

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

	<i>Página</i>
CAPÍTULO 10. MEDICIONES METEOROLÓGICAS VIARIAS.....	876
10.1 Generalidades	876
10.1.1 Definición.....	876
10.1.2 Finalidad.....	876
10.1.3 Requisitos meteorológicos viarios.....	876
10.2 Establecimiento de una estación meteorológica viaria	877
10.2.1 Mediciones representativas normalizadas.....	877
10.2.2 Metadatos sobre la estación	878
10.3 Variables observadas	878
10.3.1 Mediciones meteorológicas viarias.....	878
10.3.1.1 Temperatura del aire.....	878
10.3.1.2 Humedad relativa	878
10.3.1.3 Velocidad y dirección del viento	879
10.3.1.4 Precipitación	879
10.3.1.5 Radiación meteorológica	879
10.3.1.6 Visibilidad.....	880
10.3.1.7 Temperatura de la superficie de la carretera	880
10.3.1.8 Temperatura del pavimento.....	880
10.3.1.9 Estado de la superficie de la carretera y temperatura de congelación	881
10.3.1.10 Vigilancia mediante video	881
10.4 Selección del equipo en una estación meteorológica viaria	881
10.4.1 El entorno viario.....	881
10.4.2 Capacidad de procesamiento en estaciones distantes.....	882
10.4.3 Configuración de la red y opciones con respecto al equipo	882
10.4.4 Diseño orientado a la fiabilidad.....	883
10.5 Cifrado de mensajes	883
10.5.1 Funciones de cifrado.....	883
10.5.2 Cifrado normalizado de la OMM	884
10.6 Computadora central de control y adquisición de datos.....	884
10.7 Consideraciones sobre las comunicaciones.....	884
10.8 Procesamiento de la señal del sensor y generación de alarmas	884
10.8.1 Algoritmos de procesamiento de la señal	884
10.8.2 Generación de alarmas.....	885
10.9 Control de la calidad de las mediciones.....	885
10.9.1 Comprobación frente a valores espurios	886
10.10 Mantenimiento de las estaciones meteorológicas viarias	886
10.10.1 El entorno viario.....	886
10.10.2 Planes de mantenimiento y documentación	886
10.10.3 Inspecciones y programas de trabajo.....	887
10.11 Formación	887
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	888

CAPÍTULO 10. MEDICIONES METEOROLÓGICAS VIARIAS

10.1 GENERALIDADES

10.1.1 Definición

Las mediciones meteorológicas viarias son particularmente útiles en países donde la transitabilidad invernal de la infraestructura de transporte ejerce una gran influencia sobre la economía nacional. En algunos países habrá, además, otros factores de riesgo en las carreteras, como las tempestades de polvo o las erupciones volcánicas. La seguridad y eficacia del transporte por carretera resulta afectada negativamente por las condiciones que se indican a continuación, que influyen en los aspectos de velocidad, distancia entre vehículos, adhesión de los neumáticos o eficacia de frenado: escasa visibilidad (precipitación intensa, niebla, humos, tempestades de arena), vientos fuertes, inundaciones en superficie, socavones, nieve, precipitación engelante y hielo.

10.1.2 Finalidad

El cometido del responsable de una red viaria es asegurar un tráfico óptimo, seguro y fluido en las vías principales. Las decisiones prácticas sobre la emisión de información meteorológica y sobre la puesta en marcha de las operaciones de deshielo y limpieza de nieve dependerán de las observaciones meteorológicas viarias, que son cada vez más habituales en las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) especializadas. Aunque estas estaciones deberían adecuarse en la medida de lo posible a las normas de exposición de los sensores y de medición aplicadas en las EMA convencionales (véase el capítulo 1 de la parte II), tendrán características específicas en consonancia con sus funciones, su ubicación y sus requisitos de medición.

En las estaciones meteorológicas viarias, que apoyan mediante datos la toma de decisiones sobre el transporte, la fiabilidad es un elemento decisivo: cada estación se ocupará del entorno inmediato de las vías importantes y de alta densidad, y se encargará de suministrar datos para las operaciones de rutina de predicción meteorológica y para la generación de alarmas automáticas. Así, la fiabilidad y el mantenimiento del equipo, el suministro de energía, la continuidad de las comunicaciones y la integridad de los datos son, todos ellos, elementos importantes a la hora de seleccionar, establecer y gestionar la red de mediciones meteorológicas. Estas consideraciones ponen de manifiesto los beneficios que reportaría una colaboración eficaz entre los servicios de gestión viaria y el Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional (SMHN).

10.1.3 Requisitos meteorológicos viarios

Este capítulo debería ayudar a normalizar las mediciones meteorológicas viarias utilizando un método lo más acorde posible con las normas comunes de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Sin embargo, los usuarios que deseen utilizar ese tipo de mediciones para otras aplicaciones meteorológicas deberán tener en cuenta que hay importantes desviaciones, por ejemplo en la exposición de los sensores.

Las necesidades de los responsables de una red viaria abarcan cuatro grandes aspectos (OMM, 1997 y 2003):

- a) *Observación de la meteorología viaria en tiempo real.* El objetivo práctico es, por una parte, informar a los usuarios de las carreteras de los riesgos (previstos o en tiempo real) que probablemente deberán afrontar en las rutas indicadas y, por otra parte, emprender una serie de actuaciones encaminadas a mejorar la seguridad viaria; por ejemplo, despejando la nieve o aplicando agentes químicos anticongelantes.

