

## ÍNDICE DEL CAPÍTULO

	<i>Página</i>
CAPÍTULO 1. MEDICIONES DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS .....	577
1.1 Generalidades .....	577
1.1.1 Definición .....	577
1.1.2 Finalidad .....	577
1.1.3 Requisitos meteorológicos .....	577
1.1.4 Necesidades climatológicas .....	579
1.1.5 Tipos de estaciones meteorológicas automáticas .....	580
1.1.6 Redes .....	581
1.2 Equipo de las estaciones meteorológicas automáticas .....	581
1.2.1 Sensores .....	582
1.2.2 Unidad central de procesamiento .....	585
1.2.2.1 Adquisición de datos .....	586
1.2.2.2 Procesamiento de datos .....	588
1.2.2.3 Transmisión de datos .....	589
1.2.3 Equipo periférico .....	589
1.3 Programas informáticos de las estaciones meteorológicas automáticas .....	590
1.3.1 Programas informáticos de los sistemas .....	590
1.3.2 Programas informáticos para aplicaciones .....	591
1.3.2.1 Inicialización .....	591
1.3.2.2 Muestreo y filtrado .....	592
1.3.2.3 Conversión de datos sin procesar .....	592
1.3.2.4 Valores meteorológicos instantáneos .....	593
1.3.2.5 Introducción manual de observaciones .....	593
1.3.2.6 Reducción de datos .....	593
1.3.2.7 Cifrado de mensajes .....	594
1.3.2.8 Control de la calidad .....	594
1.3.2.9 Almacenamiento de datos .....	596
1.3.2.10 Transmisión de datos .....	596
1.3.2.11 Mantenimiento y calibración .....	599
1.3.2.12 Visualización de datos .....	599
1.4 Consideraciones sobre el emplazamiento de las estaciones meteorológicas automáticas .....	599
1.5 Procesamiento centralizado de datos de la red .....	600
1.5.1 Composición .....	600
1.5.2 Control de la calidad de los datos de la red .....	600
1.6 Mantenimiento .....	601
1.7 Calibración .....	603
1.8 Formación .....	604
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA .....	605

# **CAPÍTULO 1. MEDICIONES DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS**

## **1.1 GENERALIDADES**

### **1.1.1 Definición**

Una estación meteorológica automática (EMA) se define como una “estación meteorológica en la que las observaciones se efectúan y transmiten automáticamente” (OMM, 1992a).

En una EMA, las mediciones realizadas con instrumentos son leídas o recibidas por una unidad central de adquisición de datos. Los datos obtenidos de los dispositivos de medición autónomos pueden ser procesados a nivel local en la EMA o en otra parte, por ejemplo, en el procesador central de la red (OMM, 2010a). Las estaciones meteorológicas automáticas pueden ser diseñadas como un concepto integrado de diversos dispositivos de medición en combinación con unidades de adquisición y procesamiento de datos. Ese sistema combinado de instrumentos, interfaces y unidades de procesamiento y transmisión suele denominarse “sistema automatizado de observación meteorológica” o “sistema automatizado de observación en superficie”. Referirse a ese sistema como una EMA se ha convertido en una práctica habitual, si bien no se trata de una “estación” en el sentido estricto de la definición establecida. No obstante, en este capítulo, a veces EMA puede referirse a ese tipo de sistema.

### **1.1.2 Finalidad**

Las estaciones meteorológicas automáticas se utilizan para aumentar el número y la fiabilidad de las observaciones en superficie, y lo consiguen:

- a) aumentando la densidad de una red existente proporcionando datos desde nuevos emplazamientos, así como desde otros de difícil acceso o inhóspitos;
- b) proporcionando datos, fuera de las horas normales de funcionamiento, para las estaciones atendidas por personal;
- c) aumentando la fiabilidad de las mediciones mediante el uso de sofisticadas tecnologías y modernas técnicas de medición digitales;
- d) asegurando la homogeneidad de las redes a través de la normalización de las técnicas de medición;
- e) respondiendo a nuevas necesidades y requisitos de observación;
- f) reduciendo los errores humanos;
- g) disminuyendo los costos de explotación gracias a la reducción del número de observadores;
- h) realizando mediciones y presentando informes con mucha frecuencia o de forma constante.

### **1.1.3 Requisitos meteorológicos**

En OMM (2010b y 2011c) se establecen los requisitos generales, los tipos, la ubicación y la composición, la frecuencia y el momento de las observaciones.

Teniendo en cuenta que las EMA están plenamente aceptadas como estaciones meteorológicas cuando proporcionan datos con una exactitud comparable a la de las estaciones tradicionales, los requisitos de incertidumbre que figuran en el capítulo 1 de la parte I de la Guía también pueden aplicarse, cuando procede, a las EMA.

El contenido del presente capítulo ha de leerse junto con el de los capítulos sobre mediciones de las diversas variables meteorológicas de la parte I y, en particular, con el de los capítulos de la parte IV sobre gestión de la calidad (capítulo 1), muestreo (capítulo 2) y reducción de datos (capítulo 3).

El desarrollo y la instalación de EMA debería ser el resultado de un plan debidamente coordinado para suministrar datos a los usuarios en el formato requerido. Para lograrlo, lo primero que habría que hacer es negociar con los usuarios a fin de elaborar una lista con todas las necesidades funcionales, y desarrollar los medios prácticos para cumplirlas.

Además, no siempre resulta satisfactorio depender de los proveedores del equipo para determinar los requisitos de funcionamiento. La Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (CIMO) brinda el siguiente asesoramiento a los Miembros de la OMM y, por extensión, a cualesquiera organizaciones que efectúen mediciones meteorológicas.

Al considerar la introducción de nuevos sistemas de instrumentos en la EMA, los servicios meteorológicos deberían:

- a) poner en servicio solo los sistemas de eficacia suficientemente bien documentada para facilitar un conocimiento y una comprensión adecuados de sus capacidades, características y algoritmos utilizados<sup>1</sup>;
- b) conservar o desarrollar conocimientos técnicos suficientes para especificar las necesidades de los sistemas y evaluar si son útiles tanto las capacidades y características de esos sistemas como los algoritmos utilizados en los mismos<sup>2</sup>;
- c) estudiar a fondo las necesidades de los usuarios y procurar que participen en el diseño del sistema de las EMA;
- d) invitar a los usuarios a participar en la validación y evaluación de los nuevos sistemas automatizados;
- e) invitar a los fabricantes a participar en la evaluación del sistema y en las mejoras necesarias con respecto al rendimiento;
- f) elaborar guías y documentación detallados sobre los sistemas en apoyo de todos los usuarios;
- g) desarrollar programas apropiados de apoyo a las EMA en materia de mantenimiento y calibración;
- h) mantener consultas y una cooperación con los usuarios, como las autoridades aeronáuticas, a lo largo de todo el proceso, desde el diseño de la EMA hasta su aplicación y uso operativo;
- i) desarrollar y aplicar métodos de presentación de informes para su uso nacional que den cabida a las observaciones generadas tanto por sistemas tradicionales como automatizados.

<sup>1</sup> Recomendación 2 (CIMO-XII), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su duodécima reunión (1998).

<sup>2</sup> Recomendación 2 (CIMO-XII), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su duodécima reunión (1998).

Por lo que se refiere a la automatización de las observaciones tradicionales, visuales y subjetivas, y los cambios futuros de las claves de notificación, los servicios meteorológicos deberían mejorar su definición de las necesidades con respecto a<sup>3</sup>:

- a) las esferas de aplicación para las que ya no se necesitan datos;
- b) las esferas de aplicación para las que se necesitan datos nuevos o diferentes;
- c) la clasificación de las necesidades de datos de las EMA por orden de prioridades.

Al considerar el desarrollo y la aplicación de algoritmos para las EMA, los servicios meteorológicos deberían<sup>4</sup>:

- a) alentar a los diseñadores de instrumentos y sistemas a cooperar estrechamente con los usuarios a fin de comprender perfectamente sus necesidades e intereses;
- b) colaborar con los diseñadores de sistemas para publicar y difundir, para su uso generalizado y posible normalización, descripciones de los algoritmos de procesamiento de datos utilizados en sus sistemas para obtener variables meteorológicas;
- c) verificar y evaluar minuciosamente los nuevos algoritmos y sistemas que se están introduciendo y difundir a los usuarios de las observaciones los resultados de las verificaciones en forma de características operativas de los instrumentos;
- d) evaluar minuciosamente, mediante verificaciones y comparaciones sobre el terreno, la relación de los nuevos algoritmos y sistemas con los métodos anteriores, y establecer funciones de transferencia para utilizarlas a efectos de la continuidad y homogeneidad de los datos, y transmitir estos datos a los usuarios.

#### 1.1.4 Necesidades climatológicas<sup>5</sup>

Cuando una estación automática propuesta desempeña una función en el suministro de datos para registros climatológicos, es importante considerar la adopción de medidas en las siguientes esferas en aras de la integridad, homogeneidad y utilidad de los conjuntos de datos climáticos (véase OMM, 1993):

- a) En los casos en los que una EMA reemplaza un sistema manual de observación que lleva largo tiempo en funcionamiento, deberá asegurarse un período de coexistencia suficiente en los sistemas de observación a fin de facilitar el mantenimiento de la homogeneidad del registro histórico<sup>6</sup>. El período de coexistencia depende de las diferentes variables objeto de medición y de la región climática. En las islas y las regiones tropicales, el período de coexistencia podría ser más breve que en las regiones extratropicales y montañosas. Se proponen las siguientes directrices generales para un período de coexistencia operativa suficiente entre los sistemas existentes y los nuevos sistemas automatizados:
  - i) velocidad y dirección del viento: 12 meses;
  - ii) temperatura, humedad, insolación, evaporación: 24 meses;
  - iii) precipitación: 60 meses.

<sup>3</sup> Recomendación 5 (CIMO-XII), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su duodécima reunión (1998).

<sup>4</sup> Recomendación 2 (CIMO-XII), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su duodécima reunión (1998).

<sup>5</sup> Recomendación 3 (CIMO-XII), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su duodécima reunión (1998).

<sup>6</sup> Véase también OMM (2010a), sección 3.2.1.4.4.4 c) “[u]n año de mediciones paralelas no es suficiente; se necesitan preferentemente dos años como mínimo, en función de la región climática”.

(A menudo será conveniente utilizar un ombrómetro en paralelo con el pluviómetro automático).

Una buena solución intermedia sería contar con un período de coexistencia de 24 meses (es decir, dos ciclos estacionales).

- b) Deberían mantenerse metadatos precisos para cada instalación de EMA<sup>7</sup>.
- c) Deberían normalizarse los procedimientos para la garantía de la calidad y el procesamiento de datos de las EMA (véase la sección 1.3.2.8).
- d) Habría que definir las necesidades actuales y futuras de los usuarios de datos climatológicos de forma precisa y tomarlas en cuenta en las declaraciones de necesidades para las observaciones automatizadas de las EMA<sup>8</sup>.
- e) Los usuarios de servicios climatológicos deberían recibir formación para utilizar los datos de las EMA de la forma más eficaz posible<sup>9</sup>.
- f) Deberían desarrollarse especificaciones para una EMA climatológica normalizada que registre un conjunto básico de variables climáticas como la temperatura, la precipitación, la presión y el viento. Habría que incluir mediciones normalizadas del vapor de agua, dada la importancia de este parámetro en los estudios sobre el cambio climático. Los valores extremos de todas las variables deberían ser registrados con exactitud y constancia de modo que puedan relacionarse de forma precisa con datos anteriores obtenidos mediante observación manual<sup>10</sup>.

### 1.1.5 Tipos de estaciones meteorológicas automáticas

Las estaciones meteorológicas automáticas se utilizan para satisfacer diversas necesidades, desde una ayuda al observador en estaciones atendidas por personal hasta la sustitución completa de observadores en estaciones totalmente automáticas. Las EMA se pueden clasificar en varios grupos funcionales; ahora bien, como se superponen frecuentemente entre sí, entonces la clasificación comienza a descomponerse. Las estaciones podrían clasificarse con carácter general en estaciones que proporcionan datos en tiempo real y estaciones que registran datos para análisis en diferido o fuera de línea. Sin embargo, con frecuencia la misma EMA cumple ambas funciones.

*EMA en tiempo real:* estación que proporciona datos a los usuarios de observaciones meteorológicas en tiempo real, normalmente en períodos de tiempo prefijados, pero también en condiciones de emergencia o previa petición externa. Los usos típicos en tiempo real de una EMA son el suministro de datos sinópticos y la verificación de estados de aviso críticos como tormentas y niveles de ríos o mareas.

*EMA fuera de línea:* estación que registra datos sobre el terreno en dispositivos de almacenamiento de datos internos o externos, posiblemente combinados con una visualización de datos reales. Se requiere la intervención de un observador para enviar datos almacenados a usuarios remotos. Las estaciones típicas son las estaciones climatológicas y las estaciones en que simplemente se proporciona ayuda al observador.

Se puede dotar facultativamente a ambos tipos de estaciones de medios para la introducción o edición manual de observaciones visuales o subjetivas que no pueden hacerse aún en forma totalmente automática, como el tiempo presente o pasado, u observaciones que suponen elevados costos, como las relacionadas con la altura de nubes y la visibilidad. Este tipo de estación puede describirse como parcialmente automática o semiautomática.

<sup>7</sup> Véase el capítulo 1 de la parte I (sección 1.1.3).

<sup>8</sup> Véase el capítulo 1 de la parte I (anexo 1.E).

