

Diseño de una EMA móvil

PARA EL PROYECTO ANTÁRTICO MICROAIRPOLAR

MANUEL BAÑÓN¹, ANA JUSTEL², ANTONIO QUESADA², JOSÉ VICENTE ALBERO³,
SERGI GONZÁLEZ³, FRANCISCO VASALLO³

¹ METEORÓLOGO; EX-COORDINADOR DE LA CAMPAÑA ANTÁRTICA DE AEMET

² UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

³ AEMET

1.- Introducción

En 2016 comenzó el proyecto multidisciplinar MICROAIRPOLAR, impulsado por la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y con la participación de otros organismos entre los que se encuentra AEMET. Los objetivos del mismo son estudiar:

- La capacidad de dispersión aérea de microorganismos en las zonas polares.
- La viabilidad de los microorganismos que se encuentren bajo las condiciones ambientales propias de estas latitudes.
- Su potencial para colonizar zonas recientemente deglacadas como consecuencia del cambio climático.

Estos objetivos implican la toma de muestras de aire en las regiones polares y la modelización de trayectorias de las partículas de aire para conocer sus movimientos con los problemas logísticos, económicos y técnicos que ello representa.

Coincidiendo en el tiempo apareció la oportunidad de aprovechar el uso del vehículo diseñado por Ramón Larramendi para la exploración científica y geográfica de las tierras polares en el Ártico y la Antártida con una experiencia demostrada en una decena de expediciones y 18 000 km recorridos.

Este vehículo, llamado Trineo de Viento o WindSled, surgió de la experiencia de Larramendi al observar que se podían aprovechar los fuertes vientos polares para facilitar el transporte de personas y equipos a través del hielo. Por ello, creó una estructura compuesta de varias plataformas de madera con travesaños y rieles (siguiendo el modelo de los trineos clásicos inuit), con cometas de diferentes tamaños y tiendas de campaña diseñadas como espacio de habitabilidad y trabajo.

2.- Campaña Antártida Inexplorada 2018

En la primavera de 2017 se realiza una primera experiencia de unir ciencia y exploración en la campaña Río de Hielo Groenlandia 2017. MICROAIRPOLAR participa junto a otros cuatro proyectos científicos y AEMET se implica con algún instrumento de medida y el equipo de predictores del Grupo Antártico.

La experiencia se aprovecha para detectar necesidades, y en diciembre de 2018 parte la expedición **Antártida Inexplorada 2018** cuyo objetivo es la puesta en marcha de un programa científico internacional y/o nacional en el que el vehículo Trineo de Viento funcione como un laboratorio móvil que genere cero emisiones en los frágiles ecosistemas polares.

El modelo de trineo utilizado en esta campaña consta de tres módulos y está configurado como un convoy de 3.40 m de ancho y cerca de 10 m de largo, capaz de transportar a cuatro personas y 2 000 kg de carga. Cada uno de los módulos está formado por seis raíles alineados longitudinalmente y unidos

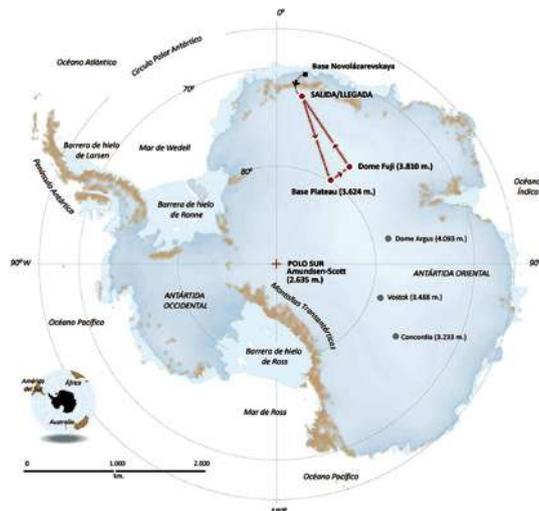
por travesaños que permiten una gran libertad de movimientos en el arrastre frontal. El conjunto tiene una base inferior de teflón para facilitar el deslizamiento sobre el hielo.



Trineo de viento. Foto de M. Bañón

El objetivo de la campaña es realizar un recorrido de más de 2 000 km por el *plateau* antártico, con salida en la vertiente sur de las montañas cercanas a la base Novolazarevskaya y la intención de alcanzar la antigua base Plateau, a 3 624 m de altitud, viajar al Domo Fuji, a 3 810 m de altitud, y regresar al punto de partida. La expedición ha de transportar los dispositivos para la adquisición de datos durante el recorrido, para el desarrollo de diez proyectos científicos.