- b) *Mejora de las predicciones de la temperatura en la superficie del pavimento.* Las mediciones de las EMA viarias son los datos de mayor importancia para los programas que utilicen los SMHN con el fin de predecir la temperatura y el estado del pavimento. Estos organismos disponen de los medios para asegurar la continuidad y puntualidad de las observaciones y del servicio de predicción. En la práctica, los predictores disponen de dos herramientas. La primera es un modelo informático que permite transponer una predicción de las condiciones atmosféricas para obtener una predicción de la temperatura superficial del pavimento, teniendo en cuenta las características físicas de cada estación. La segunda herramienta consiste en la aplicación de un algoritmo basado en un estudio climatológico específico de la superficie del pavimento.
- c) *Base de datos sobre el clima viario.* La creación de una base de datos climatológicos viarios es importante, ya que en muchos casos la evaluación de la situación meteorológica existente en una ubicación provista de los instrumentos adecuados permite a los responsables experimentados de las redes viarias utilizar el modelo climático para transponer los datos a otras ubicaciones que ellos conocen bien. En algunos casos, será posible obtener valores de la huella térmica para modelizar esa relación espacial. El registro de los datos meteorológicos viarios será útil para analizar alteraciones invernales precedentes y para efectuar estudios climatológicos específicamente viarios. Los SMHN pueden rellenar las lagunas de datos y comparar mediciones provenientes de diferentes fuentes, sometiéndolas a un proceso de garantía de la calidad.
- d) *Datos fiables.* Los responsables viarios no necesitan unas mediciones muy exactas (a excepción de la temperatura superficial de la carretera). Lo que necesitan es que los datos sean lo más fiables posible. En otras palabras, los datos deberán reflejar de manera coherente la situación real, y los dispositivos de medición tendrán que ser robustos. Con frecuencia, la continuidad de las comunicaciones y del suministro eléctrico son aspectos de la mayor importancia.

10.2 ESTABLECIMIENTO DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA VIARIA

10.2.1 Mediciones representativas normalizadas

Los requisitos generales aplicables a las estaciones meteorológicas, a su emplazamiento y al tipo y frecuencia de sus mediciones se definen en OMM (2003 y 2011a). Cuando se establezca una estación meteorológica viaria, se recomienda atenerse lo más estrictamente posible a esas normas y al resto del material pertinente de la presente Guía, con el fin de obtener unas mediciones normalizadas y representativas que puedan relacionarse con las de otras estaciones viarias de la red y con los datos obtenidos de estaciones sinópticas o climatológicas normalizadas, excepto en aquellos casos en que las mediciones de variables meteorológicas específicamente viarias requieran otras normas, por ejemplo en lo referente a la exposición de los sensores. Podrá obtenerse información sobre la ubicación y densidad óptima de las estaciones en la oficina local del SMHN, que tendrá acceso a los datos climatológicos de la región.

Los emplazamientos de las estaciones meteorológicas se seleccionan de modo que representen adecuadamente una región geográfica determinada. La estación meteorológica viaria estará ubicada de modo que represente óptimamente una parte de la red de carreteras o un tramo particular de una carretera importante expuesta a factores de riesgo meteorológico o de otro tipo. Por ello, la estación deberá ser adyacente a la carretera, de modo que sea posible instalar sensores en la superficie de esta, siendo necesario en algunos casos encontrar una solución intermedia con respecto al emplazamiento y la exposición "ideales" en términos meteorológicos. Los sensores quedarán instalados de modo que su exposición permita representar de la mejor manera posible en el espacio y en el tiempo la variable que se desea medir, sin interferencias indeseadas de elementos secundarios. Por lo general, los emplazamientos inmediatamente adyacentes a la calzada deberían ser llanos, con hierba de baja altura, y exentos de sombras de edificios o árboles.

10.2.2 **Metadatos sobre la estación**

En todos los casos, será importante reunir información detallada tanto de la ubicación como de las características del emplazamiento, y especificar las características del equipo y de los sensores, en particular mediante planos y fotografías del emplazamiento. Estos metadatos (capítulo 1 de la parte I y capítulo 1 de la parte IV) serán inestimables para el funcionamiento de la estación y para comparar la calidad de las mediciones con las de otros emplazamientos.

10.3 **VARIABLES OBSERVADAS**

10.3.1 **Mediciones meteorológicas viarias**

En las estaciones meteorológicas viarias, las mediciones importantes para la predicción del estado de las carreteras son: temperatura y humedad del aire, velocidad y dirección del viento, cantidad y tipo de precipitación, visibilidad, radiación global y de onda larga y temperatura y estado de la superficie de la carretera. Algunas de las mediciones obtenidas (por ejemplo, temperatura y humedad) permitirán predecir estados del tiempo de interés para los usuarios, mientras que otras (viento y visibilidad) podrían indicar la inminencia o presencia real de fenómenos peligrosos; ciertas mediciones (radiación meteorológica, temperatura y estado de la superficie de la carretera) tienen específicamente por objeto predecir el comportamiento de la superficie de la carretera.

La selección de los sensores se hará ateniéndose a su incertidumbre, estabilidad, facilidad de mantenimiento y calibración, y procurando que dispongan de salidas eléctricas que les permitan conectarse con el sistema automático de adquisición de datos. La decisión sobre los sensores y su exposición debería adecuarse a la práctica y recomendaciones estándar de la OMM (véanse los capítulos correspondientes en la parte I de la presente Guía), excepto en aquellos casos en que sean incompatibles con las necesidades específicas de la meteorología viaria. Por lo general, la incertidumbre de las mediciones debería atenerse a los rendimientos indicados en el capítulo 1 de la parte I (anexo 1.E). Ténganse también en cuenta las recomendaciones sobre las mediciones de las EMA indicadas en el capítulo 1 de la parte II.