<sup>9</sup> Por ejemplo, véase OMM (1997), especialmente la parte II: "Implementation and user training considerations" (Consideraciones de la aplicación y la formación de los usuarios).

<sup>10</sup> *Ibíd.*

Como el costo de las EMA puede ser muy alto, las instalaciones de una estación también pueden utilizarse para responder a necesidades y requisitos comunes y específicos de varias aplicaciones, entre ellas las sinópticas, las de meteorología aeronáutica y agrícola, las hidrológicas y las climatológicas. También pueden utilizarse para fines especiales, por ejemplo, la seguridad con respecto a la energía nuclear, la calidad del aire y el agua, y la meteorología vial. Por lo tanto, algunas EMA son estaciones meteorológicas automáticas con múltiples funciones.

### 1.1.6 **Redes**

Normalmente, una EMA forma parte de una red de estaciones meteorológicas, cada una de las cuales transmite sus datos procesados a un sistema central de procesamiento de red por diversos medios de transmisión de datos. Como las tareas que ha de ejecutar este sistema central están muy relacionadas y con frecuencia son complementarias de las tareas de las EMA, deberían coordinarse muy bien las necesidades funcionales y técnicas del sistema central con las de las EMA.

Al planificar la instalación y el funcionamiento de una red de EMA es sumamente importante considerar los diversos problemas relacionados con los medios de mantenimiento y calibración, su organización, y la formación e instrucción del personal técnico. Las consideraciones de densidad de las redes quedan fuera del ámbito de esta Guía, pues dependen de las aplicaciones específicas. Sin embargo, el emplazamiento y la exposición óptimos de las estaciones influyen considerablemente en su rendimiento, y deberán estudiarse antes de su instalación.

## 1.2 **EQUIPO DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS**

Una EMA puede consistir en un sistema automatizado de observación meteorológica (y sistema de adquisición de datos) integrado o en un conjunto de dispositivos de medición autónomos conectados a una unidad de recopilación y transmisión de datos. Normalmente, la distribución de una EMA consiste en lo siguiente:

- a) en una zona de observación típica, preferentemente que no sea inferior a 25 m x 25 m (capítulo 1 de la parte I, y OMM, 2010a), una serie de sensores automáticos situados en las posiciones recomendadas e interconectados a una o más unidades de recopilación de datos mediante interfaces, o en el caso de un sistema automatizado de observación meteorológica, un conjunto de sensores instalados en estrecha combinación pero sin afectarse mutuamente, directamente conectados a una unidad central de procesamiento mediante cables blindados, de fibra óptica o por radioenlace;
- b) una unidad central de procesamiento para la adquisición de datos de sensores y su conversión en formato legible por computadora; un procesamiento adecuado de los datos mediante un sistema basado en microprocesador con arreglo a algoritmos especificados; el almacenamiento temporal de datos procesados y su transmisión a usuarios de información meteorológica remotos;
- c) equipo periférico que incluya el suministro de energía estabilizado a las distintas partes de la estación; un reloj en tiempo real, y un equipo de prueba incorporado para la verificación automática del estado de las partes esenciales de la estación; en el caso de terminales locales de aplicaciones específicas para la introducción y edición manual de datos, se agregan a la estación dispositivos de visualización e impresoras o registradores.

Con la creciente interacción entre la sociedad y la atmósfera, cambian y aumentan las necesidades, entre ellas la demanda de más estaciones y la medición de más variables, la transmisión a intervalos más frecuentes, nuevos formatos y mejor rendimiento. Como consecuencia de ello, el equipo y la programación de las EMA han de adaptarse a las nuevas exigencias. Esto solo puede hacerse si la EMA está debidamente planificada sobre una base modular. Las adaptaciones y las pruebas son con frecuencia más complejas de lo previsto. Una EMA bien planificada comprende opciones de prueba previa que permiten modificar la

configuración y los parámetros del sistema. Otras características deseables son la capacidad de potencia de reserva, el espacio en los bastidores de instalación, las interfaces de comunicación de reserva, la capacidad de procesamiento de reserva, y un entorno de programación flexible. En la parte I de OMM (1997) pueden encontrarse directrices sobre la preparación de una especificación funcional para el sistema de las EMA.

### 1.2.1 Sensores

Las exigencias meteorológicas para los sensores que se utilizan en las EMA no difieren mucho de las relativas a los sensores para uso convencional. Véanse también las recomendaciones formuladas en los capítulos pertinentes de la parte I de esta Guía. Dado que en la mayor parte de las EMA las mediciones son controladas a larga distancia, estos sensores deben ser robustos, no necesitar apenas mantenimiento y carecer de distorsiones intrínsecas o incertidumbre en la manera en que toman muestras de la variable que debe medirse. En general, todos los sensores con una salida eléctrica son apropiados. Hay una gran cantidad de sensores de rendimiento y calidad (y precio) variables, que resultan apropiados para utilizarlos en sistemas automáticos de adquisición de datos. Todos los días surgen novedades; algunas de ellas mejoran el rendimiento de los sensores existentes, en tanto que otras se basan muchas veces en nuevos principios físicos. Según sus características de salida, los sensores pueden dividirse en analógicos, digitales e "inteligentes".

*Sensores analógicos:* sensores cuya salida es comúnmente en forma de tensión, corriente, carga, resistencia o capacitancia. El acondicionamiento de la señal convierte esas señales básicas en señales de tensión.

*Sensores digitales:* sensores con salidas de señal digital, con la información contenida en el estado estático de un bit o grupo de bits, y con sensores con salida por pulsos o frecuencia.

*Sensores/transductores "inteligentes":* sensores que incluyen un microprocesador que realiza funciones básicas de adquisición y procesamiento de datos, y proporciona una salida digital serie o paralelo.

Por lo que respecta a los sensores meteorológicos, la parte I de la presente Guía proporciona una descripción completa de los aspectos generales, los tipos de sensores, los métodos de medición, las unidades, las escalas, la exposición, las fuentes de error, la calibración y el mantenimiento. La CIMO ayuda a los Miembros mediante la organización regular de intercomparaciones internacionales de instrumentos. Los resultados pueden ser muy valiosos para evaluar diferentes métodos de medición. Desde 1968, la CIMO utiliza cuestionarios para obtener información sobre el desarrollo de instrumentos, y cada cuatro años se publica un informe titulado *Instrument Development Inquiry* (Encuesta sobre el desarrollo de instrumentos). Los informes contienen información tanto sobre los instrumentos que se desarrollan como sobre los que se ponen en funcionamiento. La información sobre esa nueva evolución y la experiencia práctica se encuentra en los documentos oficiales de simposios nacionales, en revistas y boletines, y también en los documentos de las conferencias organizadas periódicamente por la CIMO. En esas conferencias técnicas se organiza además una exposición de instrumentos meteorológicos en la que los fabricantes presentan sus últimas novedades. La OMM da a conocer los resultados de las comparaciones de la CIMO, los informes relativos a la Encuesta sobre el desarrollo de instrumentos, así como los documentos de las conferencias técnicas de la CIMO, en su serie de informes sobre instrumentos y métodos de observación. También se recomienda como medio de obtener información el intercambio directo de experiencias entre operadores de redes de EMA, en particular los que operan estaciones en condiciones ambientales similares.

En los próximos párrafos figuran algunas consideraciones específicas sobre sensores de EMA. Las incertidumbres en la observación que pueden alcanzarse se exponen en el capítulo 1 de la parte I (anexo 1.E)<sup>11</sup> de la Guía. A medida que se vaya disponiendo de resultados experimentales, la CIMO irá actualizando esas estimaciones en la forma apropiada. La incertidumbre en la

<sup>11</sup> Establecidas en la Reunión de expertos sobre necesidades operativas en materia de precisión celebrada en 1991 y aprobadas por el Consejo Ejecutivo en su 44ª reunión (1992), para incluirlas en la presente Guía.

calibración de los sensores (laboratorio) debería ser mejor en un factor de dos, por lo menos, respecto del requisito estipulado, permitiendo así la transformación en funciones de respuesta lineal. La resolución del sensor debería ser mejor en un factor de tres, aproximadamente, respecto del requisito estipulado (que comprende el rendimiento de la interfaz).

*Presión atmosférica:* existe una amplia variedad de dispositivos, basados sobre todo en el uso de una cápsula aneroide, un hilo vibratorio o un cristal de cuarzo, que proporcionan una señal de salida en forma eléctrica, ya sea analógica o digital. Para los sensores digitales se hace referencia a OMM (1992b). Los principales problemas que debe estudiar cuidadosamente quien proyecte o especifique una EMA son los efectos adversos de la temperatura, las desviaciones a largo plazo, las vibraciones y la exposición del instrumento. Los efectos de la temperatura son grandes y no siempre se eliminan totalmente mediante circuitos incorporados para la compensación de la temperatura. Los sensores de presión de una EMA tienen una desviación intrínseca a largo plazo en cuanto a incertidumbre, normalmente de menos de 0,2 a 0,3 hPa cada 6 meses, por lo que hay que calibrarlos regularmente. Los efectos de las vibraciones y de las sacudidas mecánicas sobre la salida de los sensores de presión son importantes, particularmente cuando se trata de aplicaciones marítimas de las EMA. Debido a la vulnerabilidad de los sensores de presión más difundidos a los efectos de la exposición externa, normalmente se alberga el instrumento de presión en una pequeña caja sellada y termoestabilizada dentro del recinto del equipo de la unidad central de procesamiento. En algunos países, el sensor se ventila hacia el exterior de la caja a través de un tubo provisto de una cabeza de presión estática. Para aplicaciones aeronáuticas o en estaciones remotas, en las que se requiere un elevado grado de exactitud y fiabilidad, se dota a la estación de dos o más sensores de presión.

En el capítulo 3 de la parte I se proporcionan directrices sobre la utilización de barómetros digitales en las EMA.

*Temperatura:* los tipos más comunes de termómetros que se utilizan en una EMA son los termómetros de resistencia metálica o termistores. El termómetro de resistencia de platino (100  $\Omega$  a 0 °C) presenta muy buena estabilidad a largo plazo, y puede considerarse el tipo de sensor preferido.

Normalmente, los termómetros eléctricos tienen una constante de tiempo muy pequeña, y cuando son muestreados mediante circuitos electrónicos rápidos los datos resultantes reflejan las fluctuaciones de alta frecuencia y baja amplitud de la temperatura local. Para evitar ese problema se pueden utilizar sensores con una constante de tiempo más elevada, o amortiguar artificialmente la respuesta con un circuito apropiado para aumentar la constante de tiempo de la señal de salida, o bien se pueden promediar digitalmente las salidas muestreadas en la unidad central de procesamiento. Los termómetros de resistencia requieren linealización. Esto puede llevarse a cabo mediante circuitos apropiados en los módulos de acondicionamiento de la señal, pero también mediante algoritmos de programación. Se recomienda encarecidamente linealizar las características del termistor. Es importante garantizar una protección adecuada del sensor a los efectos de la radiación. En las EMA, los blindajes contra la radiación ajustados al tamaño del sensor se utilizan mucho, en sustitución de la garita Stevenson común, de ventilación natural. Sin embargo, para realizar mediciones precisas, los blindajes contra la radiación deberían ventilarse artificialmente, con una velocidad del aire de unos 3 m s<sup>-1</sup>, pero habría que tomar precauciones para impedir la entrada de aerosoles y llovizna a fin de evitar el efecto de bulbo húmedo.

*Humedad:* en OMM (1989a) figura una descripción muy completa de los sensores de humedad para EMA.

Si bien en las EMA se utilizan generalmente sensores de resistencia y capacidad relativamente económicos para efectuar mediciones directas de humedad relativa, el rendimiento de los mismos puede disminuir en presencia de contaminantes, por lo que requieren filtros de protección especiales. Las intercomparaciones revelan que es preciso realizar correcciones adicionales para mediciones por debajo de 0 °C, incluso si los sensores están provistos de circuitos de compensación de temperatura, y que pueden producirse problemas de histéresis cuando están expuestos a condiciones de saturación.



En las EMA se utilizan también como medidores de punto de rocío sensores de cloruro de litio saturado y sensores de espejo enfriado. El principal inconveniente del sensor de cloruro de litio es su sensibilidad a los fallos de energía, ya que requiere intervenciones sobre el terreno tras un corte de energía. El medidor óptico de punto de rocío se considera la técnica más prometedora, pero habrá que continuar investigando para desarrollar un buen dispositivo de limpieza automática del espejo.

Los problemas relacionados con la pequeña constante de tiempo de muchos sensores de humedad son incluso más graves que los que plantean los sensores de temperatura. Al igual que para las mediciones de temperatura, todos los tipos de sensores han de instalarse en blindajes adecuados contra las radiaciones. Debería darse preferencia a los blindajes contra las radiaciones aspirados o bien ventilados. Los blindajes pueden ser de una construcción similar a los utilizados para las mediciones de la temperatura. Pueden producirse grandes errores relacionados con problemas de aspiración y de limpieza.

*Viento:* la utilización de anemómetros tradicionales de cazoletas o de hélice con salida por pulsos o frecuencia está muy generalizada, y no presentan problemas técnicos particulares aparte de los relacionados con la congelación en condiciones meteorológicas rigurosas. Esa complicación puede superarse calentando el sensor en condiciones atmosféricas no muy rigurosas, pero a expensas de un considerable aumento del consumo de energía. Se recomienda que en los nuevos anemómetros de cazoletas o de hélice la constante de la distancia sea menor de 5 m, y que en los nuevos sistemas digitales la frecuencia de muestreo sea compatible con el filtrado aplicado. En los dispositivos de cómputo esto supone que el número de pulsos en un intervalo de cómputo se considera como una muestra.

