low Side Band)

-Banda de 10 metros: 28,428 MHz. radiotelefonía con modulación USB (Upper Side Band)

-Estación de superficie **P0**:

Transceptor multibanda Icom 706MKII-G; transceptor multibanda de apoyo Icom 7000 + ATU AT-180; antenas WormAnt tipo D para 80 m, 40 m y 10 m; antena de apoyo tipo loop magnético AntÁrtica-80; 10 baterías Li-Ion 20v 2.000 mAh; regulador lineal de voltaje portátil radiomakers.org de 13,8 V/20 A; transceptores de UHF tipo PMR SilverCrest SFG 8000 B1.

-Estación de superficie **P1**:

Transceptor multibanda Icom 706MKII-G; antenas WormAnt tipo D para 160 m, 80 m. y tipo B 40 m. Alimentación 12v desde el vehículo.

-Estación de exploración **subterránea**:

Transceptor Yaesu FT-817ND; antenas WormAnt tipo D para 160-80 m, tipo B para 40 m. y tipo D para 10 m; 2 baterías Li-Ion 12v 2.000 mAh; transceptores de UHF tipo PMR Motorola TalkAbout T5422.

Apéndice C

Topografía de Sima Aradelas.

Daniel Ballesteros, Antonio López y Oscar Quiñones. GES Montañeros Celtas, Vigo 2007.



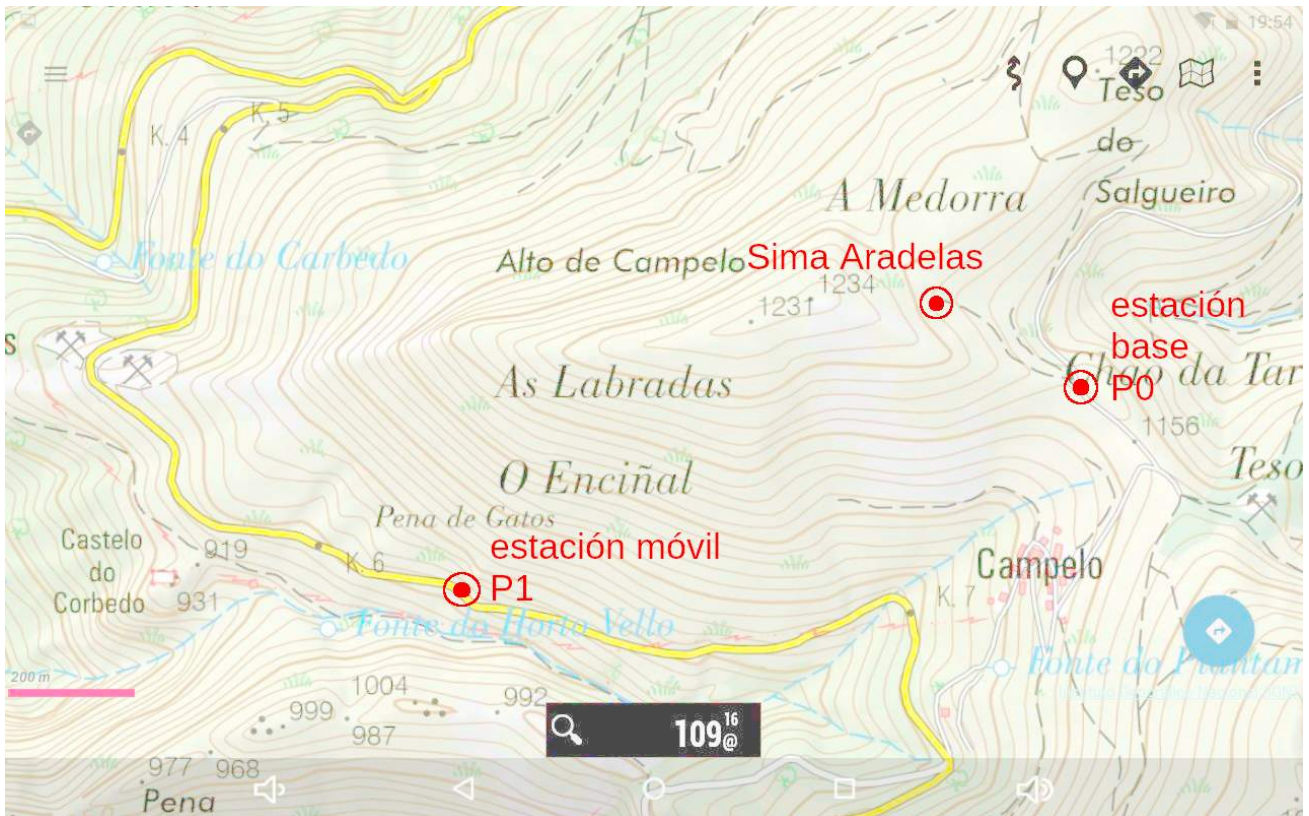
Apéndice D

Ubicaciones geográficas (dátum ETRS89) y localizaciones sobre el mapa.