10.3.1.1 **Temperatura del aire**

El sensor podrá consistir en un termómetro de resistencia eléctrica (de platino, o un termistor estable). El sensor de temperatura del aire, su garita o protección contra la radiación y su exposición deberían adecuarse a las directrices del capítulo 2 de la parte I, instalando la protección a una altura de entre 1,25 y 2 m sobre hierba de baja altura o sobre un suelo natural.

Precauciones: el sensor y la garita no deberían instalarse sobre superficies de hormigón o asfalto que pudieran sobrevalorar la temperatura medida. La protección tendría que estar situada de modo que no quede expuesta a salpicaduras de agua de las ruedas de los vehículos que transitan, que podrían ser causa de importantes errores de medición.

10.3.1.2 **Humedad relativa**

El sensor higrométrico podrá ser de tipo conductivo o capacitivo, de película delgada (capítulo 4 de la parte I). No se recomienda utilizar un psicrómetro de bulbo húmedo, debido a la contaminación permanente de su mecha por los hidrocarburos. El sensor podrá estar combinado con el sensor de temperatura del aire en la garita de protección contra la radiación, o compartir ubicación con él, siempre y cuando la salida térmica del sensor (autocalentamiento) sea muy baja, con el fin de no influir en la medición de la temperatura.

Precauciones: las precauciones en relación con las salpicaduras de agua serán las mismas que para los sensores de temperatura. La efectividad de los sensores de humedad estará sujeta a los efectos de la contaminación de la atmósfera y de los vehículos. Deberían efectuarse con

regularidad comprobaciones funcionales de control de la calidad durante la adquisición de datos, y habría que comprobar las calibraciones como mínimo cada seis meses, particularmente antes del comienzo de cada invierno. Los sensores que no respondan correctamente deberán ser sustituidos inmediatamente.

10.3.1.3 **Velocidad y dirección del viento**

Estas variables suelen medirse mediante un par de sensores de cazoleta y veleta, o por medio de un anemómetro de hélice (capítulo 5 de la parte I) con una salida que genere impulsos o frecuencias. Los sensores estarán instalados a una altura estándar de 10 m por encima de la superficie del terreno, y en un área despejada y representativa, con el fin de efectuar unas mediciones que no resulten influidas por las alteraciones del flujo de la masa de aire causadas por el tráfico y los obstáculos locales.

Precauciones: la congelación de las piezas mecánicas, la penetración de agua, la corrosión y la caída de rayos constituyen factores de riesgo.

10.3.1.4 **Precipitación**

- a) *Precipitación acumulada:* en las estaciones automáticas se utiliza habitualmente el pluviógrafo de cubeta basculante (capítulo 6 de la parte I), que suma incrementos de precipitación de 0,2 mm. Para medir nieve u otros tipos de precipitación sólida pueden utilizarse pluviómetros con dispositivo de calefacción. Podrá estimarse la intensidad de precipitación registrando el número de sucesos a lo largo de un intervalo de tiempo fijo.

Precauciones: el pluviómetro deberá mantenerse nivelado, y tanto el embudo como las cubetas estarán limpios y exentos de obstrucciones. El pluviómetro de cubeta basculante no da resultados satisfactorios cuando se desea detectar el comienzo de una lluvia muy fina, o en períodos prolongados de condiciones meteorológicas de congelación. Los totales serán inferiores a los valores verdaderos, debido al efecto del viento en torno a la boca del medidor, a la evaporación de las cubetas entre descarga y descarga de lluvia, y a las pérdidas entre vaciado y vaciado de la cubeta en condiciones de lluvia intensa.

- b) *Presencia y tipo de precipitación:* existen sensores basados en medios electrónicos (en particular, rejillas caldeadas, mediciones por conductancia o capacitancia) para estimar el tipo de precipitación (llovizna, lluvia o nieve) recibida. Los sensores ópticos, que determinan las características de la precipitación (tamaño, densidad y movimiento de las partículas) mediante dispersión de un haz láser semiconductor, ofrecen una mejor discriminación con un costo mucho mayor.

Precauciones: estas funciones de detección son muy convenientes en todas las estaciones, pero los tipos de sensores existentes carecen de discriminación y de una reproducibilidad estable. Deberán adaptarse medidas (ciclos de calentamiento) para eliminar la nieve acumulada en la superficie y será necesario limpiar periódicamente los elementos sensibles y las superficies ópticas.

Únicamente deberían instalarse sensores que estén bien documentados y que puedan calibrarse con una referencia apropiada. Si algún sistema utilizara un algoritmo para obtener indirectamente una variable, el algoritmo también debería estar documentado.

10.3.1.5 **Radiación meteorológica**

- a) *Radiación global:* para medir la radiación solar (directa y difusa) recibida por un ángulo sólido de 2π estereorradianes sobre una superficie horizontal debería utilizarse un piranómetro con elementos detectores termoeléctricos o fotoeléctricos (capítulo 7 de la parte I). El sensor tendría que estar situado de modo que carezca de obstrucciones cercanas apreciables por encima del plano del instrumento y esté exento de sombras o de reflexiones

luminosas sobre el sensor. Aunque su ubicación debería ser tal que evitase la posibilidad de accidentes que dañasen el sensor, este tendría que ser accesible para su inspección y limpieza. La radiación global medida *in situ* reviste particular interés para el responsable viario pues expresa la cantidad de energía recibida por la carretera durante el día. La relación de la radiación entrante con la temperatura superficial y la inercia de la carretera dependerá de los materiales integrantes y de las dimensiones de la masa del pavimento.