La utilización de instrumentos analógicos tradicionales provistos de un potenciómetro para medir la dirección del viento está también muy generalizada en las EMA. Cada vez se utilizan más sistemas a base de veletas con codificadores angulares digitales, en una u otra forma de código Gray. Se recomienda utilizar veletas con una longitud de onda natural no amortiguada menor de 10 m y con un coeficiente de amortiguamiento comprendido entre 0,3 y 0,7. Para veletas con codificadores digitales se requiere una resolución mínima de 7 bits.

La CIMO recomienda asimismo que en los nuevos sistemas debería ser posible informar de variaciones típicas de la velocidad y de la dirección del viento con una resolución de 0,1 m s<sup>-1</sup> y 10°, respectivamente.

Un sistema de viento con una salida digital serie y uno o más visualizadores digitales que proporcionen una presentación directa de las variables operativas (viento máximo, promedios del viento para períodos superiores a 2 y 10 minutos, dirección y ráfagas de viento) es un ejemplo típico de sensor inteligente.

*Precipitación:* el equipo más común para medir la lluvia en una EMA es el pluviómetro de cubeta basculante o de balancín. Los pluviómetros se ensucian rápidamente con desperdicios como hojas, arena o excrementos de pájaros, por lo que hay que usarlos con mucha más cautela en las EMA desatendidas por largos períodos de tiempo. Para las mediciones de lluvia y nieve por debajo de 0 °C, se requiere un calentamiento adecuado en diferentes partes del pluviómetro, lo que puede dar lugar a graves problemas de energía eléctrica, en particular en el caso de las EMA que funcionan con baterías. Habría que tener cuidado, pues los pluviómetros calentados introducen errores debido a las pérdidas por evaporación. Se considera excelente una incertidumbre en la observación del 5 al 10%. Puede conseguirse un mejor porcentaje rodeando el pluviómetro con un paraviento adecuado (por ejemplo, protección de Nipher). (Para una comparación de sensores de precipitación, véase OMM, 1994).

*Insolación:* se dispone de varios registradores de duración de la insolación con salida de la señal eléctrica. Se hace referencia a OMM (1989b). La OMM ha adoptado un valor umbral para la duración efectiva de la insolación de 120 W m<sup>-2</sup> de irradiancia solar directa, que permite resolver un antiguo problema. El inconveniente del sensor de insolación en una estación no atendida durante largos períodos es que la suciedad se acumula en el orificio de entrada, lo que produce cambios aparentes en el umbral.

*Radiación:* la mayoría de los sensores utilizados para estas mediciones en estaciones tradicionales pueden conectarse, en principio, a un sistema automático. El principal problema técnico es que esos sensores son generalmente de tipo analógico y dan como señal de salida tensiones muy pequeñas que varían continuamente. Esas tensiones son muy sensibles a las interferencias electromagnéticas en los cables conductores de la señal, por lo que deben efectuarse mediciones adecuadas. El problema de la suciedad por contaminación en el orificio de entrada es aún más serio en el caso de mediciones de la radiación (que son mediciones absolutas), que en el caso de la duración efectiva de la insolación. Se considera que los depósitos de polvo en la caperuza del piranómetro producen una pérdida de incertidumbre del 2% (excluidos los días de helada y rocío). Por lo tanto, es difícil prever la utilización eficaz de instrumentos de radiación en lugares no atendidos durante varios días. Una incertidumbre de observación alcanzable (media diaria) es del orden del 5%.

*Altura de las nubes:* actualmente, la medición de la altura de las nubes en una EMA se realiza, sobre todo, con la ayuda de nefobasímetros (láser). Para una evaluación de los sistemas reales se hace referencia a OMM (1988). Todavía se experimentan dificultades en el procesamiento automático de las señales procedentes de los sensores para realizar mediciones precisas de la altura de la base de las nubes en la amplia gama de condiciones que se dan en la naturaleza, en particular lluvia y nieve. Los sensores tienen también el inconveniente de que muestrean la nube solo en una zona muy pequeña del cielo, directamente por encima del detector. Cuando se envía a un usuario remoto dicha información, esta puede ofrecer una imagen peligrosamente incorrecta del estado del cielo, sobre todo si los datos se van a emplear con fines aeronáuticos. Esto puede evitarse utilizando algoritmos para estimar la nubosidad durante un intervalo de procesamiento de 30 minutos. Sin embargo, en algunos países el nefobasímetro se utiliza únicamente como ayuda complementaria del que observa el cielo. Los nefobasímetros consumen importantes cantidades de energía y, en general, no pueden utilizarse si no se dispone de un suministro de energía clásico. Además, su rendimiento puede disminuir o distorsionarse por acumulación de nieve, polvo u otros contaminantes en las ventanas que constituyen los orificios de entrada y salida del haz de rayos ópticos o infrarrojos.

*Visibilidad:* se puede disponer fácilmente de una amplia gama de instrumentos para efectuar mediciones de visibilidad en las EMA. Consúltese OMM (1990).

Puede establecerse una distinción entre transmisómetros y medidores de visibilidad. Los transmisómetros de gran exactitud se utilizan sobre todo en los aeropuertos, en tanto que los medidores de visibilidad por dispersión frontal, por retrodispersión o integrados de menor exactitud (y menos costosos) son más comunes en otras EMA. Ambos tipos existen en versiones que pueden alimentarse con baterías, por lo que es posible utilizarlos en lugares remotos donde no hay suministro de corriente eléctrica o corriente alterna de red. Sin embargo, consumen una cantidad considerable de energía y, a menos que cuenten con una fuente de energía auxiliar, normalmente no es posible mantenerlos en funcionamiento más de unas cuantas semanas sin cambiar las baterías.

## 1.2.2 Unidad central de procesamiento

El elemento más importante de una EMA es su unidad central de procesamiento. Su configuración depende de la complejidad y la magnitud de las funciones que ha de realizar, y de si existe una solución única con respecto al equipo. En general, las principales funciones de la unidad central de procesamiento son: adquisición, procesamiento, almacenamiento y transmisión de datos.

En la mayoría de las EMA existentes todas estas funciones se realizan mediante un sistema basado en un microprocesador, instalado en un recinto hermético lo más cerca posible de los sensores o en algún local interno. Si el equipo se encuentra cerca de los sensores, el procesamiento *in situ* reduce la cantidad de datos que han de transmitirse y permite presentar esos datos en una forma apropiada para transmitirlos directamente por los canales de comunicación. Pero, en esos casos, la unidad central de procesamiento es vulnerable a fallos en el suministro de energía y hay que protegerla del medio exterior en que ha de funcionar. Si la unidad puede instalarse en

un local interno, normalmente puede conectarse a una fuente de energía segura y funcionar en un ambiente normal de oficina. Sin embargo, esa configuración da lugar a un mayor número de cables largos y a la necesidad de incluir acondicionadores de señal apropiados.

Según las circunstancias y los requisitos locales, las distintas funciones de la unidad central de procesamiento también pueden ser realizadas por unidades diferentes. En esos casos, cada unidad dispone de su propio microprocesador y programa pertinente, puede instalarse en distintos lugares de la estación, y comunicar entre sí mediante enlaces y procedimientos adecuados de transferencia de datos entre procesadores. Funcionan en una relación de dependencia, en la que la unidad principal es la de procesamiento de datos. Como ejemplo cabe citar la instalación de una o más unidades de adquisición de datos cerca de los sensores, conectados con el equipo de procesamiento o transmisión de los datos de la unidad central de procesamiento, mediante una o varias líneas telefónicas que utilizan la transmisión digital de datos. Esas unidades pueden consistir en un sensor (por ejemplo, un sensor inteligente, como un nefobasímetro láser), varios sensores similares (por ejemplo, termómetros) o varios sensores diferentes.

La rápida evolución tecnológica de los sistemas de adquisición y control del procesamiento de datos industriales modernos ofrece nuevas posibilidades para las aplicaciones meteorológicas. El elevado grado de modularidad y flexibilidad de entrada/salida, la velocidad de funcionamiento mucho mayor de los microprocesadores y, en particular, la existencia de programas especiales de adquisición y control del procesamiento de datos y telecomunicaciones, permiten desarrollar EMA que pueden responder a las diversas necesidades y requisitos de observación de diferentes usuarios. Como consecuencia, toda descripción de una EMA puede quedar pronto anticuada y ha de considerarse con la debida reserva. Teniendo esto presente, en los siguientes párrafos se da una idea general del estado de la tecnología.

#### 1.2.2.1 **Adquisición de datos**

En general, el equipo para la adquisición de datos consta de:

- a) una unidad de acondicionamiento de la señal para impedir que fuentes de interferencia externas no deseadas influyan en las señales no tratadas del sensor, para proteger los dispositivos electrónicos de la unidad central de procesamiento, y para adaptar las señales a fin de que sean apropiadas para el nuevo procesamiento de datos;
- b) dispositivos electrónicos de adquisición de datos con canales y puertos de entrada analógicos y digitales, y equipo de exploración y conversión de datos para introducir las señales en la memoria de la unidad central de procesamiento.

##### *Acondicionamiento de la señal*

El acondicionamiento de la señal es una función esencial en el proceso de adquisición de datos, y comienza con la adecuada elección de los cables y conectores que vinculan los sensores con los dispositivos electrónicos de adquisición de datos. Además se realiza mediante diferentes módulos de soporte físico. Varias funciones de acondicionamiento procedentes del control industrial están ahora integradas en un módulo desmontable. El lugar más adecuado y, por lo tanto, más común para la instalación de estos módulos es en los paneles de terminación de los cables de los sensores en el mismo recinto hermético donde se encuentran los dispositivos electrónicos de adquisición de datos. Según las características del sensor y las condiciones locales, se dispone de varias técnicas de acondicionamiento de la señal.

*Cables del sensor:* las señales eléctricas procedentes de los sensores conectados a un sistema de adquisición de datos podrían contener ruido no deseado. La posibilidad de que este ruido sea problemático depende de la relación señal-ruido y de la aplicación concreta. Las señales digitales son relativamente inmunes a los ruidos debido a su carácter discreto (y elevado nivel). En cambio, en las señales analógicas influyen directamente las perturbaciones de nivel relativamente bajo. Entre los principales mecanismos de transferencia de ruido figura el acoplamiento capacitivo e inductivo. Un método para reducir errores debido al acoplamiento

capacitivo consiste en emplear cables blindados, para lo que se coloca un material conductor (a potencial de tierra) entre los cables de la señal y la fuente de interferencia. La utilización adicional de hilos de pares trenzados es eficaz para reducir el acoplamiento electromagnético.

*Protección contra la sobretensión:* cuando una EMA puede estar expuesta a sobretensiones accidentales, es indispensable la instalación de mecanismos de protección para evitar la posible destrucción del equipo. Las entradas de alta tensión pueden ser inducidas por campos magnéticos, electricidad estática y, especialmente, por descargas eléctricas.

*Transmisión a dos hilos:* a veces conviene preamplificar las señales de bajo nivel cerca del sensor para mantener la máxima relación señal-ruido. Una forma de llevar a cabo este tipo de acondicionamiento de la señal consiste en utilizar la transmisión a dos hilos. Estos transmisores no solo amplifican la señal de entrada, sino que proporcionan aislamiento y permiten la conversión a un nivel de corriente más elevado (normalmente de 4 a 20 mA). La transmisión en corriente permite enviar las señales a unos 1 500 m de distancia.

*Aislamiento digital:* se utilizan módulos eléctricos para recibir señales de entrada digital interrumpiendo al mismo tiempo la conexión galvánica entre la fuente de la señal y el equipo de medida. Los módulos no solo aíslan, sino que también convierten las entradas en niveles estándar de voltaje que pueden leerse por el equipo de adquisición de datos.

*Aislamiento analógico:* se utilizan módulos de aislamiento analógico para proteger al equipo del contacto con altas tensiones, la ruptura de bucles de tierra y la supresión de grandes señales en modo común. Hoy día se utilizan mucho tres tipos de aislamientos analógicos: el acoplamiento capacitivo o “condensador volante” poco costoso, el acoplamiento óptico de buen rendimiento y moderado costo, y el acoplamiento por transformador de elevado aislamiento y gran exactitud pero muy costoso.

*Filtrado de paso bajo:* para separar las señales deseadas de las no deseadas se utilizan filtros. Las señales no deseadas son: ruido, captación de frecuencia de línea de corriente alterna, interferencias de estaciones de radio o televisión, y señales de frecuencia por encima de la mitad de la frecuencia de muestreo. En general, se utiliza un filtro de paso bajo para controlar esas fuentes de error no deseadas, excluyendo la parte del espectro de frecuencias donde no existen señales deseadas.

*Amplificadores:* las señales de sensores analógicos pueden variar en amplitud en un amplio intervalo. Sin embargo, el convertidor analógico-digital (A/D) requiere una señal de alto nivel para optimizar su rendimiento. En muchos casos se emplea un módulo amplificador para dar a las posibles señales de bajo nivel la amplitud deseada. También se utilizan módulos amplificadores para normalizar la salida de tensión de todos los sensores a una tensión común; por ejemplo, de 0 a 5 V corriente continua.