-Sima Aradelas: 42,637393°N, 07,109882°W, 1.194 m SNM.

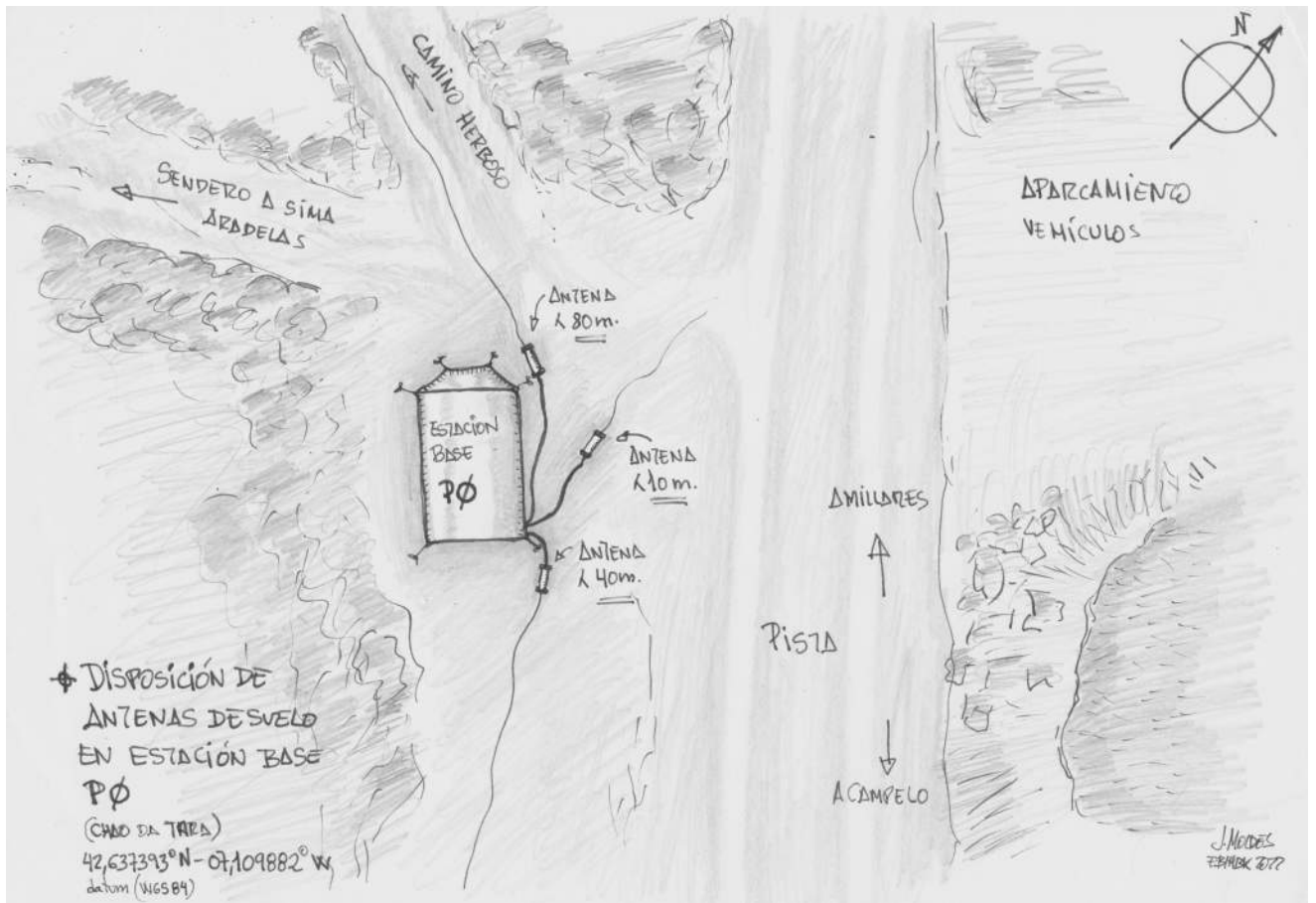
-Estación de superficie P0: 42,637941°N, 07,107119°W, 1.150 m SNM.

-Estación de superficie P1: 42,635064°N, 07,118990°W, 951 m SNM.