Precauciones: se evitará la presencia de obstrucciones en el horizonte del sensor, la inclinación del sensor respecto del plano horizontal, la suciedad en su superficie, la presencia de nieve o escarcha que oscurezcan la cúpula de vidrio o la superficie detectora, y la condensación de agua en el interior de la cúpula de vidrio.

- b) *Radiación de onda larga:* podrá utilizarse un pirgeómetro que mida la radiación en infrarrojos mediante una termopila, filtrando el espectro visible. Una vez instalado con el sensor orientado hacia arriba y un horizonte exento de obstrucciones, determinará la radiación de onda larga recibida de la atmósfera, particularmente durante la noche, y ofrecerá una indicación de la nubosidad y, por consiguiente, del enfriamiento radiativo de la calzada. Para las predicciones meteorológicas viarias será adecuado un sensor sensible a un espectro comprendido entre 5 y 50 μm , con una sensibilidad máxima de 15 $\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$ y un tiempo de respuesta inferior a 5 segundos.

Precauciones: las mismas que para la radiación global.

10.3.1.6 **Visibilidad**

Podrán utilizarse transmisómetros y dispersómetros frontales (capítulo 9 de la parte I).

Precauciones: los responsables viarios están interesados en valores de visibilidad inferiores a 200 m (el umbral de peligro). Es importante mantener limpias las ventanas de los sensores y las lentes. Algunos sistemas compensarán hasta cierto punto la contaminación de la ventana. Durante el mantenimiento de rutina debería efectuarse una calibración apropiada.

10.3.1.7 **Temperatura de la superficie de la carretera**

Existen sensores activos basados en una resistencia de platino de 100 ohmios, provistos de transmisión digital en serie, que pueden ser incrustados en la superficie de la carretera. Para la instalación y cableado del sensor, y para su fijación a la superficie de la carretera, deberían seguirse las instrucciones del fabricante. El sensor estará situado a cierta distancia de la línea de rodadura de los neumáticos, ya que en caso contrario su superficie se manchará y las mediciones se verán afectadas por el calentamiento resultante del rozamiento. El sensor estará situado en el plano de la superficie de la carretera, donde esta no forme depresiones que pudieran acumular agua y afectar a las mediciones. Deberá comprobarse regularmente la posición correcta del sensor.

Precauciones: el retardo térmico (constante de tiempo) del sensor y el material donde va incrustado deberían ser compatibles con la composición de la superficie de la carretera. El sensor debería presentar un acabado superficial con bajo poder de absorción en el infrarrojo para minimizar los errores debidos a la radiación. Para longitudes de cable de conexión largas (más de 20 m), se recomienda una compensación de la resistencia del cable.

10.3.1.8 **Temperatura del pavimento**

Para determinar las temperaturas del pavimento a 5, 10 y 20 cm por debajo de la superficie de la carretera se introducirán los sensores de resistencia eléctrica, adecuadamente revestidos, a las profundidades correspondientes, utilizando el material adhesivo apropiado.

Precauciones: las mismas que para la temperatura en la superficie de la carretera.

10.3.1.9 **Estado de la superficie de la carretera y temperatura de congelación**

Este sensor estima el estado de la superficie de la carretera (sequedad, agua, escarcha o hielo) y la temperatura de congelación del agua residual de la superficie. El circuito de control del sensor calienta este antes de refrigerarlo mediante el efecto Peltier. La velocidad de enfriamiento es función del estado de la superficie y de la temperatura de congelación. Véase también el capítulo 6 de la parte I en lo referente a la presencia de hielo sobre el pavimento. Los datos generados por el sensor deberían proporcionar a los responsables viarios una indicación de la persistencia química de los agentes de deshielo en la ubicación específica del sensor, así como permitirles optimizar las operaciones de diseminación química.

Precauciones: el sensor no deberá quedar cubierto por material extraño, o aflorar sobre el nivel de la carretera. Deberá ser limpiado con regularidad. Es difícil conseguir una respuesta del sensor que sea representativa del estado verdadero de la superficie de la carretera, y ello es debido al pequeño tamaño de la muestra, a la ubicación del sensor sobre la superficie de la carretera y a la variabilidad de los métodos de incrustación. La medición dependerá de la densidad del tráfico, y en cualquier caso no será muy estable a lo largo del tiempo. Este tipo de sensor, del que existen pocos modelos alternativos, puede ser difícil de obtener. La teledetección de la temperatura superficial de la carretera mediante sensores térmicos en infrarrojos no suele ser un método práctico, debido a la interferencia de las salpicaduras de agua de los neumáticos de los vehículos. La estimación del riesgo de escarcha en la superficie de la carretera puede mejorar si también lo hace la medición de la temperatura y de la humedad y temperatura atmosféricas en la superficie de la carretera, y por encima de ella, es decir, mejorando la exposición del sensor y reduciendo los errores sistemáticos y aleatorios.

10.3.1.10 **Vigilancia mediante video**

La vigilancia mediante video es un componente de lo que ha venido a denominarse sistemas de transporte inteligentes. Se utiliza principalmente para detectar incidentes viarios, pero ofrece también indicaciones útiles del tiempo presente con fines de gestión del transporte. Los algoritmos de procesamiento de imágenes ayudarán a discriminar entre diferentes condiciones meteorológicas.