*Resistencias:* se utilizan módulos especiales para convertir resistencias, tales como termómetros de platino, en una señal de salida de tensión lineal, y proporcionar las corrientes de excitación necesarias para esta conversión. Debería señalarse que la conversión a una señal lineal puede introducir imprecisiones, y estas pueden resultar críticas en algunas aplicaciones.

#### *Función de adquisición de datos*

La función de adquisición de datos consiste en explorar la salida de los sensores o de los módulos de acondicionamiento de los sensores a una velocidad predeterminada, y convertir las señales en un formato legible por computadora.

Para adaptar los diferentes tipos de sensores meteorológicos, el equipo que realiza esta función está dotado de diversos tipos de canales de entrada/salida, que abarcan las posibles características de salida eléctrica de los sensores o de los módulos acondicionadores de señal. El número total de canales de cada tipo depende de las características de salida de los sensores y está determinado por el tipo de aplicación.

*Entradas analógicas:* el número de canales analógicos está normalmente comprendido entre 4 y 32. En general, una configuración básica puede ampliarse con módulos adicionales que incorporen más canales de entrada. Los canales de entrada analógicos son particularmente importantes, pues la mayoría de los sensores meteorológicos utilizados normalmente para medir temperatura, presión y humedad, proporcionan una señal de tensión en forma directa, o lo hacen indirectamente a través de módulos de acondicionamiento del sensor.

Las tareas de adquisición de datos son la exploración de los canales y su conversión de analógico a digital. Un analizador de barrido es sencillamente un conmutador que permite que un convertidor A/D dé servicio a muchos canales de entrada analógicos. Mediante programas informáticos se pueden controlar esos conmutadores para seleccionar cualquier canal para el procesamiento en un momento dado. El convertidor A/D transforma la información analógica original en datos legibles por computadora (código digital, binario). La resolución A/D se especifica en bits. Una resolución A/D de 12 bits corresponde aproximadamente a un 0,025% de toda la gama o escala A/D; una de 14 bits, a un 0,006%; y una de 16 bits a un 0,001 5%.

*Entrada/salida digital paralelo:* el número total de canales individuales está generalmente agrupado en bloques de 8 o 16 bits, con posibilidades de expansión. Se utilizan con bits individuales como detectores de estado, o como entrada de sensores con salida digital paralelo (por ejemplo, veletas con salidas codificadas en código Gray).

*Pulsos y frecuencias:* el número de canales está limitado en general a 2 o 4. Los sensores típicos son sensores de velocidad del viento y pluviómetros (de cubeta basculante). Se utilizan contadores de baja y alta velocidad que acumulan los pulsos en memorias de la unidad central de procesamiento. El sistema que registra pulsos o el estado cerrado-abierto de un transductor se conoce con el nombre de registrador de acontecimientos.

*Puertos digitales serie:* se trata de canales individuales de entrada/salida serie asíncronos para comunicación de datos con sensores inteligentes. Los puertos proporcionan comunicaciones convencionales entre dispositivos a distancias cortas (RS232, varios metros) y largas (RS422/485, varios kilómetros). En la misma línea y en el mismo puerto de entrada puede haber distintos sensores o sistemas de medición, y cada uno de ellos es direccionado secuencialmente mediante palabras codificadas.

### 1.2.2.2 **Procesamiento de datos**

El equipo de procesamiento de datos constituye el núcleo principal de la unidad central de procesamiento, y sus principales funciones son actuar como el control maestro de la entrada y salida de los datos hacia, o desde, una unidad central de procesamiento así como el procesamiento adecuado de todos los datos de entrada mediante el programa informático pertinente.

El equipo funciona mediante un microprocesador. Los microprocesadores no cambian los principios de las mediciones meteorológicas ni de las prácticas de observación, pero permiten a quien concibe el instrumento realizar funciones técnicas en una nueva forma para efectuar las mediciones más fácil y rápidamente, y con mayor seguridad, y dotar al instrumento de más capacidades, sobre todo para el tratamiento de datos. La adopción de microprocesadores reduce notablemente el costo del equipo para algunas aplicaciones. Procede señalar, no obstante, que las expectativas más amplias a las que puede responder este dispositivo conducirán muchas veces a un rápido aumento del costo, y considerablemente subestimado, del desarrollo de los programas.

Los sistemas automatizados de observación meteorológica existentes están provistos generalmente de microprocesadores de 8 bits y memoria limitada (32 a 64 kbytes). Los sistemas nuevos que utilizan microprocesadores de 16 o 32 bits, dotados de una considerable cantidad de memoria de semiconductores (hasta 1 Mbyte) se están convirtiendo en la norma. Estos sistemas automatizados de observación meteorológica ofrecen más posibilidades de entrada/salida con velocidades de procesamiento mucho más altas y son capaces de llevar a cabo cálculos complejos. Junto con los nuevos equipos también se aplican programas informáticos

sofisticados que hace unos años solo existían para sistemas de minicomputadoras. La unidad puede estar provista de diferentes tipos de memoria, como memorias de acceso aleatorio (RAM) para almacenamiento de datos y programas, memorias programables solo de lectura (PROM) no volátiles para almacenamiento de programas (los programas se introducen mediante un programador PROM), y PROM borrables eléctricamente (EEPROM) no volátiles, utilizadas sobre todo para el almacenamiento de constantes que pueden modificarse directamente por medio del programa. En la mayoría de las estaciones, la memoria RAM está equipada con una batería de seguridad que evita la pérdida de datos durante los cortes de energía eléctrica. Para las estaciones que no funcionan en tiempo real y no disponen de medios de transmisión de datos, estos pueden almacenarse en memorias externas. Los dispositivos mecánicos con cintas utilizados con tal fin durante muchos años se están sustituyendo por tarjetas de memoria (RAM con batería de seguridad, EEPROM, etc.), de una fiabilidad mucho mayor.

### 1.2.2.3 **Transmisión de datos**

La parte de transmisión de datos de la unidad central de procesamiento constituye el vínculo con el “mundo exterior”, que puede ser el observador local o el personal de mantenimiento, el sistema central de procesamiento en red del Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional, o incluso directamente usuarios de información meteorológica. El equipo está conectado a la unidad central de procesamiento por medio de puertos de entrada/salida serie o paralelo, de los que se dispone normalmente. Los medios más apropiados para la transmisión de datos dependen sobre todo del emplazamiento de que se trate y del equipo de transmisión de que se disponga. Ninguna solución única puede considerarse universalmente superior, y a veces la cadena de transmisión requiere el uso de varios medios (véase la sección 1.3.2.10).

### 1.2.3 **Equipo periférico**

*Suministro de energía:* el diseño y la capacidad de una EMA dependen fundamentalmente del método utilizado para la alimentación eléctrica. Las características más importantes del suministro de energía a una EMA son la elevada estabilidad y el funcionamiento sin interferencia. Por razones de seguridad, y debido al uso generalizado y a la facilidad de disponer de acumuladores de 12 V en los automóviles, conviene considerar la posibilidad de emplear alimentación eléctrica de 12 V corriente continua. Cuando se dispone de red de energía eléctrica, los acumuladores pueden ser cargados en régimen lento y continuo con la energía de la propia red. Este sistema tiene la ventaja de proveer automáticamente la energía de emergencia en caso de avería en la red general. Las EMA instaladas en lugares remotos donde no se dispone de red de energía eléctrica deben alimentarse con baterías que pueden o no ser recargadas por medio de una fuente de energía auxiliar, por ejemplo un grupo electrógeno diésel, un generador eólico o hidráulico, o paneles solares. Sin embargo, esos sistemas de baja capacidad de almacenamiento de energía no pueden, en general, dar servicio a los sensores más complicados necesarios para medir la altura de las nubes y la visibilidad, pues consumen grandes cantidades de energía. Además, las EMA provistas de equipo auxiliar como calentadores (anemómetros, pluviómetros) y aspiradores también pueden consumir mucha energía, por lo que la instalación de una EMA queda limitada a lugares donde se dispone de energía de red. Si, debido a la necesidad de un sistema versátil y completo, solo la red puede suministrar suficiente energía para el pleno funcionamiento, deberían tomarse medidas para apoyar, al menos con un suministro de reserva, el reloj del sistema, el procesador y cualquier memoria volátil que pueda contener datos recientes necesarios para poner de nuevo en marcha automáticamente la estación.

*Reloj en tiempo real:* una parte esencial del procesamiento de datos es el reloj en tiempo real durante las 24 horas del día, alimentado por una batería, que garantiza el mantenimiento de la hora durante los cortes de energía. Asegurar la precisión de los relojes de las EMA requiere una atención especial para garantizar las lecturas, los intervalos de muestreo y los registros de horas correctos. En algunas EMA se utilizan dispositivos para sincronizar el reloj con señales horarias de referencia difundidas por radio o por el Sistema de posicionamiento global (GPS).

*Equipo de prueba incorporado:* las partes fundamentales de una EMA comprenden a menudo componentes cuyo mal funcionamiento o avería degradaría considerablemente la salida

principal o la privaría de toda utilidad. La inclusión de circuitos para verificar automáticamente la condición de estos componentes representa un medio eficaz de controlar continuamente su rendimiento durante el funcionamiento. Se pueden citar a título de ejemplo: el detector de fallos en el suministro de energía, el cual reactiva el procesador y mantiene el funcionamiento de la estación después de un fallo de energía; un temporizador de control (“watchdog”) para verificar el debido funcionamiento de los microprocesadores; y circuitos de prueba para controlar el funcionamiento de los subsistemas de la estación, como voltaje de la batería y funcionamiento del cargador, aspiradores (pantallas de temperatura y humedad); convertidores A/D; calefactores, etc. La información sobre el estado puede mostrarse automáticamente *in situ* o pasarse a la unidad central de procesamiento con fines de control de la calidad y el mantenimiento.

*Visualizador local y terminales:* para cumplir los requisitos operativos a menudo hay que introducir observaciones o editarlas manualmente, por ejemplo en las estaciones meteorológicas semiautomáticas. Para ello, según los requisitos y la concepción de la estación, se utilizan diferentes tipos de terminales locales, entre ellos un sencillo visualizador numérico LED con teclado, que forma parte de la unidad central de procesamiento; una pantalla con teclado, o incluso una pequeña computadora personal instalada a cierta distancia y a cubierto. Con fines de mantenimiento se emplean a veces terminales manuales especiales que pueden conectarse directamente en la estación. Para aplicaciones particulares como las EMA en aeropuertos o las estaciones simples de ayuda al observador, se conectan monitores digitales para visualizar los datos en uno o más lugares del emplazamiento. Previa petición, puede agregarse a la estación una impresora o registradores gráficos.

### 1.3 PROGRAMAS INFORMÁTICOS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS

Un principio rector al concebir o especificar una estación meteorológica automática es que el costo de desarrollo y prueba de los programas sea uno de los principales elementos financieros del conjunto. A menos que se tenga sumo cuidado en la concepción preliminar y se ejerza gran disciplina durante la codificación, los programas complejos resultan pronto inflexibles y su mantenimiento, muy difícil. Ligeros cambios en los requisitos, como los que puede imponer frecuentemente la necesidad de un nuevo sensor, o modificaciones en los códigos, o la introducción de cambios en los criterios de control de la calidad, pueden dar lugar muchas veces a revisiones importantes, y sumamente costosas, de los programas.

En general, puede establecerse una distinción entre programas de aplicaciones que consisten en algoritmos para procesar debidamente los datos con arreglo a las especificaciones de los usuarios, y programas de sistemas intrínsecamente relacionados con la configuración del microprocesador y que comprende todos los programas para desarrollar y ejecutar programas de aplicaciones.

En la sección 1.1.3 anterior se ofrecen recomendaciones sobre el desarrollo de algoritmos para las EMA. En OMM (1987) se aborda la concepción de algoritmos para EMA sinópticas, y en OMM (1991) para el procesamiento de datos sobre el viento en superficie. En OMM (2003) puede encontrarse información sobre los algoritmos utilizados por los Miembros. Para información más detallada sobre muestreo, reducción de datos y gestión de la calidad, deberían consultarse los capítulos que se ocupan de estos temas de la parte IV.

#### 1.3.1 Programas informáticos de los sistemas

Los programas de muchas de las EMA existentes son desarrollados por el fabricante, de conformidad con las necesidades del usuario, y se almacenan en la memoria de la unidad central de procesamiento (denominada *firmware* o programación fija) en un formato no legible por el usuario, con lo que la unidad central de procesamiento se convierte en una especie de caja negra. El usuario solo puede ejecutar instrucciones determinadas con anterioridad y, por lo tanto, depende totalmente del fabricante en caso de mal funcionamiento o de modificaciones.

Afortunadamente, con la creciente demanda de sistemas de adquisición de datos para el control de procesos industriales se han abierto nuevas posibilidades. Los usuarios pueden desarrollar ahora sus propios programas para aplicaciones (o encargárselos a una compañía de programación, o incluso al fabricante de la estación), utilizando lenguajes de programación como Basic, Pascal o, en particular, C, y empleando conjuntos de utilidades fácilmente disponibles para adquisición, estadísticas, almacenamiento y transmisión de datos. Como consecuencia, el usuario adquiere mayor conocimiento y tiene más control sobre los diferentes procesos, por lo que depende menos del fabricante de la estación.

En sistemas recientes, cada vez se recurre más a sistemas operativos multitarea/multiusuario probados en tiempo real, de los que en el pasado solo se disponía para minicomputadoras. Se habla de *tiempo real* porque todas las operaciones son activadas mediante interrupciones de los equipos y programas informáticos; *multitarea* porque pueden ejecutarse diversas clases de tareas casi simultáneamente de acuerdo con una prioridad determinada de antemano, y *multiusuario* porque diferentes usuarios pueden acceder al sistema casi simultáneamente. Los programadores pueden centrar toda su atención en el desarrollo de programas de aplicaciones en el lenguaje que elijan, dejando el difícilísimo y complejo control y la ejecución de las tareas al sistema operativo.