Técnicamente, la dificultad de incluir un proyecto científico reside en la dureza de las condiciones meteorológicas que ha de soportar la instrumentación, así como la gran resistencia que la



Recorrido de la expedición. Fuente: Tierras Polares

instalación ha de tener a esfuerzos y golpes de todo tipo. Aunque el deslizarse sobre la superficie de hielo y nieve antártica parece suponer un mínimo esfuerzo, la realidad es que no hablamos de una superficie lisa y de fácil deslizamiento, sino de una superficie en la que de manera frecuente existen zonas de *sastrugi*, unas ondulaciones del hielo que pueden superar el metro de altura. A ello se le suman las aceleraciones y deceleraciones bruscas por efecto del arrastre de las cometas que tiran del trineo.

3.- Definición de necesidades científicas

El proyecto MICROAIRPOLAR en esta expedición consta de dos partes: la primera consiste en la captación de microorganismos del aire mediante un sistema específicamente diseñado para trabajar en el trineo; la segunda, en obtener un registro, lo más completo posible, de las distintas variables meteorológicas observadas durante el recorrido. Estos datos tienen, por una parte, el valor intrínseco de ser muy escasos en la zona a recorrer, y por otra, el de poder compararlos con los valores dados por los modelos utilizados en la predicción y el análisis meteorológicos. Para ello necesitamos de una Estación Meteorológica Automática, EMA, en el vehículo. En este artículo nos centraremos en la descripción de este apartado, que ha recibido el nombre de M-AWS (*Mobile-Automatic Weather Station*).

El compromiso de AEMET en el proyecto, a través de su Grupo Antártico, es elaborar una predicción meteorológica especial para los expedicionarios, trabajo que necesita de una retroalimentación de información entre el equipo de predictores y el del trineo con el fin de conocer la bondad de las predicciones. Estas van a tener un fin prioritario: predecir el viento en los primeros 300 m de altura. Además, es importante conocer las características de los modelos, a partir de los cuales se van a calcular las retro trayectorias que nos indiquen el origen de los posibles aeronavegantes que se capten.

La M-AWS diseñada nos proporciona un mínimo de información consistente en temperatura, humedad y viento, a lo que se añade, por la especial característica del conjunto, un GPS.

4.- Definición de necesidades técnicas

El primer paso en el diseño de la M-AWS pasa por estudiar las condiciones físicas en las que ha de funcionar. En este caso tenemos que diseñar una estación sobre un vehículo en movimiento y con necesidad de autonomía energética para, aproximadamente, dos meses. A esto hay que añadir unas condiciones meteorológicas extremas, con temperaturas por debajo de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y hasta $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, en la zona del domo Fuji, y altitudes entre los 2 000 m y 4 000 m. Además, existe una gran probabilidad de tener que soportar los fuertes vientos catabáticos de la zona en que se va a mover.

Básicamente será una EMA muy robusta y capaz de soportar fuertes golpes y sacudidas, autónoma energéticamente y fácilmente manejable. Los elementos a considerar en su diseño deben ser:

I. Datalogger

Un problema añadido en todo proyecto científico es la necesidad de ajustar el presupuesto a la disponibilidad de los re-

ursos económicos. Por este motivo se opta por utilizar un datalogger Campbell CR1000 del que se disponía para el proyecto antártico LIMNOPOLAR. El equipo está probado en condiciones adversas y preparado para las bajas temperaturas que deberá soportar, además de tener un consumo energético muy bajo.

II. Elección de baterías

Inicialmente se considera que la conexión entre los expedicionarios y la EMA va a ser frecuente y van a utilizar los datos en tiempo real. Tras analizar con los expedicionarios el uso que les pueden dar a los datos, se decide que no van a utilizarlos sobre el terreno, hecho que anula la necesidad de una conexión tipo wifi que necesita una energía extra, siendo esta un elemento crítico en el diseño de la estación.