10.4 **SELECCIÓN DEL EQUIPO EN UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA VIARIA**

El capítulo 1 de la parte II ofrece información que es válida para las aplicaciones de las mediciones meteorológicas viarias. En las secciones siguientes se señalan los problemas experimentados por los responsables de las redes viarias, y particularmente la necesidad de una gran eficacia en aquellos casos en que la seguridad pública es primordial.

12.4.1 **El entorno viario**

Las estaciones meteorológicas viarias están sometidas a una presión considerable, debido a la proximidad de la calzada: vibraciones, interferencia del encendido de los vehículos, contaminación por los humos de escape, corrosión causada por la sal anticongelante, y curiosidad indeseada de los transeúntes. En cierto sentido, puede considerarse que la estación opera en un entorno industrial, con todo lo que ello implica en términos de robustez del diseño y de peligro para la integridad de los datos. Algunos problemas frecuentes son: ausencia de protección frente a la sobretensión en los circuitos de interfaz con los sensores; aislamiento eléctrico inadecuado entre los sensores, sus cables y el dispositivo de adquisición de datos; resistencia de contacto variable de los conectores, que ocasiona una deriva de la calibración; fallos de la medición; y una mayor necesidad de mantenimiento.

10.4.2 **Capacidad de procesamiento en estaciones distantes**

Al diseñar una EMA se tiende a incorporar una capacidad mayor de procesamiento de datos y un mayor volumen de almacenamiento en la unidad remota de adquisición de datos, con las finalidades siguientes: utilizar algoritmos de procesamiento que actúen sobre varias señales del sensor para generar salidas complejas; proporcionar un cierto grado de garantía de la calidad de los datos; ofrecer sistemas de comunicación bidireccional entre el centro de control y las unidades remotas con fines de diagnóstico, tanto del rendimiento del sensor como de la unidad; y proporcionar nuevos algoritmos de descarga y actualizaciones de los programas informáticos en las unidades remotas. Por otra parte, una red de estaciones distantes que no sean más complejas de lo necesario para la fiabilidad en la adquisición de datos, y una computadora central de control y adquisición de datos que utilice los algoritmos más complejos y que se encargue de la garantía de la calidad y de la traducción de las claves, así como una mayor capacidad de procesamiento orientado a las decisiones de gestión viaria, permitirán disponer de un sistema generalmente más fiable y menos costoso. Se alienta a los planificadores de redes de mediciones meteorológicas viarias a considerar soluciones de equipo flexibles y ampliables con opciones de programación potentes para el procesamiento de los datos de los sensores y el control de los sistemas.

El procesamiento de los datos en la estación podría abarcar: control del ciclo de medición (iniciación, frecuencia, hora y fecha); gestión compleja del sensor (encendido/apagado, régimen de muestreo); procesamiento de la señal del sensor (filtrado, conversión a unidades científicas, algoritmos); comprobaciones de la calidad de los datos; generación de alarmas (variables que rebasen los límites preestablecidos, fallo parcial del sistema, violación de la integridad de la estación); almacenamiento de datos (almacenamiento para períodos cortos y archivo); generación de mensajes de salida (estructura de los códigos o claves, protocolo de comunicaciones); gestión de las comunicaciones; y mantenimiento del recinto de la estación (suministro eléctrico, comprobación de los sensores, comunicaciones).

10.4.3 **Configuración de la red y opciones con respecto al equipo**

La selección del equipo de la estación, de sus comunicaciones y del control de la red (es decir, la infraestructura de la red) debería reflejar las demandas específicas de la meteorología viaria y los procesos decisorios de los responsables de la red viaria. Las decisiones resultarán afectadas de hecho por la relación existente entre la autoridad de la red viaria y el SMHN local. Así, el organismo de la red viaria podría contratar los servicios de predicción meteorológica del SMHN y el suministro de determinados datos viarios, que los responsables de la red utilizarán para, aplicando sus criterios físicos, adoptar decisiones operativas. En tales casos, sería lógico que las estaciones de la red viaria constituyeran una extensión de la red de EMA del SMHN y que utilizaran unos equipos, comunicaciones y servicios de mantenimiento comunes en la estación, cuidando especialmente de la fiabilidad de la red, e incorporando los sensores especiales, los algoritmos y los programas informáticos necesarios para las tareas meteorológicas viarias. Sin embargo, si tal integración no resultara factible, el organismo viario podría adoptar algunas disposiciones comunes con los sistemas del SMHN para beneficiarse de la experiencia operativa y para el suministro de elementos de equipo y piezas de recambio.

Cuando sea necesaria una red enteramente nueva o diferente, se recomienda adoptar las directrices siguientes para seleccionar el equipo y las comunicaciones destinados a la adquisición de datos. En lugar de crear nuevos equipos y programas informáticos para las mediciones meteorológicas viarias, sería aconsejable utilizar sistemas existentes ya comprobados y fabricados por empresas y fuentes de confianza, introduciendo únicamente las modificaciones necesarias para su aplicación a la red viaria, y beneficiándose de la experiencia y del asesoramiento de otros administradores de la red. El equipo y sus programas informáticos deberían ser modulares, a fin de permitir la incorporación de futuros sensores y la modificación de las especificaciones del sensor. Para facilitar la ampliación de la red al cabo de varios años, sería muy útil que el equipo presentara un diseño normalizado basado en un proceso de fabricación consistente, de modo que las versiones ulteriores sean previsiblemente compatibles con las generaciones precedentes.