### 1.3.2 **Programas informáticos para aplicaciones**

Las funciones de procesamiento que han de realizarse mediante la unidad central de procesamiento, las interfaces del sensor, o una combinación de ambos, dependen hasta cierto punto del tipo de EMA y de su finalidad. Sin embargo, normalmente hay que efectuar algunas de las operaciones siguientes, si no todas: inicialización, muestreo de la salida del sensor, conversión de la salida del sensor en datos meteorológicos, linealización, promediado, entrada manual de observaciones, control de la calidad, reducción de datos, formateado y verificación de mensajes, y almacenamiento, transmisión y visualización de datos. El orden en que pueden disponerse estas funciones es solo aproximadamente secuencial. El control de la calidad puede efectuarse a distintos niveles: inmediatamente después del muestreo, con posterioridad a obtener variables meteorológicas, o tras la introducción manual de datos y el formateado del mensaje. Si no se verifica el control de la calidad de los datos y el contenido de los mensajes, es probable que los datos de la EMA contengan errores no detectados. Si bien la linealización puede ser inherente al módulo de acondicionamiento de la señal o al sensor, debería efectuarse siempre antes del cálculo de un valor medio.

La ejecución de programas para aplicaciones se rige por un programador de tiempo que controla cuándo deben ejecutarse tareas específicas. La descripción que se hace en los párrafos siguientes sobre los programas para aplicaciones de las EMA se limita a algunos aspectos prácticos relacionados con las estaciones meteorológicas automáticas.

#### 1.3.2.1 **Inicialización**

La inicialización es el proceso en el que se preparan todas las memorias, se determinan todos los parámetros operativos y se ponen en funcionamiento los programas para aplicaciones. Para poder iniciar el funcionamiento normal, lo primero que necesita el programa es conocer cierto número de parámetros relativos, entre otras cosas, a la estación (distintivo de la estación, altitud, latitud y longitud); fecha y hora; ubicación física del sensor en la sección de adquisición de datos; tipo y características de los módulos de acondicionamiento del sensor; constantes de conversión y de linealización para convertir la salida del sensor en valores meteorológicos; límites absolutos y de la velocidad de cambio con fines de control de la calidad; y publicación del fichero tras la puesta en memoria intermedia de datos. Según la estación, la totalidad o una parte de estos parámetros pueden introducirse localmente o ser modificados por el usuario por medio de menús interactivos en un terminal. En la última generación de EMA, la inicialización puede realizarse a distancia, por ejemplo, por el sistema central de procesamiento de la red o por una computadora personal remota. Además de la inicialización completa, debería programarse una



inicialización parcial. De esa manera se restablece automáticamente el funcionamiento normal, sin pérdida alguna de datos almacenados, tras una interrupción temporal causada por ajustes del reloj en tiempo real, el mantenimiento, la calibración o un corte de energía.

### 1.3.2.2 **Muestreo y filtrado**

El muestreo puede definirse como el proceso de obtención de una secuencia debidamente espaciada de mediciones de una variable. Para procesar digitalmente señales de sensores meteorológicos surge la cuestión sobre la frecuencia con que deberían muestrearse las salidas del sensor. Es importante asegurarse de que las secuencias de las muestras representan debidamente los cambios importantes en la variable atmosférica a medir. Una regla empírica generalmente aceptada es muestrear al menos una vez durante la constante de tiempo del sensor. Sin embargo, como algunas variables meteorológicas tienen componentes de alta frecuencia, primero debería procederse a un filtrado o suavizado adecuados seleccionando sensores con constante de tiempo apropiadas o mediante técnicas de filtrado y suavizado en los módulos de acondicionamiento de la señal (véase el capítulo 2 de la parte IV).

Habida cuenta de la necesidad de que los sensores sean intercambiables y los datos observados sean homogéneos, se recomienda<sup>12</sup>:

- a) que las muestras destinadas a calcular promedios se obtengan a intervalos de tiempo regulares que:
  - i) no excedan la constante de tiempo del sensor; o bien,
  - ii) no excedan la constante de tiempo de un filtro de paso bajo analógico que siga la señal de salida linealizada de un sensor de respuesta rápida; o bien,
  - iii) su número sea suficiente para asegurar que la incertidumbre del promedio de las muestras se reduce a un nivel aceptable, por ejemplo, menor que la exactitud que se requiera del promedio;
- b) que las muestras que se utilicen para estimar los valores extremos de las fluctuaciones se tomen a frecuencias al menos cuatro veces mayores que las especificadas en los subapartados i) o ii) anteriores.

### 1.3.2.3 **Conversión de datos sin procesar**

La conversión de datos sin procesar de un sensor consiste en la transformación de los valores eléctricos de salida de los sensores o de los módulos de acondicionamiento de señales en unidades meteorológicas. El proceso comprende la aplicación de algoritmos de conversión utilizando constantes y relaciones obtenidas durante los procedimientos de calibración.

Una consideración importante es que algunos sensores no son lineales por su propia naturaleza, es decir, que sus salidas no son directamente proporcionales a las variables atmosféricas medidas (por ejemplo, un termómetro de resistencia), que en algunas mediciones influyen variables externas en una relación no lineal (por ejemplo, en algunos sensores de presión y humedad influye la temperatura) y que, aunque el propio sensor puede ser lineal o incorporar circuitos de linealización, las variables medidas no están linealmente relacionadas con la variable atmosférica que interesa (por ejemplo, la salida de un nefobasímetro de haz rotatorio con fotodetector y codificador de ángulo del eje que proporcionan la intensidad de luz retrodispersada en función del ángulo no es lineal en relación con la altura de las nubes). Como consecuencia, es necesario incluir correcciones para la no linealidad en los algoritmos de conversión, siempre y cuando no se haya hecho ya por los módulos de acondicionamiento de la señal. La linealización reviste particular importancia cuando hay que calcular valores medios durante un período de tiempo.

<sup>12</sup> Recomendación 3 (CIMO-X), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su décima reunión (1989).

En efecto, cuando la señal del sensor no es constante a lo largo del período de promediado, la secuencia de las operaciones “promediar y luego linealizar” puede producir resultados diferentes de la secuencia de “linealizar y luego promediar”. El procedimiento correcto consiste en promediar únicamente variables lineales.

#### 1.3.2.4 **Valores meteorológicos instantáneos**

La variabilidad natural en pequeña escala de la atmósfera, la introducción de ruido en el proceso de medición por dispositivos electrónicos y, en particular, la utilización de sensores con constantes de tiempo pequeñas, hacen del promediado un proceso sumamente deseable para reducir la incertidumbre de los datos comunicados.

Con el fin de normalizar los algoritmos de promediado se recomienda<sup>13</sup>:

- a) que la presión atmosférica, la temperatura del aire, la humedad del aire, la temperatura de la superficie del mar y la visibilidad, entre otras, sean comunicadas como medias de 1 a 10 minutos, obtenidas después de la linealización de la salida del sensor;
- b) que el viento, exceptuando las ráfagas de viento, sea comunicado como media de 2 o de 10 minutos, obtenida después de la linealización de la salida del sensor.

Estos valores medios han de considerarse como valores “instantáneos” de variables meteorológicas para utilizarlos en la mayoría de las aplicaciones operativas, y no deberían confundirse con las muestras instantáneas sin procesar de los sensores ni con los valores medios de períodos de tiempo más largos requeridos para algunas aplicaciones. Como valores instantáneos adecuados se sugieren para la mayoría de las variables promedios de 1 minuto, siempre que sean aplicables. Se exceptúan las mediciones del viento (véase el apartado b) anterior) y de las olas (promedios de 10 o 20 minutos). Teniendo en cuenta la discrepancia de las observaciones entre los datos de ráfagas máximas obtenidos mediante sistemas de medición del viento con diferentes tiempos de respuesta, se recomienda que las características de filtrado de un sistema de medición del viento sean tales que los valores de ráfagas máximas comunicados representen un promedio correspondiente a un intervalo de tres segundos. Debería comunicarse el promedio más alto obtenido en un intervalo de tres segundos. En la práctica, esto supone el muestreo de la salida del sensor, y el cálculo de la media móvil de 3 segundos, al menos una a cuatro veces por segundo.

En el capítulo 2 de la parte IV se indican algunas magnitudes específicas que necesitan la conversión de datos así como el promediado antes de la conversión.

#### 1.3.2.5 **Introducción manual de observaciones**

Para algunas aplicaciones hay que desarrollar rutinas de terminal interactivas que permitan al observador introducir y editar observaciones visuales o subjetivas para las que no se dispone en la estación de sensores automáticos. Estas comprenden normalmente el tiempo presente y pasado, el estado del suelo, y otros fenómenos especiales.

#### 1.3.2.6 **Reducción de datos**

Además de los datos meteorológicos instantáneos, obtenidos directamente de los datos muestreados después de la conversión apropiada, hay que determinar otras variables meteorológicas operativas y calcular magnitudes estadísticas. La mayoría de ellas se basan en valores instantáneos almacenados, en tanto que otros datos se obtienen a una frecuencia de muestreo más alta, por ejemplo en el caso de cálculos de ráfagas de viento. Entre los ejemplos de reducción de datos cabe citar el cálculo de valores de temperatura del punto de rocío obtenidos

<sup>13</sup> Recomendación 6 (CIMO-IX), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su novena reunión (1985).

con mediciones originales de la humedad relativa y la temperatura del aire, y la reducción de la presión al nivel medio del mar. Los datos estadísticos comprenden datos extremos en uno o más períodos (por ejemplo, temperatura), cantidades totales (por ejemplo, lluvia) en períodos de tiempo concretos (de minutos a días), medias de diferentes períodos de tiempo (datos climatológicos), y valores integrados (radiación). Estas variables o magnitudes pueden calcularse también en una EMA o en un sistema central de procesamiento de la red, donde se dispone normalmente de más potencia de cálculo.

La CIMO participa en un amplio programa de estudio y normalización de algoritmos para todas las variables. Los resultados están recogidos en OMM (2003).

Existen recomendaciones formales para el cálculo de la tendencia de la presión<sup>14</sup> y de las cantidades de humedad<sup>15</sup> (capítulo 4 de la parte I (anexo 4.B)).

En 1952 la OMM estudió los métodos de reducción de la presión utilizados por los Miembros (OMM, 1954) y alcanzó la conclusión de que se practica la "fórmula internacional" (utilizando la fórmula de Laplace o las tablas de Angot) o algunos métodos "simplificados" (por ejemplo, para las estaciones "de bajo nivel"<sup>16</sup>, véase el capítulo 3 de la parte I). Como resultado de esta encuesta, se llevó a cabo un estudio de la normalización de los métodos de reducción y se recomendó una ecuación general de reducción de la presión como norma<sup>17</sup> (OMM, 1964). Sin embargo, este método recomendado, la "fórmula internacional" y los métodos basados en fórmulas simplificadas siguen siendo una práctica común (OMM, 1968).

#### 1.3.2.7 **Cifrado de mensajes**

En los requisitos funcionales se estipula frecuentemente el cifrado de mensajes meteorológicos conforme figura en OMM (2011b). Según el tipo de mensaje y los elementos que deban codificarse, los mensajes pueden generarse de forma automática o semiautomática. La generación de mensajes totalmente automática supone que todos los elementos que deben cifrarse sean datos mensurables, en tanto que en la generación semiautomática ha de intervenir un observador para introducir observaciones visuales u objetivas como tiempo presente y pasado, estado del suelo y tipo de nubes. Los algoritmos de cifrado de mensajes no deberían subestimarse, y requieren considerables esfuerzos no solo para prepararlos, sino también para actualizarlos cuando se modifican los formatos a causa de reglamentaciones internacionales, regionales y nacionales. También ocupan una considerable cantidad de memoria, lo cual puede ser muy importante en estaciones de pequeño rendimiento. Procede señalar que los datos de observación se pueden transmitir a un sistema central de procesamiento de la red, donde generalmente se dispone de más potencia de cálculo para cifrar los mensajes.

#### 1.3.2.8 **Control de la calidad**

La finalidad del control de la calidad en una EMA es minimizar automáticamente el número de observaciones imprecisas y el número de observaciones que se pierden, mediante equipo y rutinas de programas adecuados. Las finalidades se cumplen cuando se tiene la seguridad de que cada observación se calcula a partir de un número razonablemente grande de muestras de datos de calidad controlada. De esta forma, se pueden aislar y excluir las muestras con grandes errores espurios, y continuar realizando el cálculo, sin influencia alguna de esa muestra.

El control de la calidad garantiza la calidad y coherencia de los datos obtenidos, que se consigue mediante un conjunto de procedimientos minuciosamente diseñados que se centran en las

<sup>14</sup> Recomendación 7 (CIMO-IX), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su novena reunión (1985).

<sup>15</sup> Recomendación 7 (CIMO-X), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su décima reunión (1989).

<sup>16</sup> Recomendación 13 (CIMO-I), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su primera reunión (1953) y adoptada por el Consejo Ejecutivo en su cuarta reunión.