El requerimiento de autonomía surge de varios factores:

- La duración de la campaña es de dos meses, un periodo relativamente corto para que pueda alimentarse de una batería sin necesidad de recarga. No obstante, se estimó la necesidad de llevar una batería de reserva, dado que las bajas temperaturas harán que el rendimiento de cualquier batería disminuya mucho respecto al valor óptimo de funcionamiento.
- El consumo diario de los elementos de la EMA es muy pequeño, unos 0.3 Ah.
- La necesidad de que la manipulación y el trabajo de los expedicionarios con la EMA, y en especial las baterías, sea fácil y requiera el menor tiempo posible.
- La alimentación de la EMA es deseable que sea autónoma y no dependa de los sistemas de alimentación del trineo de viento, a la vez que sea compatible con ellos.

Debido a las bajas temperaturas a las que tendrá que trabajar la batería y al movimiento al que estará sujeta, quedan descartadas las baterías de plomo-ácido. Respecto a las baterías de gel, de las que tenemos experiencia antártica, las hemos rechazado debido a dos factores: Por debajo de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ningún fabricante daba garantías respecto a su rendimiento y podían ser demasiado pesadas. Sólo quedó la opción de utilizar baterías Li-ion.

Se eligen, al final, dos tipos de baterías:

- Una batería recargable construida con celdas SAFT MP 176065 Li-ion capaz de proporcionar hasta 16.8 V y capacidad de 25.6 Ah. Dada la baja temperatura a la que tiene que trabajar, se estima que bajará de forma apreciable el rendimiento, su tensión en carga estará entre los 12 y 16 V. Su peso es de 2.35 kg y garantiza su funcionamiento en descarga hasta los $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Una batería no recargable construida con celdas SAFT 26 SHX capaz de proporcionar hasta 12.5 V y capacidad de 12 Ah.

La EMA comenzará a funcionar con la batería recargable y, si lo necesita, se cambiará a la batería no recargable el tiempo necesario para recargar la primera batería.

III. Elección de instrumentos

Una EMA normal podría disponer de muchos tipos de instrumentos como termohigrómetros para medir a varias alturas, anemocinómetros, barómetros y piranómetros. No es el caso, dado que es una estación sujeta a fuertes movimientos de cizalla y verticales. Eso complica la instalación y el funcionamiento de cualquier instrumento. Se decide instalar:

Diseño de una EMA móvil

PARA EL PROYECTO ANTÁRTICO MICROAIRPOLAR

- Un sensor de temperatura y humedad, proporcionado por AEMET, junto a su protector de radiación. El instrumento elegido es el Vaisala HMP155 capaz de medir temperaturas entre -80 y $+60$ °C. En el caso de humedad relativa es capaz de medir en el rango 0 a 100 %.

- Un sensor de velocidad y dirección de viento, también proporcionado por AEMET. La instalación de este sensor es la más complicada debido a que debe estar lo más elevada posible en un vehículo con pocos elementos rígidos y se ha de realizar con distintos tipos de fijaciones y amortiguamientos.

Hay que señalar que el viento real es la composición vectorial de la velocidad aparente registrada por el sensor y la velocidad del trineo, donde la velocidad aparente del viento está dada respecto a un norte ficticio señalado por el eje del trineo según la dirección y sentido del avance. Más sencillo es conocer velocidad y dirección de desplazamiento del trineo mediante un GPS.

El instrumento elegido es el Young 05108-45-L, capaz de medir entre 0 y 100 m/s.

- Para solucionar los problemas de cálculo de viento real se incorpora un GPS capaz de proporcionarnos, con toda la fiabilidad, la velocidad y dirección del movimiento del trineo. Es elegido el GARMIN GPS16x-HVX con un rango de funcionamiento de -30 a $+80$ °C, lo que es una de las causas por la que incluimos dos elementos calefactores en la caja que aloje la M-AWS.

- Se descarta utilizar barómetro debido a las duras exigencias físicas del viaje, con movimiento y traqueteo continuo. La experiencia en otras circunstancias nos dice que este instrumento aguanta mal estas situaciones.

- Se descarta la medida de radiación en las distintas bandas por la nula calidad de los datos obtenidos en una plataforma en movimiento de este tipo.

IV. Elección de cables y conectores

Un problema que no se suele plantear en las instalaciones habituales es la necesidad de cables especiales. En este caso es un problema adicional, ya que las temperaturas a las que se puede llegar, por debajo de los -40 °C, hacen que los cables y conectores se vuelvan frágiles y se puedan romper con cualquier movimiento brusco. Por este motivo se buscó un cableado adecuado y capaz de aguantar los movimientos a -50 °C. Se eligen los modelos igus chainflex CF9.UL.05.02, de dos conductores, y CF9.UL.02.06, de seis conductores, para baterías y placas solares y viento, respectivamente. En el HMP155 y GPS se utilizan los de fábrica.