10.4.4 **Diseño orientado a la fiabilidad**

Los módulos de procesamiento de datos deberían reflejar una arquitectura industrial estándar, y utilizar unos sistemas operativos normalizados y robustos, con un proceso de mejoras adecuadamente gestionado. Las aplicaciones informáticas deberían programarse en un lenguaje estándar y estar bien documentadas. Para conseguir la fiabilidad deseada, podrán seleccionarse unos componentes y módulos industrializados especiales. Una alternativa más barata consistiría en utilizar diseños comerciales habituales con sistemas redundantes en paralelo o de reserva que garanticen la fiabilidad del sistema. Requerirá particular atención el diseño de la unidad remota de suministro eléctrico. Podría recomendarse un suministro de energía de continuidad asegurada, aunque teniendo presente que los sistemas de comunicaciones dependerán también del suministro eléctrico local.

Sea cual fuere el diseño del sistema, el alojamiento de los componentes electrónicos en una carcasa robusta, resistente a la corrosión, segura, de temperatura uniforme y exenta de polvo y humedad mejorará mucho su fiabilidad. Los conectores que transmiten las señales del sensor deberían ser de alta calidad industrial o militar y estarán adecuadamente protegidos de las tensiones del cable, de la penetración de agua y de la corrosión. El cableado del sensor tendría que estar provisto de una protección conectada a tierra y de un revestimiento aislante robusto e impermeable, y alojado en un conducto.

En el sistema de adquisición de datos habría que procurar evitar el efecto de ruido eléctrico o las interferencias por efecto de los cables del sensor, del suministro eléctrico o de las líneas de comunicación. Esas señales eléctricas indeseadas podrían dar lugar a errores en la señal del sensor y corromper los datos, causando fallos electrónicos, particularmente en los circuitos sensibles de la interfaz. Será necesario prestar atención a: el diseño del aislamiento del sensor y la línea de comunicaciones así como de la protección frente a sobretensiones, y en particular una protección adecuada frente a la electricidad atmosférica; una toma de tierra adecuada para los sensores, los suministros eléctricos, el módem de comunicaciones y las carcasas del equipo; y un apantallamiento con toma de tierra para todas las piezas de la cadena de medición, evitando los bucles de corriente a tierra, que causarán errores de medición.

La realización de unas prácticas de instalación y mantenimiento adecuadas y normalizadas contribuirá en gran medida a la fiabilidad del sistema, relacionada también con el “tiempo medio de reparación”, que incluye el tiempo de aviso y desplazamiento del personal de mantenimiento para sustituir los elementos de equipo, tanto de la unidad como de los módulos.

10.5 **CIFRADO DE MENSAJES**

10.5.1 **Funciones de cifrado**

El mensaje transmitido por la estación meteorológica viaria remota contendrá un identificador de estación, la fecha y hora del mensaje, los datos del canal del sensor, lo que incluye la identificación del canal, y cierto número de datos de “mantenimiento interno”, que podrían consistir en información sobre la seguridad de la estación, el suministro eléctrico, la calibración y otras comprobaciones de la calidad de los datos. Este mensaje estará incorporado en la envolvente de la clave correspondiente al canal de comunicaciones, y contendrá un encabezamiento de dirección, así como información de control y caracteres de comprobación de redundancia para la detección de errores. La parte del mensaje correspondiente a los datos meteorológicos viarios podrá estar cifrada utilizando un método eficaz e inequívoco que permita a la computadora central de control y adquisición de datos descifrar y procesar estos antes de generar una información orientativa que sea comprensible para los responsables de la red con miras a la toma de decisiones.

10.5.2 **Cifrado normalizado de la OMM**

Los diseñadores de las redes de mediciones meteorológicas viarias deberían considerar también la utilidad de las claves estándar de la OMM para el cifrado de mensajes (véase OMM, 2011b), que permiten a otros usuarios, como los SMHN, recibir los datos y utilizarlos en otras aplicaciones meteorológicas. La codificación de los mensajes podrá efectuarse en la EMA remota, utilizando por consiguiente programas informáticos y sistemas de procesamiento de la estación, o, más probablemente, en la computadora central de control y adquisición de datos, una vez finalizadas las operaciones de garantía de la calidad.

10.6 **COMPUTADORA CENTRAL DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS**

Se han indicado ya las funciones de la computadora o computadoras centrales. Tales funciones consisten en gestionar la red controlando las comunicaciones (véase la sección siguiente), recibir informes (mensajes meteorológicos viarios, mensajes de mantenimiento interno de la EMA, e información sobre la calidad) y procesar los datos de las mediciones viarias para proporcionar a los responsables de la red la información práctica y las herramientas de decisión que necesiten. La arquitectura de la red podrá estar diseñada de modo que permita a la computadora central actuar como servidor de Intranet o servidor web para facilitar el acceso a esa información de los responsables regionales y de otros usuarios de los datos meteorológicos.

Es probable que se destine una computadora distinta específicamente para la gestión de la base de datos climáticos de la red viaria y para la elaboración y distribución de análisis y resúmenes estadísticos. En una red sofisticada, la computadora central gestionará ciertas operaciones de mantenimiento y calibración, modificará los modos de funcionamiento de la EMA y actualizará los programas informáticos de la misma.