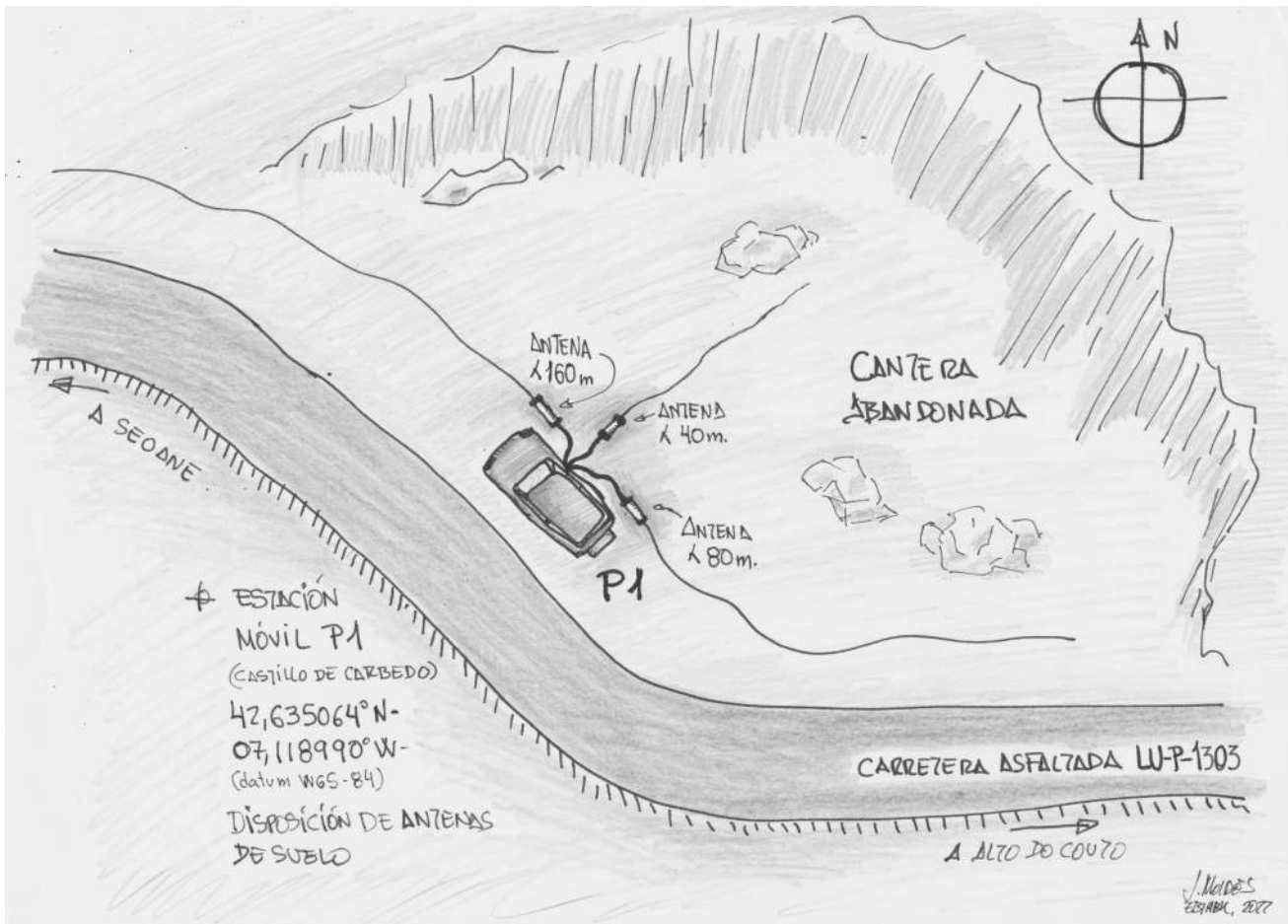
Localizaciones sobre el mapa de la Sima Aradelas y las estaciones de superficie P0 y P1.

Disposición de antenas en P0.



Disposición práctica sobre el terreno de las antenas de radiocomunicación en la estación de superficie P0.

Disposición de antenas en P1.



Disposición práctica sobre el terreno de las antenas de radiocomunicación en la estación de superficie P1.

Apéndice E

Código internacional R-S de reporte de recepción de señal.

-Parámetro **R** (inteligibilidad o claridad de la señal).

Adopta cinco posibles valores, que van desde una señal detectable pero incomprensible, hasta una recepción perfectamente clara y comprensible.

R	R1	R2	R3	R4	R5
claridad	incomprensible	apenas comprensible	comprensible con dificultad	comprensible	perfectamente comprensible

-Parámetro **S** (intensidad de la señal).

La intensidad de señal de radio, expresada en unidades "S", toma valores desde S1 a S9. En algunas escalas, generalmente, se muestran solo los valores impares. La ausencia de indicación de señal en el medidor de intensidad (S-meter) del receptor se expresa como "**S0**".

S	S1	S3	S5	S7	S9	S9+ (*) dB
intensidad	débil	aceptable	buena	fuerte	muy fuerte	extra fuerte

(*) Los valores por encima de S9 se representan con S9 mas el valor de exceso de señal indicado en dB.

El parámetro S9 corresponde a un valor de señal de radiofrecuencia 50 microvoltios sobre una impedancia de 50 ohmios. La diferencia entre cada parámetro S y el inmediatamente superior o inferior corresponde a un incremento o decremento de la señal en 6 dB, respectivamente. Así la intensidad de una señal S7 es 12dB mas débil que S9.