<sup>17</sup> Sobre la base de las recomendaciones del Comité de Trabajo II sobre "Reducción de la presión" en la primera reunión de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (OMM, 1954, parte 2).

prácticas de buen mantenimiento, reparación, calibración, y verificaciones de la calidad de los datos. Actualmente, no hay un conjunto acordado de procedimientos o normas para las diversas plataformas de EMA, por lo que debería desarrollarse y documentarse dicho conjunto de procedimientos.

En las EMA modernas, los resultados de los procedimientos de control de la calidad de los datos para sensores que revelen las razones de una medición dudosa o errónea, y los resultados de las autoverificaciones del equipo mediante dispositivos de prueba incorporados, se almacenan en memorias intermedias de gestión interna. Los visualizadores de esos indicadores de estado constituyen un instrumento muy práctico para el mantenimiento sobre el terreno. La transmisión de las memorias intermedias de gestión interna —bien como apéndice del mensaje de observación de rutina o como mensaje de control interno temporizado o a petición, desde una red de EMA hasta un sistema central de procesamiento de la red— es un posible y valioso procedimiento para mantener el equipo meteorológico.

Los procedimientos de control de la calidad en tiempo real de datos de EMA son sumamente aconsejables, y en el capítulo 1 de la parte IV se dan recomendaciones detalladas, y en OMM (1993) como procedimientos básicos de control de la calidad. A continuación figura una explicación práctica de las recomendaciones.

#### *Verificaciones en el sensor*

*Verificaciones en el sensor:* se trata de verificaciones en cada muestra del sensor en la fase más temprana posible del procesamiento, teniendo en cuenta las funciones de respuesta de acondicionamiento del sensor y de la señal, para un valor admisible y una velocidad de cambio admisible.

*Valor admisible:* con esta verificación se trata de comprobar que el valor medido se encuentra en los límites absolutos de variabilidad. Esos límites están relacionados con la naturaleza de la variable o del fenómeno meteorológico, pero dependen también del rango de medición de los sensores seleccionados y del equipo de adquisición de datos. Pueden efectuarse otras verificaciones de los límites, en función de la zona geográfica, de la estación y del momento del año. En OMM (1993), cuadros 6.3 a 6.9 del capítulo 6, se exponen los límites sugeridos de esas verificaciones adicionales. Las verificaciones dan una clasificación del estado de los valores como correctos, erróneos o sospechosos.

*Velocidad de cambio admisible:* se trata de verificar la velocidad de cambio admisible con respecto a un nivel anterior aceptable. La eficacia de la verificación depende de la coherencia temporal, o de la persistencia, de los datos, y lo mejor es aplicarla a datos de alta resolución temporal (elevada frecuencia de muestreo), pues la correlación entre muestras adyacentes aumenta con la frecuencia de muestreo. Una dificultad obvia es determinar realmente la rapidez con que puede cambiar una variable atmosférica, teniendo en cuenta las características de respuesta del sensor de que se trate. Pueden efectuarse verificaciones de coherencia temporal adicionales utilizando comparaciones de datos entre dos informes consecutivos. En OMM (1993) figuran tolerancias de verificación para diferentes períodos de tiempo en las escalas sinópticas (1, 2, 3, 6 y 12 horas) para la temperatura del aire, el punto de rocío y la tendencia de la presión.

#### *Verificaciones entre sensores*

Es posible efectuar verificaciones de coherencia interna de una variable con respecto a otras, sobre la base de principios físicos y meteorológicos establecidos. He aquí algunos ejemplos: la temperatura del punto de rocío no puede exceder de la temperatura ambiente; la precipitación sin nubes en lo alto o que acaben de pasar es muy improbable; la velocidad del viento no nula y la varianza de la dirección del viento nula indican claramente un problema del sensor de dirección del viento, mientras que una velocidad media del viento nula y una dirección del viento no nula (varianza) indican un sensor de velocidad del viento defectuoso.

### *Observaciones introducidas manualmente*

Cuando se introduce manualmente en la EMA una magnitud observada pueden realizarse las verificaciones en el sensor y entre sensores, según lo mencionado en los párrafos anteriores. Se sugieren algunas verificaciones de coherencia especiales en OMM (1993) relativas a tiempo presente con visibilidad; tiempo presente con nubosidad; información sobre nubosidad, tiempo y nubes; tiempo presente con temperatura del aire; tiempo presente con temperatura del punto de rocío; altura de las nubes con tipos de nubes; y estado del mar con velocidad del viento.

### *Verificaciones del equipo*

Durante el funcionamiento, el rendimiento de una EMA se deteriora debido al envejecimiento de los componentes del equipo, por la exposición a situaciones no sometidas a prueba, a causa de un mantenimiento insuficiente, por un fallo del producto, etc. Por lo tanto, es importante aplicar y ejecutar periódicamente en forma automática procedimientos de autoverificación internos utilizando equipo de prueba incorporado al equipo de la EMA, y poner los resultados de esas pruebas a disposición del personal adecuado o almacenarlos en memorias intermedias de gestión interna. Se pueden examinar esas memorias, y utilizarse la información de estado para clasificar las mediciones como correctas, erróneas o sospechosas.

### *Verificación de mensajes*

En las EMA provistas de programas para el cifrado de mensajes y su transmisión por el Sistema Mundial de Telecomunicación es sumamente importante ejecutar todas las verificaciones citadas con sumo cuidado. Además, debería controlarse si se cumple la reglamentación sobre carácter, número, formato, etc. En el caso de valores clasificados como sospechosos hay que considerar la adopción de medidas apropiadas.

## 1.3.2.9 **Almacenamiento de datos**

Los datos procesados y observados manualmente, incluyendo la información sobre la situación del control de la calidad (datos de gestión interna), deben pasarse a la memoria intermedia o almacenarse durante algún tiempo en la EMA. Esto comprende la actualización de la base de datos pertinente en tiempo real. El dimensionamiento de la base de datos y la memoria requerida se determinan en función del posible número máximo de sensores, datos intermedios, magnitudes obtenidas y de la autonomía requerida de la estación. En general, se adopta una estructura de memoria circular que posibilita sobrescribir nuevos datos de entrada sobre datos antiguos tras un período determinado previamente. La estructura de la base de datos debería permitir el acceso fácil y selectivo por medio de algoritmos de transferencia y transmisión de datos.

Según los requisitos de observación y el tipo de estación, los datos pueden transferirse a intervalos regulares desde la memoria principal de la EMA hasta otras clases de dispositivos de almacenamiento removibles.

## 1.3.2.10 **Transmisión de datos**

Con arreglo a los requisitos operativos y a los medios de transmisión de datos, la transmisión entre una EMA y los usuarios locales o el sistema central de procesamiento de la red se puede realizar de diferentes modos, como sigue:

- a) como respuesta a instrucciones externas, que es el modo fundamental más frecuente, pues permite un mayor control de la estación, por ejemplo, en lo que respecta a inicialización, establecimiento y restablecimiento del reloj en tiempo real, prevención de fallos de los sensores, transferencia selectiva de base de datos, etc.; al recibirse los datos, tras el control de transmisión de una instrucción externa, una tarea planificada activa la tarea o subrutina apropiada solicitada por la instrucción;

- b) a intervalos periódicos controlados por el programador horario de la EMA;
- c) en condiciones de alarma de la EMA cuando se traspasan ciertos umbrales meteorológicos.

En general, para la transferencia y el control adecuados de datos, y para los protocolos de transmisión, se pueden utilizar conjuntos de programas de transmisión de datos fácilmente disponibles. Como los medios de transmisión de datos están sometidos a diversas fuentes de interferencia, hay que prestar mucha atención a la codificación adecuada de errores, por ejemplo bits de paridad y códigos de redundancia cíclica. A continuación figura un breve examen de algunas opciones de telecomunicaciones para el establecimiento de una red de EMA.

#### *Comunicaciones unidireccionales*

Una simple red de EMA podría utilizar comunicaciones unidireccionales en las que las estaciones remotas funcionan sobre la base de un ciclo programado para explorar los canales de los sensores, o de otro modo, cuando se activan las condiciones de alarma, para comunicar con la computadora central de control y adquisición de datos mediante marcación telefónica, y tras haber establecido la comunicación, transmitir sus mensajes de datos. Cada EMA podría tener una interfaz serial para conectar con un módem analógico, y los datos se transmitirían, por ejemplo, a una velocidad de 9 600 bits por segundo (bps) mediante tonos de audiofrecuencia. La ventaja de este sistema de comunicaciones punto a punto es que utiliza tecnología simple bien establecida y líneas de calidad telefónica ordinarias. El costo, que debería ser reducido, depende de una fórmula tarifaria que incluye la distancia y el tiempo de conexión. Los inconvenientes son que la seguridad de los datos solo es limitada; que los volúmenes de datos deben ser relativamente bajos; que no pueden utilizarse estructuras de red potentes; y que las compañías de telecomunicaciones pueden restringir el acceso futuro a los circuitos de datos analógicos a medida que la tecnología avanza inexorablemente hacia las redes digitales de banda ancha.

#### *Comunicaciones bidireccionales*

Una red más potente tiene comunicaciones bidireccionales que permiten a la computadora central verificar el estado de las estaciones de la red, no solo a las horas sinópticas, o cada hora, sino sobre la base de un acceso aleatorio cuando un predictor o hidrólogo desee obtener información actualizada sobre las condiciones meteorológicas en un lugar o lugares particulares. Las estaciones remotas iniciarían el procedimiento para enviar sus propios mensajes de alarma en tiempo real. La comunicación bidireccional también permite a la estación remota enviar instrucciones para modificar su modo de funcionamiento, o para descargar nuevos programas informáticos operativos en su procesador.

#### *Comunicaciones de la red de estaciones meteorológicas automáticas*

La red podría utilizar comunicaciones por línea terrestre o radiocomunicaciones (especialmente para los lugares muy distantes) o ambas conjuntamente. La ventaja de utilizar un proveedor de servicios de telecomunicaciones es que este es responsable de cualquier mantenimiento del servicio de red y probablemente de las interfaces de comunicaciones, y debe responder con prontitud a la notificación de fallos por el gestor del sistema de la EMA. Cabe señalar la necesidad de poder determinar en qué extremo de la interfaz de comunicaciones (EMA o circuitos de telecomunicaciones) se ha producido el fallo, lo cual puede resultar problemático. Las redes de EMA han utilizado a menudo circuitos de marcación en la red telefónica pública conmutada (RTPC), con costos relacionados con la distancia y el tiempo de conexión, según las tarifas del proveedor local de comunicaciones. La otra opción es tener una "red privada" basada en líneas arrendadas especializadas de una calidad definida. No se registran retrasos en la conmutación para establecer los circuitos, pueden utilizarse velocidades de transmisión más altas, y se puede asegurar que el circuito será mantenido. Los costos de arrendamiento dependen de las distancias de la línea, pero no del volumen de datos. Los costos son más elevados que para las conexiones mediante marcación en los casos en que el volumen de datos es relativamente bajo.

### *Red digital de servicios integrados*

Muchos organismos de telecomunicaciones ofrecen una red digital de servicios integrados que proporciona la transmisión de voz, datos y vídeo con modulación de pulsos codificados mediante cables y conmutaciones modernizados de RTPC. Un canal básico ofrece una transmisión de datos de 64 kbps, que puede comprender protocolos de conmutación por paquetes X.25 o de retransmisión de tramas. Los circuitos digitales proporcionan un nivel de seguridad muy alto para los datos.

### *Comunicaciones de red de área extensa*

Dado el crecimiento mundial del tráfico de datos y la utilización de modernos protocolos de comunicación, así como el aumento de la capacidad informática y de almacenamiento de datos en terminales remotos, actualmente es corriente considerar la EMA remota y la computadora central de control y adquisición de datos como nodos de una red de área extensa (WAN). El mensaje de datos o control se divide en "paquetes" según las normas (protocolos) como X.25 o protocolos de retransmisión de tramas (*frame relay*) más rápidos. Cada paquete de datos es encaminado a través de la red de datos con conmutación del proveedor de telecomunicaciones y puede llegar a su destino por medio de diferentes vías (haciendo un uso eficaz de la red con otros paquetes no relacionados). Ya en el lugar de destino, los paquetes se reconstruyen según el protocolo tras haber sufrido retrasos variables para reformar el mensaje. La detección de errores con el reenvío automático de paquetes dañados o perdidos asegura una transmisión fiable. Cabe señalar el contraste con RTPC ordinarias basadas en tecnología de conmutación de circuitos, en las que se asigna una línea especializada para la transmisión entre dos partes. La conmutación de circuitos es ideal cuando los datos en tiempo real (como audio y vídeo en directo) deben transmitirse rápidamente y llegar en el mismo orden en el que se enviaron. La conmutación de paquetes es más eficiente y sólida para los datos que pueden resistir algún breve retraso en la transmisión. Los costos de los mensajes están relacionados con el tiempo de conexión y con el volumen de datos. Debería existir un medio para finalizar la conexión de forma fiable cuando se haya completado la adquisición de datos, ya que una EMA defectuosa podría mantener la línea abierta e incurrir en costos no deseados.

