

## ÍNDICE DEL CAPÍTULO

	<i>Página</i>
CAPÍTULO 2. MEDICIONES Y OBSERVACIONES EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS AERONÁUTICAS. ....	607
2.1 Generalidades .....	607
2.1.1 Definiciones .....	607
2.1.2 Unidades .....	607
2.1.3 Requisitos .....	607
2.1.4 Métodos .....	609
2.2 Viento en superficie .....	609
2.2.1 Generalidades .....	609
2.2.2 Instrumentos y exposición .....	610
2.3 Visibilidad. ....	611
2.3.1 Visibilidad con fines aeronáuticos .....	612
2.3.2 Visibilidad reinante .....	613
2.4 Alcance visual en la pista .....	613
2.4.1 Generalidades .....	613
2.4.2 Métodos de observación .....	613
2.4.2.1 Medición efectuada por un observador. ....	613
2.4.2.2 Medición mediante sistemas de video .....	614
2.4.2.3 Medición mediante transmisómetro .....	614
2.4.2.4 Medición mediante medidores de la dispersión frontal o de retrodispersión .....	615
2.4.3 Instrumentos y exposición .....	615
2.4.3.1 Transmisómetros .....	616
2.4.3.2 Medidores de dispersión frontal .....	617
2.4.3.3 Sensor de luminancia de fondo. ....	617
2.4.4 Comprobaciones de los instrumentos .....	617
2.4.5 Visualización de los datos .....	618
2.4.6 Exactitud y fiabilidad de las mediciones del alcance visual en pista. ....	618
2.5 Tiempo presente .....	619
2.6 Nubes .....	619
2.6.1 Generalidades .....	619
2.6.2 Métodos de observación .....	620
2.6.3 Exactitud de las mediciones de la altura de la base de las nubes .....	621
2.7 Temperatura del aire. ....	621
2.8 Punto de rocío .....	621
2.9 Presión atmosférica. ....	622
2.9.1 Generalidades .....	622
2.9.2 Instrumentos y exposición .....	623
2.9.3 Exactitud y correcciones en las mediciones de presión .....	624
2.10 Información adicional importante en los aeródromos .....	624
2.10.1 Generalidades .....	624
2.10.2 Alcance visual oblicuo. ....	624
2.10.3 Cizalladura del viento .....	625
2.10.4 Inversiones de temperatura acusadas. ....	625
2.11 Sistemas automáticos de observación meteorológica .....	625
2.12 Radar .....	626
2.13 Sensor de detección de hielo .....	627
2.14 Detección de rayos .....	627
2.15 Otras observaciones pertinentes. ....	627
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA .....	629

## **CAPÍTULO 2. MEDICIONES Y OBSERVACIONES EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS AERONÁUTICAS**

### **2.1 GENERALIDADES**

#### **2.1.1 Definiciones**

Este capítulo trata de los requisitos de las observaciones en estaciones meteorológicas aeronáuticas y de los instrumentos y métodos que se utilizan. En tanto que con las observaciones sinópticas se mide en un lugar un valor representativo de una zona bastante extensa, las observaciones meteorológicas con fines aeronáuticos se efectúan generalmente en diversos puntos del aeródromo y de la zona que lo rodea, a intervalos más frecuentes, con el fin de que sean representativas de zonas bastante limitadas, como las de aproximación, aterrizaje y despegue.

La mayoría de las mediciones meteorológicas que han de realizarse son esencialmente las mismas que para otras aplicaciones, y se describen en otros capítulos de esta Guía. Las excepciones son: el alcance visual en la pista, el alcance visual oblicuo, y la cizalladura del viento en niveles bajos, que son específicas de esta aplicación.

#### **2.1.2 Unidades**

Las unidades utilizadas para medir y comunicar las magnitudes meteorológicas con fines aeronáuticos son las mismas que en otras aplicaciones, con las excepciones siguientes:

- a) la velocidad del viento en superficie puede medirse y comunicarse en metros por segundo o nudos<sup>1</sup>, y la dirección del viento<sup>2</sup> en grados sexagesimales en sentido dextrorso a partir del norte geográfico<sup>3</sup> (véase la sección 2.2.1);
- b) la altura de la base de las nubes puede medirse en metros o en pies.

Las unidades seleccionadas dependerán de la práctica nacional, con arreglo a las necesidades de los órganos reguladores de las operaciones aeronáuticas.

#### **2.1.3 Requisitos**

Los requisitos formales para las observaciones aeronáuticas se especifican en el Volumen II del *Reglamento Técnico* (OMM, 2013). En OMM (2014) figuran orientaciones detalladas sobre procedimientos y prácticas. En OMM (2003) se ofrece una guía útil sobre la observación y vigilancia de las condiciones meteorológicas. Debería prestarse especial atención a las estaciones meteorológicas aeronáuticas instaladas en estructuras alejadas de la costa como apoyo a las operaciones de helicópteros (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 1996).

---

<sup>1</sup> La unidad utilizada para la velocidad del viento será la que decida cada país. Sin embargo, la unidad primaria prescrita en el Volumen II del *Reglamento Técnico* (OMM, 2013) para la velocidad del viento será el metro por segundo, permitiéndose el nudo como unidad alternativa al Sistema Internacional (puede consultarse información adicional en OACI, 2010).

<sup>2</sup> Dirección desde la que sopla el viento en superficie.

<sup>3</sup> Dado que la dirección del viento comunicada a las aeronaves con fines de aterrizaje o de despegue suele convertirse a grados respecto al norte magnético, la visualización de la dirección en las dependencias de los servicios de tránsito aéreo suele presentarse también respecto al norte magnético.