10.7 **CONSIDERACIONES SOBRE LAS COMUNICACIONES**

Es esencial disponer de un servicio de telecomunicaciones fiable que permita a la red de estaciones realizar una gestión eficaz, proporcionando puntualmente al mismo tiempo los datos necesarios. Dado que los gastos de comunicación constituirán una gran parte de los costos de funcionamiento anuales, será importante analizar las opciones de comunicación existentes, de modo que se optimice el costo por mensaje a tenor del servicio deseado. Un examen detallado de las opciones de telecomunicación existentes para la recopilación y gestión de los datos de las EMA viarias excede del alcance del presente capítulo (véanse las directrices de transmisión de datos en el capítulo 1 de la parte II). La solución adoptada dependerá de los objetivos de gestión de la red meteorológica viaria y de los servicios ofrecidos por los proveedores de telecomunicaciones del país, así como de las correspondientes tarifas.

10.8 **PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DEL SENSOR Y GENERACIÓN DE ALARMAS**

10.8.1 **Algoritmos de procesamiento de la señal**

Los datos en bruto de la señal de los sensores deberán ser procesados o filtrados para obtener unos valores medios que sean representativos. Estas operaciones se efectúan en algunos sensores activos, en la interfaz del sensor con la unidad de adquisición de datos, o durante el procesamiento más elaborado de los datos de la estación. En el del capítulo 1 de la parte I (anexo 1.E) se encontrarán las especificaciones necesarias para promediar las señales de salida de los sensores.

Los algoritmos aplicados a las señales de salida (o a los grupos de señales de salida) de los sensores, tanto en la estación distante como en la computadora central, deberían provenir de

fuentes acreditadas, estar rigurosamente comprobados y, a ser posible, haber sido publicados y ser accesibles. Todo algoritmo interno adoptado por la dirección de la red viaria debería estar claramente definido y registrado en los metadatos de la estación o en los manuales de la red.

10.8.2 Generación de alarmas

Cuando los valores exceden de unos límites preestablecidos, las señales de salida de los sensores pueden generar indicaciones de alarma en forma de mensajes de la EMA. Las alarmas y pruebas de límite seleccionados dependerán de las prácticas nacionales o regionales. A continuación se indican algunos ejemplos de alarmas en EMA viarias. Obsérvese la utilización de las combinaciones lógicas “Y” y “O” en los algoritmos.

Ejemplos de alarmas:

- Alarma 1: $t(\text{aire})$ O $t(\text{superficie de la carretera}) \geq 3 \text{ } ^\circ\text{C}$
Y
 $t(\text{extrapolada a la superficie de la carretera})^a \leq 1 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Alarma 2: $t(\text{aire}) \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Alarma 3: Primera condición
 $t(\text{superficie de la carretera}) \leq 1 \text{ } ^\circ\text{C}$
O $t(\text{extrapolada de la superficie de la carretera}) \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
O $t(\text{pavimento a } -5 \text{ cm}) \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
O $t(\text{pavimento a } -10 \text{ cm}) \leq -1 \text{ } ^\circ\text{C}$
O $t(\text{pavimento a } -20 \text{ cm}) \leq -2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Y
Segunda condición
La calzada no está seca
O como mínimo una precipitación contabilizada en la última hora
O humedad relativa $\geq 95\%$
O $t(\text{superficie de la carretera}) - t(\text{punto de rocío}) \leq 1 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Alarma 4: $t(\text{superficie de la carretera}) \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Y
estado detectado: escarcha o hielo oscuro
- Alarma 5: Primera condición
Precipitación detectada = nieve o granizo
Y
Segunda condición
 $t(\text{aire}) \leq 2 \text{ } ^\circ\text{C}$
O $t(\text{superficie de la carretera}) \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Alarma 6: Promedio de viento $\geq 11 \text{ m s}^{-1}$
Y
Dirección del viento referida al acimut de la carretera,
entre 45° y 135° O entre 225° y 315°
- Alarma 7: Visibilidad $\leq 200 \text{ m}$

- a La temperatura extrapolada de la superficie de la carretera se calcula mediante un algoritmo que incorpora las últimas mediciones y crea una ecuación cuadrática. Su valor puede utilizarse para calcular estimaciones de la temperatura durante las 3 horas siguientes.

Será posible incorporar otras alarmas si se detectaran fallos en los sensores, en el formato de los mensajes, en el suministro eléctrico o en las comunicaciones.

10.9 CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS MEDICIONES

Una adecuada toma de decisiones de los responsables viarios dependerá de la obtención de mediciones fiables, de modo que cuando los sensores, su cableado o interfaces en la EMA fallen, el elemento defectuoso sea detectado y reparado sin un retraso indebido. Para un responsable

viario es muy difícil detectar mediciones erróneas. Deberían consultarse a este respecto las directrices sobre control de la calidad del capítulo 1 de la parte II y del capítulo 1 de la parte IV. Los programas informáticos del sistema de la EMA pueden detectar fallos importantes del sensor y deberían generar seguidamente una situación de alarma.

10.9.1 Comprobación frente a valores espurios

Los valores de medición no comprendidos en el rango de funcionamiento esperado del sensor pueden descartarse estableciendo unos límites para cada variable. Por ejemplo, la dirección del viento puede limitarse a entre 0° y 359° . Los valores nulos debidos al mal funcionamiento, las derivas rápidas o los saltos escalonados en la respuesta del sensor son mediciones inválidas que deben ser descartadas por el programa informático que analiza estadísticamente las mediciones a lo largo del tiempo, o bien en la EMA si esta dispone de capacidad de procesamiento suficiente, o bien en la computadora central de adquisición de datos. En algunos de los ejemplos siguientes, se compara la desviación típica de los n últimos valores con un umbral parametrizado.