### *Retransmisión de tramas y modo de transferencia asíncrono*

La retransmisión de tramas (*frame relay*) es un protocolo de formación de redes y conmutación de paquetes para la conexión de dispositivos en una red WAN, funcionando a una velocidad de transmisión de datos de 64 kbps a 2 Mbps o superior, según la calidad de la línea. A diferencia de una línea privada punto a punto, la conmutación de redes tiene lugar entre la EMA y la estación central. En efecto, hay una línea privada hasta un nodo en la red de retransmisión de tramas, y el lugar distante tiene una línea privada hasta un nodo de retransmisión de tramas cercano. El usuario obtiene una "red privada virtual". Los costos son decrecientes e independientes del volumen de datos o del tiempo de conexión. Sin embargo, en algunas áreas la retransmisión de tramas se está reemplazando por tecnologías más nuevas y rápidas, como el modo de transferencia asíncrono (ATM). Este protocolo trata de conjugar lo mejor de ambos sistemas: la distribución garantizada de las redes de conmutación de circuitos y la solidez y eficiencia de las redes de conmutación de paquetes.

### *Protocolo de transmisión*

Una norma *de facto* para la transmisión entre computadoras por medio de redes es el Protocolo de control de transmisión/protocolo Internet (TCP/IP). El protocolo Internet (IP) especifica el formato de los paquetes, denominados "datagramas" y el esquema de direccionamiento. El TCP, de nivel más elevado, establece una conexión virtual entre la fuente y el destino de modo que los flujos de datos bidireccionales puedan pasar durante un tiempo y que los datagramas sean proporcionados en la secuencia correcta con la corrección de errores mediante la retransmisión. El TCP también se ocupa del movimiento de datos entre aplicaciones informáticas. El funcionamiento de Internet se basa en los protocolos TCP/IP, y el IP se utiliza asimismo en las redes WAN, en las que los nodos tienen capacidad de procesamiento y se intercambian altos

volúmenes de datos a través de la red. El IP permite a los organismos nacionales y regionales de carreteras intercambiar por medio de una Intranet privada los datos de EMA y los análisis de las condiciones viales realizados en la computadora de la estación central.

#### *Circuitos conmutados o especializados*

Es necesario decidir si deben utilizarse circuitos de datos conmutados, más económicos, en los que el acceso a la red de telecomunicaciones se comparte con otros usuarios, o arrendar circuitos especializados mucho más costosos que proporcionan comunicaciones fiables, de alta velocidad y en tiempo real. La red conmutada tendría cierta demora, con un retraso de hasta algunos segundos en el establecimiento del circuito, pero los protocolos de conmutación de paquetes resuelven esta situación sin dificultad. La consideración de la fiabilidad, la cantidad de datos que se intercambian mediante cada mensaje o las “descargas” especiales en las estaciones remotas, así como la necesidad operativa de comunicaciones efectivas en tiempo real, contribuirán a la selección. El factor estacional también influirá en la selección del tipo de comunicaciones. Si solo se hace un uso crítico de los datos meteorológicos sobre las carreteras durante unos meses al año, el mantenimiento de una red de comunicaciones especializada durante todo el año impone unos altos costos generales por mensaje. Los costos reales del mensaje dependerán de las fórmulas tarifarias de la empresa de telecomunicaciones, y comprenderán factores como la velocidad de transmisión de datos, la distancia del enlace, el tiempo de conexión y si la compañía proporciona los módems. Las empresas de telecomunicaciones locales estarán dispuestas a ofrecer orientación sobre las opciones de los servicios que ofrecen.

#### 1.3.2.11 **Mantenimiento y calibración**

En los programas de aplicaciones se incorporan rutinas específicas que permiten el mantenimiento y la calibración *in situ*. Esas actividades comprenden generalmente la utilización de programas interactivos para probar determinado sensor, la reconfiguración de la EMA en caso de sustitución de sensores o modelos, el restablecimiento de los parámetros del sistema, pruebas de telecomunicaciones, la introducción de nuevas constantes de calibración, etc. En general, el mantenimiento y la calibración se realizan en un modo de funcionamiento fuera de línea, interrumpiendo temporalmente el funcionamiento normal de la estación.

#### 1.3.2.12 **Visualización de datos**

Además de las rutinas de visualización de datos para las diversas funciones mencionadas en los párrafos anteriores, en los requisitos sobre la explotación se especifica muchas veces que los datos seleccionados deberían visualizarse localmente, con actualización periódica en tiempo real o en visualizadores LED, terminales existentes o pantallas especiales. Como ejemplos, cabe citar las EMA en aeropuertos y los lugares de control del medio ambiente. En algunos países hay que proceder a la impresión local de datos o a la visualización gráfica mediante registradores gráficos.

### 1.4 **CONSIDERACIONES SOBRE EL EMPLAZAMIENTO DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS**

El emplazamiento de una EMA es una cuestión muy difícil y todavía hay mucho que investigar al respecto. El principio general es que la estación debería proporcionar mediciones que sean y sigan siendo representativas de la zona circundante, cuya extensión dependerá de la aplicación meteorológica. Las directrices existentes para las estaciones clásicas también son válidas para las estaciones automáticas y figuran en la parte I de la Guía, así como en OMM (2010a, 2010b y 2014).

Algunas EMA tienen que funcionar sin personal durante largos períodos de tiempo en emplazamientos de difícil acceso, tanto en tierra como en el mar. Los costos de construcción pueden ser elevados y los servicios pueden conllevar gastos extraordinarios. Tienen que poder funcionar con suministro de energía poco fiable o procedente de emplazamientos en que no se



dispone de un suministro de energía permanente. Sería preciso considerar la disponibilidad de medios de telecomunicación. Por supuesto, las estaciones han de poder soportar condiciones meteorológicas extremas, y deben tomarse medidas de seguridad (contra descargas eléctricas, inundaciones, robo, vandalismo, etc.). El costo para disponer de sistemas capaces de funcionar en cualesquiera circunstancias previsibles en una estación automática es prohibitivo, y antes de especificar o concebir una EMA es imprescindible conocer plenamente el entorno de trabajo previsto. En una de las primeras fases de la planificación se debería realizar un análisis detallado de la importancia relativa de los requisitos meteorológicos y técnicos, de manera que se puedan elegir y aprobar emplazamientos adecuados antes de llevar a cabo importantes inversiones en instalación.

## 1.5 PROCESAMIENTO CENTRALIZADO DE DATOS DE LA RED

Normalmente, una EMA forma parte de una red de estaciones meteorológicas, y transmite sus datos o mensajes procesados a un sistema central de procesamiento de datos de red, a través de diversos medios de transmisión de datos. La especificación de los requisitos funcionales, y consiguientemente técnicos, de un sistema central es una tarea compleja y muchas veces subestimada. Requiere una buena cooperación entre el proyectista de la EMA, especialistas en telecomunicaciones, especialistas en programación y usuarios de datos. Es preciso tomar decisiones sobre las tareas que deben ejecutarse en el sistema central y en las EMA. En efecto, según la aplicación, ciertas funciones de una EMA podrían transferirse al sistema central, en el que se dispone de más potencia de cálculo y más memoria. Como ejemplos pueden citarse largos cálculos matemáticos, como la reducción de la presión atmosférica, y el cifrado de mensajes meteorológicos. Las memorias intermedias de datos de las EMA pueden reducirse a un mínimo operativo cuando dichos datos se transfieren regularmente al sistema central. Una buena práctica es llegar a un acuerdo sobre los requisitos funcionales del sistema central y de la EMA, antes de especificar sus requisitos técnicos.

### 1.5.1 Composición

La composición de un sistema central de procesamiento de datos de la red depende considerablemente de las funciones que vayan a realizarse, pero también de las instalaciones locales. Pueden utilizarse potentes computadoras personales o estaciones de trabajo, que funcionan en un entorno de multitarea y multiusuario en tiempo real. Sin embargo, se emplean los sistemas de telecomunicación y procesamiento existentes. Los sistemas centrales de procesamiento de datos de la red se integran cada vez más en una red local que permite la distribución y ejecución de tareas en el lugar más conveniente por las personas más adecuadas.

Las principales funciones de un sistema central de red son: adquisición de datos, incluida la decodificación de mensajes procedentes de la red de la EMA; control remoto y gestión interna de las EMA; supervisión de la red y control de la calidad de los datos; procesamiento adicional de datos para responder a las necesidades de los usuarios; acceso a la base de datos de la red; visualización de datos; y transferencia de datos a usuarios internos y externos. Esto último puede comprender el Sistema Mundial de Telecomunicación, si los datos se intercambian internacionalmente.

### 1.5.2 Control de la calidad de los datos de la red

Este tema se trata en el capítulo 1 de la parte IV. Se recomienda que los operadores de redes<sup>18</sup>:

- a) establezcan y pongan a prueba sistemas para el control de las mediciones en tiempo casi real en los cuales los valores informados se verifiquen periódicamente comparándolos con los campos analizados que corresponden al mismo punto de realización de mediciones;

<sup>18</sup> Recomendación 5 (CIMO-IX), adoptada por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación en su novena reunión (1985).

- b) establezcan procedimientos eficaces de enlace entre el servicio de supervisión y los servicios de calibración y mantenimiento correspondientes, a fin de facilitar la rápida respuesta a los informes de averías o desperfectos provenientes del sistema de vigilancia.

Los procedimientos automáticos de control de errores en una EMA tienen sus limitaciones, y es posible que no se puedan detectar algunos errores, incluso con los controles más sofisticados, como desviaciones de larga duración en sensores y módulos. La transmisión de datos desde una EMA es otra fuente de error. Por lo tanto, se recomienda que los procedimientos adicionales de control de la calidad se ejecuten mediante un sistema de supervisión de la red que forme parte del sistema central de la red. Los procedimientos de control de la calidad más importantes en ese sistema de supervisión son:

- a) detección de errores de transmisión de datos; las rutinas requeridas dependen del protocolo de transmisión y de los códigos de redundancia cíclica utilizados;
- b) comprobación del formato y del contenido de los mensajes cifrados de la OMM (OMM, 1993);
- c) procesamiento adicional de datos para excluir o tratar de otro modo datos señalados como erróneos por los ficheros de gestión interna de la EMA.

Los sistemas de visualización interactivos permiten también llevar a cabo el control de la calidad complementario de los datos de entrada. Las series temporales de una o más variables y de una o más estaciones pueden presentarse en pantallas de color, y es posible utilizar análisis estadísticos realizados por personal formado y experimentado, para detectar anomalías de breve y de larga duración no siempre detectadas por algoritmos de control de la calidad totalmente automáticos.

Los algoritmos de supervisión, en que se prueban regularmente los valores comunicados en el espacio y en el tiempo cotejándolos con un campo numérico analizado, son pruebas muy valiosas para identificar los errores y establecer la necesidad de adoptar medidas de investigación o correctivas. Debido a las fluctuaciones de bajo nivel o turbulentas en la presión atmosférica, y a la confianza con que pueden suprimirse influencias geográficas locales normalizando todas las observaciones a un nivel de referencia común, la presión atmosférica constituye uno de los mejores medios para este tipo de control de calidad. Promediando en el tiempo o en el espacio diferentes observaciones también podrían someterse a este análisis otras variables. Sin embargo, es preciso considerar y tener en cuenta detenidamente los efectos orográficos locales.

## 1.6 MANTENIMIENTO

El costo del servicio para una red de estaciones automáticas en tierra, y en particular en el mar, puede ser muy superior al de su adquisición. Por lo tanto, la concepción de las EMA para lograr las mejores posibilidades de fiabilidad y mantenimiento reviste capital importancia. Con frecuencia se justifica la protección especial contra factores ambientales, incluso con elevados costos iniciales.

Es evidente que todo sistema complejo requiere apoyo para el mantenimiento. El mantenimiento correctivo es necesario por los fallos de los componentes. Los componentes del equipo pueden fallar por múltiples razones, pero también pueden hacerlo los programas informáticos a causa de errores de concepción, que quizá no se detecten durante mucho tiempo. Para minimizar el mantenimiento correctivo y aumentar el rendimiento de una EMA, se recomienda un mantenimiento preventivo debidamente organizado. Todos los componentes del sistema requieren un mantenimiento preventivo y no solo la limpieza de elementos y la lubricación de partes mecánicas. En vista de la creciente fiabilidad de los componentes electrónicos de una EMA, el mantenimiento preventivo, en particular los servicios y la calibración de los sensores, se convertirá en el factor determinante del mantenimiento.

El mantenimiento adaptable es necesario para tener en cuenta los rápidos cambios de la tecnología y la disponibilidad de piezas de repuesto después de algunos años. En efecto,

con frecuencia sucede que los costos de reparación y de los componentes aumentan velozmente cuando deja de distribuirse un sistema, por lo que es necesario sustituir módulos por otros de tecnología diferente, pues rara vez se encuentran piezas exactas. Como ejemplos cabe citar la transferencia de datos desde un medio de registro a otro y de programas y sistemas operativos de un procesador a otro, la introducción de cambios modulares para la fiabilidad del sistema, la conexión con nuevos sistemas de telecomunicaciones, etc. Para reducir esta clase de gastos de mantenimiento conviene establecer normas ampliamente aceptadas sobre el equipo y las interfaces, así como para los programas, e incluirlas en las especificaciones técnicas de la EMA.

Dado que el mantenimiento de una red de estaciones automáticas es una tarea que frecuentemente se subestima mucho, resulta esencial organizarlo según un plan racional en el que se detallan y se organicen todas las funciones de modo que se minimicen los costos, sin influir adversamente en los resultados. La estructura modular de muchas estaciones automáticas modernas permite realizar el mantenimiento sobre el terreno, o en centros regionales y nacionales.