Igualmente es muy importante la elección de los conectores y, en este caso, se optó por conectores de tipo militar muy resistentes, diferentes en sus números de pines entre ellos y fácilmente manipulables por los expedicionarios, incluso con guantes.

V. Elección de caja

Faltaba por determinar dónde iban a ir el datalogger y las baterías de manera que quedaran protegidos frente a la intemperie y que todo el sistema de medida tuviera la posibilidad de ser calentado ligeramente con el fin de ganar algún grado

de temperatura respecto al ambiente exterior. Se encontró el contenedor isotérmico de polipropileno expandido EPP, modelo THC 1/12 230 BLACK y densidad de 50 gr/l. Su capacidad es de 22 l y su peso de 1.1 kg con un índice de conductividad de 0.042 w/m*k. La empresa que los fabrica, Dégerman, incluyó algunos elementos especiales en el diseño para facilitar su manejo. El volumen de la caja es suficiente para contener las dos baterías, la de servicio y la de reserva, el datalogger, el GPS y todo el cableado. La suma de todos estos elementos ocupa casi todo el recinto interior y los espacios libres se rellenan con moldes plásticos contruados a medida para impedir el movimiento interno y a su vez proteger a los equipos de los golpes.

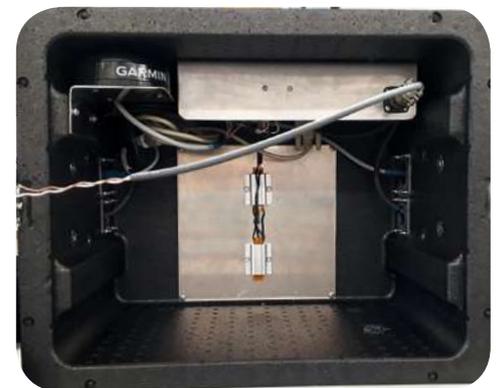
Para mantener el aislamiento y la robustez del sistema, la intención del diseño es que la caja no se abra en ningún momento durante la campaña, excepto en el caso de cambio de batería. Por este motivo se instalan los conectores necesarios en las paredes externas: dos para los sensores de temperatura y humedad y de viento, uno para la entrada de la tensión proporcionada por las placas solares calefactoras, de las que hablaremos a continuación, y uno para las comunicaciones datalogger-PC. Los tres primeros de diferente número de pines y todos, incluido el conector USB-USB, de tipo militar con el fin de evitar errores de manipulación.

VI. Sistema calefactor

Un elemento importante que se ha de considerar en el diseño de la EMA es que la temperatura exterior puede llegar a -50 °C y que, por tanto, esa podía llegar a ser la temperatura que se alcanzaría en el interior de la caja donde se ubican las baterías, el datalogger y el GPS. Esta temperatura expone a las baterías y el datalogger a una situación límite, y deja el GPS fuera del límite de funcionamiento garantizado.

Para minimizar el riesgo de que las temperaturas extremas que se pueden llegar a registrar durante la expedición puedan provocar un fallo en cualquiera de estos instrumentos que deje fuera de servicio la M-AWS, se sitúan en el interior de la caja dos resistencias calefactoras en paralelo con una potencia nominal de 10 W cada una. Se estima que las resistencias pueden incrementar la temperatura en el interior de la caja

entre 4 y 6 °C. El sistema calefactor se concibe independiente energéticamente de la EMA y se alimenta por paneles solares conectados directamente a las resistencias en paralelo. Estas resistencias no deben alcanzar temperaturas de más de 40 °C para evitar que se queme el material plástico existente en el interior de la caja. Las resistencias se sujetan a una placa metálica en el fondo de



Sistema calefactor. Foto de Ana Justel

la EMA para que actúe de difusora del calor. El correcto funcionamiento del sistema calefactor dependerá finalmente de que la radiación solar disponible, tanto directa y difusa como la reflejada por el suelo, proporcione la energía suficiente. Los paneles solares empleados son semirígidos y van adosados a las paredes superior y trasera de la caja. Con esta ubicación se pretende aprovechar la radiación solar directa y difusa y la reflejada por la nieve y el hielo en los laterales de la caja.