Ejemplos de algoritmos de comprobación (solo para mediciones meteorológicas viarias):

- a) *Para todas las temperaturas:* los datos serán aceptables solo si la desviación típica de los 30 últimos valores es $\geq 0,2$ °C.
- b) *Para la velocidad del viento:* los datos serán aceptables solo si la desviación típica de los 20 últimos valores es ≥ 1 km h⁻¹.
- c) *Para la dirección del viento:* los datos serán aceptables solo si la desviación típica de los 30 últimos valores es $\geq 10^\circ$.
- d) *Para la precipitación líquida:* se comprobará la coherencia de la cantidad obtenida con la del día anterior.
- e) *Para la precipitación de nieve:* se comprobarán los datos cuando $t(\text{aire})$ es > 4 °C.
- f) *Para la radiación atmosférica de onda larga (RA) (relacionada con la nubosidad):* se rechazarán los datos si la RA es > 130 W m⁻², si la humedad relativa es $> 97\%$ y la RA es > 10 W m⁻², y si la humedad relativa es $\geq 90\%$ y la RA es > 10 W m⁻², durante 4 horas sucesivas.

10.10 MANTENIMIENTO DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS VIARIAS

10.10.1 El entorno viario

Con respecto a la inspección, el mantenimiento y la calibración, deberían consultarse el capítulo 1 de la parte I y el capítulo 1 de la parte II. Los capítulos de la parte I contienen información sobre el mantenimiento y la calibración de determinados sensores. Obsérvese, sin embargo, que las EMA viarias están situadas en un entorno con problemas peculiares: vulnerabilidad de la estación y de sus sensores a los daños accidentales o intencionados; exposición a altos niveles de polución de los humos de escape de los vehículos; interferencia eléctrica del encendido de los vehículos y de las líneas eléctricas de alta tensión cercanas; corrosión por salpicaduras de sal; y vibración (que afecta a las conexiones entre sensores y cables).

10.10.2 Planes de mantenimiento y documentación

Las decisiones operativas que afectan a la seguridad viaria pueden depender crucialmente de la fiabilidad de los datos de las EMA, por lo que hay unos requisitos estrictos con respecto al mantenimiento de determinadas estaciones en ciertas fechas del año. Estas consideraciones

se describen en el plan de gestión del mantenimiento de la red, que debería incluir el mantenimiento preventivo de rutina con arreglo a unos plazos, y una respuesta eficaz a las averías conocidas.

La administración de la red viaria debería disponer de un manual de mantenimiento propio para sus estaciones meteorológicas, basado en las recomendaciones del fabricante, en la información obtenida de la presente Guía y en su propia experiencia. Un buen manual contendrá listas de comprobación como ayuda durante la inspección y para las tareas de mantenimiento. La administración podría decidir contratar la labor de inspección y mantenimiento con el SMHN local, quien debería poseer experiencia en ese tipo de instrumentación.

10.10.3 **Inspecciones y programas de trabajo**

Dos veces al año, cada estación debería someterse a un programa de mantenimiento completo consistente en: mantener el emplazamiento (cortar la hierba y la vegetación que pudiera afectar a la exposición de los sensores); comprobar los recintos por si pudiera penetrar agua, y sustituir los desecantes; tratar y pintar las carcasas, las garitas y los soportes desgastados y corroídos; comprobar la integridad de cables y conectores; limpiar y nivelar los sensores (teniendo presentes las precauciones anteriormente indicadas); y calibrar o sustituir los sensores y la cadena de medición de la EMA.

Los responsables viarios deberían mantener un programa de inspección física que permita comprobar la integridad y el funcionamiento adecuados de sus estaciones una vez al mes en invierno, y una vez cada dos meses en verano. Cuando se efectúen trabajos en la superficie de la carretera, deberán instalarse las señales de aviso reglamentarias, y será preciso utilizar la vestimenta de seguridad aprobada.

10.11 **FORMACIÓN**

Para gestionar, operar y mantener una red de estaciones meteorológicas viarias con el fin de obtener un flujo continuo de datos fiables y de interpretarlos de manera que aporten información plenamente satisfactoria, será necesario contar con personal formado específicamente en las disciplinas apropiadas. Algunas de ellas son: el medio viario y la adopción de decisiones operativas en el ámbito de la seguridad y la eficacia del tráfico; adquisición, telecomunicación y computación de datos a distancia; selección, aplicación y mantenimiento de sensores meteorológicos y del procesamiento de sus señales; e interpretación de datos meteorológicos y de otro tipo con fines prácticos. La administración responsable de la red viaria debería colaborar con otros organismos en la medida necesaria para cerciorarse de que se mantiene la combinación óptima de conocimientos y formación necesarios para un funcionamiento satisfactorio de la red de mediciones meteorológicas viarias.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Asociación Mundial de la Carretera, 2002: *Proceedings of the Eleventh PIARC International Winter Road Congress* (Sapporo, Japón).
- Organización Meteorológica Mundial, 1997: *Road Meteorological Observations* (R.E.W. Pettifer and J. Terpstra). Instruments and Observing Methods Report No. 61 (WMO/TD-No. 842). Ginebra.
- , 2003: *Road Managers and Meteorologists over Road Meteorological Observations: The Result of Questionnaires* (J.M. Terpstra and T. Ledent). Instruments and Observing Methods Report No. 77 (WMO/TD-No. 1159). Ginebra.
- , 2010: *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM-N° 544), volumen I. Ginebra.
- , 2011a: *Reglamento Técnico* (OMM-N° 49), Volumen I. Ginebra.
- , 2011b: *Manual de claves* (OMM-N° 306), volúmenes I.1 y I.2. Ginebra.
-