*Mantenimiento sobre el terreno:* en general, no es aconsejable reparar los sensores u otros módulos de las EMA sobre el terreno, pues las condiciones no son favorables para un trabajo eficaz. Además, como los costos de personal son elevados y los del equipo relativamente bajos, es más rentable desechar módulos averiados que repararlos. Se recomienda que el mantenimiento correctivo sobre el terreno lo haga personal técnico especializado de un centro regional o nacional, según el tamaño del país, y que se deje el mantenimiento preventivo sencillo al observador local (cuando existe). La transmisión periódica de información de autodiagnóstico por la EMA es una práctica muy conveniente para reparar rápidamente las averías.

*Centro regional:* en un centro regional se debería disponer de personal técnico para cambiar o reparar los módulos y sensores que requieran la detección y subsanación de defectos sencillos. El personal tendría que conocer bien el funcionamiento del equipo de la estación y estar especializado en la ejecución de rutinas de mantenimiento de programas. Esos centros regionales deberían estar provistos de equipo de prueba apropiado y de suficientes módulos y sensores de repuesto para facilitar el mantenimiento de las estaciones de su región. En esos centros debe haber medios de transporte adecuados para realizar la labor sobre el terreno. Se deberían planificar y visitar periódicamente los emplazamientos remotos para comprobar si hay problemas de funcionamiento, vandalismo, cambios en las condiciones del emplazamiento, etc. Es necesario establecer procedimientos para realizar visitas de emergencia a las diversas estaciones, sobre la base de las prioridades determinadas de cada estación.

*Centro nacional:* en un centro nacional se necesita personal técnico más especializado que fuera capaz de detectar y solucionar problemas complejos en sensores, módulos y medios de transmisión de datos. Se debería disponer del equipo necesario para comprobar y corregir todos los componentes de una EMA, y el trabajo tendría que efectuarse en el centro. Cualquier defecto reiterado debería comunicarse a los diseñadores o a los proveedores para corregirlo.

Como los programas desempeñan un importantísimo papel en las EMA y en el sistema central de procesamiento de la red, se necesita personal con profundos conocimientos de la EMA y del sistema central de la red. Se debería disponer de los medios necesarios para el desarrollo y las pruebas de programas. Además, el centro nacional tendría que poder ejecutar todas las tareas relacionadas con el mantenimiento adaptable.

En cuanto al control de la calidad de los datos de la red, conviene establecer procedimientos de enlace eficaces entre el servicio de supervisión y el servicio de mantenimiento y calibración adecuado, para facilitar la rápida respuesta a los informes de avería o fallos procedentes del sistema de supervisión.

El plan expuesto anteriormente es adecuado para países de gran extensión. En países más pequeños, las tareas de los centros regionales pueden ser asumidas por el centro nacional. Los países en desarrollo podrían considerar la posibilidad de establecer acuerdos de mantenimiento comunes con países vecinos o la creación de un centro de mantenimiento internacional común, a fin de que los costos de mantenimiento sean razonablemente bajos. Sin embargo, para que exista esa cooperación internacional probablemente habría que utilizar equipo similar. Si el Servicio

Meteorológico no puede ampliar su personal o sus instalaciones, se podría recurrir a servicios contratados para muchas de las funciones de apoyo. Esto puede negociarse, por ejemplo, como parte de la adquisición del sistema. Ahora bien, todo contrato de mantenimiento tendría que prepararse minuciosamente, y la realización del contrato debería verificarse con el mayor cuidado por el personal competente.

En el capítulo 1 de la parte IV figuran sugerencias sobre técnicas de gestión de la calidad.

## 1.7 CALIBRACIÓN

Los sensores, en particular los sensores de las EMA con salidas eléctricas, presentan desviaciones de exactitud en el tiempo y, en consecuencia, es preciso inspeccionarlos y calibrarlos regularmente. En principio, el intervalo de calibración viene determinado por las especificaciones de desviación proporcionadas por el fabricante y por la exactitud requerida. Las intercomparaciones internacionales de instrumentos de la OMM proporcionan asimismo algunas indicaciones objetivas de las desviaciones de exactitud de los sensores y de los intervalos de calibración apropiados. Como los módulos de acondicionamiento de la señal y los equipos de adquisición y de transmisión de datos forman igualmente parte de la cadena de medición, también hay que controlar o calibrar periódicamente su estabilidad y su correcto funcionamiento. El resumen que se ofrece a continuación se limita a los aspectos prácticos relacionados con las EMA. Para obtener información más detallada sobre técnicas y métodos de calibración véanse los diferentes capítulos de la parte I y el capítulo 4 de la parte IV de la Guía.

*Calibración inicial:* es fácil pasar por alto el requisito previo, antes de adquirir e instalar una EMA, de disponer de los medios e instrumentos de calibración adecuados para poder verificar las especificaciones del fabricante, probar el rendimiento global de la estación y verificar que el transporte no haya afectado las características de medición del equipo.

*Inspección sobre el terreno:* la comparación periódica de sensores de las EMA con patrones itinerantes en la estación supone un requisito indispensable para vigilar el funcionamiento de los sensores. Son preferibles los patrones itinerantes con características de filtrado similares a la cadena de medición de las EMA y con lectura digital. En muchos países se utilizan dos patrones itinerantes del mismo tipo para evitar posibles problemas de variación de la exactitud a causa del transporte. A fin de poder detectar pequeñas desviaciones, los patrones itinerantes deberían tener una exactitud muy superior a la de los sensores de la estación pertinente, y tendrían que instalarse durante el proceso de comparación en las mismas condiciones ambientales que los sensores, durante un período de tiempo suficientemente largo. Al igual que ocurre en los módulos de acondicionamiento de la señal y en el equipo de adquisición de datos, por ejemplo el convertidor A/D, también pueden mostrar diferencias de rendimiento, por lo que deberían utilizarse fuentes de referencia eléctrica adecuadas y multímetros para localizar anomalías.

Los patrones itinerantes y las fuentes de referencia deben compararse con los patrones de trabajo del laboratorio de calibración antes y después de las inspecciones sobre el terreno. Cuando se detecten diferencias en la exactitud hay que informar cuanto antes al servicio de mantenimiento.

*Calibración en laboratorio:* los instrumentos que hayan llegado al fin de su intervalo de calibración, los instrumentos que presenten una desviación en la exactitud que rebase los límites autorizados durante una inspección sobre el terreno y los instrumentos reparados por el servicio de mantenimiento, deberían enviarse a un laboratorio de calibración antes de utilizarlos de nuevo. La calibración de los sensores tendría que realizarse en un entorno acondicionado (cámaras ambientales) mediante patrones de trabajo adecuados. Esos patrones de trabajo deberían compararse y calibrarse periódicamente con patrones secundarios y ser trazables respecto de patrones internacionales.

Habría que prestar también atención a la calibración de los diferentes componentes que constituyen la cadena de medición y de telemetría, en particular los módulos de acondicionamiento de la señal. Esto abarca los patrones de tensión, intensidad de corriente, capacitancia y resistencia apropiados, el equipo de prueba de transmisión y multímetros digitales

de gran precisión. Para la calibración hay que utilizar instrumentos o sistemas de adquisición de datos sumamente precisos. Para calcular las constantes de calibración conviene disponer de una computadora. Esas constantes acompañarán al sensor o al módulo permanentemente hasta la siguiente calibración, y deben introducirse en la EMA siempre que se sustituya o instale un sensor o un módulo en ella durante un mantenimiento sobre el terreno.

Debería establecerse un programa de comparaciones periódicas de los patrones secundarios del laboratorio de calibración con los patrones primarios nacionales, internacionales o regionales de la OMM.

## 1.8 FORMACIÓN

Como una EMA se basa en la aplicación de tecnología que difiere considerablemente del equipo de estaciones y redes tradicionales, debe llevarse a cabo un examen exhaustivo de los programas de formación existentes y de las aptitudes del personal técnico requerido. Todo nuevo programa de formación debería organizarse con arreglo a un plan concebido para responder a las necesidades de los usuarios. En particular, tendría que abarcar el mantenimiento y la calibración descritos anteriormente, y adaptarse al sistema. La conversión indispensable del personal existente, incluso si tiene muchos años de experiencia con estaciones convencionales, no es siempre posible, y puede dar lugar a graves problemas si ese personal no dispone de los conocimientos básicos sobre los sensores eléctricos, las técnicas digitales y de microprocesador o el uso de computadoras. Tal vez sea necesario contratar a nuevo personal que disponga de esos conocimientos. El personal competente en los diferentes sectores abarcados por las estaciones automáticas debería estar presente bastante antes de instalarse una red de EMA (véase OMM, 1997).

Es fundamental que los fabricantes del equipo de EMA proporcionen documentación operativa y técnica muy completa, así como cursos de formación técnica y operativa. En general se necesitan dos tipos de documentación del fabricante: manuales de usuario para la formación sobre el funcionamiento y el uso del sistema, y manuales técnicos con documentación más compleja en la que se describan con todos los detalles técnicos las características de funcionamiento del sistema, hasta el equipo secundario e incluso el nivel de componentes electrónicos, incluidas las instrucciones sobre mantenimiento y reparación. Puede considerarse que esos manuales constituyen la documentación básica de los programas de formación proporcionados por el fabricante, y han de poder servir de referencia cuando ya no se disponga de especialistas del fabricante para asistencia directa.

En algunos países tal vez convenga organizar cursos de formación comunes en un centro de capacitación que abarque países vecinos. Naturalmente, como mejor funcionará ese centro de formación será asociándose con un centro de instrumentos designado y si los países que reciben el servicio se han puesto de acuerdo en la utilización de equipo normalizado similar.

---

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Organización Meteorológica Mundial, 1954: *Reduction of Atmospheric Pressure*. Technical Note No. 7 (WMO-No. 36, TP. 12). Ginebra.
- , 1964: *Note on the Standardization of Pressure Reduction Methods in the International Network of Synoptic Stations: Report of a Working Group of the Commission for Synoptic Meteorology*. Technical Note No. 61 (WMO-No. 154, TP. 74). Ginebra.
- , 1968: *Methods in Use for the Reduction of Atmospheric Pressure*. Technical Note No. 91 (WMO-No. 226, TP. 120). Ginebra.
- , 1987: *Some General Considerations and Specific Examples in the Design of Algorithms for Synoptic Automatic Weather Stations*. (D.T. Acheson). Instruments and Observing Methods Report No. 19 (WMO/TD-No. 230). Ginebra.
- , 1988: *WMO International Ceilometer Intercomparison (United Kingdom, 1986)* (D.W. Jones, M. Ouldridge and D.J. Painting). Instruments and Observing Methods Report No. 32 (WMO/TD-No. 217). Ginebra.
- , 1989a: *WMO International Hygrometer Intercomparison* (J. Skaar, K. Hegg, T. Moe and K. Smedstud). Instruments and Observing Methods Report No. 38 (WMO/TD-No. 316). Ginebra.
- , 1989b: "Preliminary results of the WMO automatic sunshine duration measurement comparison 1988/89 in Hamburg" (K. Dehne), en *Papers Presented at the Fourth WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECIMO-IV)*. Instruments and Observing Methods Report No. 35 (WMO/TD-No. 303). Ginebra.
- , 1990: *The First WMO Intercomparison of Visibility Measurements (Reino Unido 1988/1989)* (D.J. Griggs, D.W. Jones, M. Ouldridge and W.R. Sparks). Instruments and Observing Methods Report No. 41 (WMO/TD-No. 401). Ginebra.
- , 1991: *Guidance on the Establishment of Algorithms for Use in Synoptic Automatic Weather Stations: Processing of Surface Wind Data* (D.J. Painting). Instruments and Observing Methods Report No. 47 (WMO/TD-No. 452). Ginebra.
- , 1992a: *Vocabulario Meteorológico Internacional (OMM-Nº 182)*. Ginebra.
- , 1992b: *The WMO Automatic Digital Barometer Intercomparison* (J.P. van der Meulen). Instruments and Observing Methods Report No. 46 (WMO/TD-No. 474). Ginebra.
- , 1993: *Guía del Sistema Mundial de Proceso de Datos (OMM-Nº 305)*. Ginebra.
- , 1994: "WMO solid precipitation measurement intercomparison: Preliminary results" (B. E. Goodison, E. Elomaa, V. Golubev, T. Gunther y B. Sevruck), en *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-94)*. Instruments and Observing Methods Report No. 57 (WMO/TD-No. 588). Ginebra.
- , 1997: *Guidance on Automatic Weather Systems and their Implementation*. Instruments and Observing Methods Report No. 65 (WMO/TD-No. 862). Ginebra.
- , 2000: "Operation of automated surface observing systems in harsh climatological environments" (M. D. Gifford, G. M. Pearson y K. Hegg), en *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2000)*. Instruments and Observing Methods Report No. 74 (WMO/TD-No. 1028). Ginebra.
- , 2003: *Algorithms Used in Automatic Weather Stations: Evaluation of Questionnaire* (M.D. Gifford). Instruments and Observing Methods Report No. 78 (WMO/TD-No. 1160). Ginebra.
- , 2010a: *Guía del Sistema Mundial de Observación (OMM-Nº 488)*. Ginebra.
- , 2010b: *Manual del Sistema Mundial de Observación (OMM-Nº 544)*, volumen I. Ginebra.
- , 2011a: *Guía de prácticas climatológicas (OMM-Nº 100)*. Ginebra.
- , 2011b: *Manual de claves (OMM-Nº 306)*, volúmenes I.1 y I.2. Ginebra.
- , 2011c: *Reglamento Técnico (OMM-Nº 49)*, Volumen I. Ginebra.
- , 2014: *Guía de sistemas meteorológicos de observación y distribución de información para los servicios meteorológicos aeronáuticos (OMM-Nº 731)*. Ginebra.
-