VII. Comunicación con el datalogger

Finalmente, en el diseño de la M-AWS se contempla la necesidad de establecer un sistema que permita la comunicación diaria con el datalogger. La posibilidad de incorporar un sistema de comunicaciones vía wifi o bluetooth se descartó para evitar un aumento en la demanda energética que situara al conjunto de la M-AWS en niveles críticos para su funcio-

5.- Programa de trabajo

Definidas las necesidades científicas y técnicas, el siguiente paso es la programación de las medidas que se van a registrar y su frecuencia:

- Muestreo de datos de temperatura, humedad y viento cada 30 s.
- Tabla de datos cada 30 minutos.
- Grabación de datos cada media hora de temperatura y humedad medias, dirección y velocidad del viento instantánea, y dirección y velocidad medias del viento (vector). Minutos 00 y 30.
- En los minutos 28 y 58, antes de la grabación de temperatura y humedad, se encenderá el GPS durante dos minutos para dar posición y velocidad de trineo. El GPS deberá dar latitud, longitud, velocidad y dirección del trineo y parámetros de calidad de la medida.

- Tabla de datos cada 24 horas.
- Temperaturas y humedades medias, máximas y mínimas diarias, y momentos de ocurrencia de las extremas (hora y minuto).
- Velocidad y dirección de la racha máxima diaria de viento y momento de ocurrencia (hora y minuto).
- Valor medio, máximo y mínimo de la batería y momento de ocurrencia (hora y minuto).

El diseño de este programa de medidas responde a la necesidad de minimizar el consumo y maximizar el número

de datos útiles e informativos que se registran durante la expedición. El consumo diario del datalogger con este plan de trabajo es de 0.285 Ah, lo que, considerando la batería con un rendimiento del 60 % por las bajas temperaturas, permite realizar el 90 % de los días programados de campaña con la batería recargable.

Reconocimientos

El diseño de la M-AWS ha sido liderado por los directores del equipo multidisciplinar del proyecto MICROAIRPOLAR. En su desarrollo han intervenido tanto meteorólogos de la AE-MET como matemáticos, biólogos e informáticos de la UAM. La fabricación y numerosas aportaciones técnicas se deben a Juan Antonio Higuera y Jesús González del departamento SEGAINVEX de la UAM. El trabajo en equipo ha sido clave para el éxito de este proyecto. Sin la suma de las aportaciones que cada uno ha hecho partiendo de sus conocimientos técnicos y complementándolos con creatividad e imaginación, no se habría podido construir esta nueva EMA, lista para registrar datos meteorológicos en uno de los lugares menos accesibles y más inexplorados de la Tierra.

El proyecto con la denominación Mobile-Automatic Weather Station ha sido reconocido por el Programa de Predicción Polar de la OMM como uno de los programas que oficialmente va a contribuir a aportar datos dentro del Año Internacional de la Predicción Polar (YOPP, *Year of Polar Prediction*).



Aspecto externo e interno de M-AWS. Fotos de Ana Justel

namiento autónomo. En el diseño final se ha considerado que la forma más sencilla y robusta de acceder al datalogger para facilitar la consulta diaria de los datos, y de este modo monitorizar el correcto funcionamiento del sistema, es la comunicación con un PC a través de un cable resistente a temperaturas inferiores a -40 °C.

El datalogger CR1000 solo permite establecer la comunicación con un PC a través del puerto serie con conector RS232 de 9 pines. Este tipo de conexión, muy común hace algunos años, ahora es un problema, ya que los actuales PC no tienen ese tipo de conector. Por tanto, es necesario incorporar en el sistema de comunicación un cable conversor RS232 a USB. Algo tan simple se complica todavía más al necesitar un cable extra, debido a que no ha sido posible adquirir uno de ese tipo que aguante -50 °C y que supere los 10 cm de longitud. Para aumentar las dificultades, el único que encontramos no tiene capacidad para atornillarse al datalogger con el conector RS232.

El resultado final para la conexión datalogger-PC es un cable transparente macho-hembra RS232 y con tornillos de sujeción, unido al datalogger y al conversor RS232 a USB y que, a su vez, está unido a un conector militar de panel USB hembra-hembra. En la parte externa de la caja se conecta un cable USB-USB de características especiales para que resista temperaturas de hasta -40 °C y que termina en el PC.