Los requisitos sobre incertidumbre, resolución y rango, y los resultados que pueden lograrse actualmente en las mediciones meteorológicas figuran en el capítulo 1 de la parte I y el grado exactitud operativamente conveniente de algunas mediciones se recoge en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, adjunto A.

A pesar del excelente rendimiento de los aviones modernos, los factores meteorológicos siguen influyendo considerablemente en sus operaciones. La fiabilidad y la representatividad de las observaciones en los aeródromos son muy importantes para realizar con toda seguridad los aterrizajes y los despegues. La observación del viento determinará la pista que se utilizará y los pesos máximos para el despegue y el aterrizaje. La temperatura también es importante e influye en el rendimiento de los motores. Por ello, podría ser necesario reducir la carga transportada o necesitarse una pista más larga para el despegue, particularmente en aeropuertos de países cálidos.

Es preciso efectuar observaciones rutinarias en las estaciones meteorológicas aeronáuticas, en las horas y con la frecuencia determinadas por el país Miembro, para responder a las necesidades de la navegación aérea nacional e internacional, teniendo debidamente en cuenta los acuerdos regionales de navegación aérea. Las observaciones especiales y las no rutinarias se deben atener a los mismos principios. Las observaciones rutinarias en los aeródromos deberían realizarse a intervalos de una hora, o de media hora, durante todo el día o parte de él, o cuando lo requieran las operaciones aeronáuticas, así como observaciones especiales cuando se produzcan cambios determinados entre observaciones de rutina respecto a viento en superficie, visibilidad, alcance visual en la pista, tiempo presente y/o nubosidad. Tales cambios se recogen en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafo 2.3.2. Estas observaciones, en forma de informes cifrados de los tipos METAR o SPECI, se intercambian a nivel internacional entre estaciones meteorológicas aeronáuticas. Otros tipos de informes están destinados solo a las operaciones aeronáuticas, y deberían prepararse conforme definan de común acuerdo las autoridades meteorológicas y aeroportuarias.

Atendiendo a la importancia de las observaciones meteorológicas para la seguridad de la aviación, será esencial que los observadores estén adecuadamente formados y cuenten con una buena capacidad visual. La formación de los observadores debería incluir cursos básicos y cursos periódicos de actualización (véase más información en el *Reglamento Técnico*, Volumen I, parte II, capítulo 4, y en OMM, 2012).

El emplazamiento, la instalación y la naturaleza de los sistemas meteorológicos se detallan en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, capítulo 4, y las especificaciones técnicas y los distintos criterios en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3. Las especificaciones aparecen resumidas en los párrafos siguientes.

Es necesario seleccionar cuidadosamente el emplazamiento apropiado para efectuar observaciones o para instalar instrumentos en estaciones meteorológicas aeronáuticas, con el fin de que las mediciones obtenidas sean representativas de las condiciones predominantes en el aeródromo o en sus inmediaciones. En algunos casos en que se requiere información acerca de una zona extensa tal vez haya que instalar determinados instrumentos en varios emplazamientos para tener la seguridad de que los valores comunicados sean representativos de toda la zona. Así, por ejemplo, en las pistas largas o en los aeródromos de gran tamaño con varias pistas, donde la distancia entre las zonas de aproximación, aterrizaje y despegue puede ser de 2 a 5 km, los valores de ciertos parámetros, como el viento, la altura de la base de las nubes, el alcance visual en la pista, etc., medidos en un extremo de la pista podrían ser muy diferentes de las condiciones existentes en otro lugar de esa misma pista, o en otras zonas del conjunto de pistas destinado a las operaciones aeronáuticas.

En todos los aeródromos, los emplazamientos deberían seleccionarse de modo que los valores medidos de los distintos parámetros meteorológicos sean representativos del propio aeródromo y/o de la zona correspondiente a una pista en particular o a un conjunto de pistas. En los aeródromos en que no se practiquen operaciones de aproximación y aterrizaje de precisión (en pistas para aproximaciones sin instrumentos, o que no son de precisión), este criterio de representatividad será menos restrictivo que en las pistas para aproximaciones de precisión (es decir, en pistas de las categorías I, II o III (véanse OMM, 2014, y OACI, 2011)).

Al seleccionar la ubicación de los instrumentos en un aeródromo, será particularmente importante no solo que el emplazamiento y la exposición de los instrumentos cumplan los requisitos operativos, sino que los instrumentos o su utilización no representen ningún riesgo para la navegación aérea; y que la presencia o movimiento de aeronaves en el aeródromo (maniobras de rodaje, recorridos de despegue, aterrizaje, estacionamiento, etc.) y las diversas instalaciones aeroportuarias no influyan indebidamente en los valores medidos.

Son igualmente importantes los tipos de instrumentos que se utilizarán, así como sus características y los métodos empleados para la presentación y comunicación de los valores medidos de cada parámetro. La exposición, la utilización y el mantenimiento de los instrumentos meteorológicos deberían realizarse conforme a las prácticas, procedimientos y especificaciones señalados en la presente Guía. Las estaciones meteorológicas aeronáuticas se inspeccionarán a intervalos lo suficientemente frecuentes para asegurarse de que se mantiene un alto nivel de calidad de las observaciones, de que los instrumentos y todos sus indicadores funcionan correctamente, y de que la exposición de los instrumentos no ha variado considerablemente (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, párrafo 4.1.4).

Los instrumentos deberían diseñarse de manera que puedan transmitir a distancia, simultáneamente en las dependencias del servicio de tránsito aéreo y en las estaciones y oficinas meteorológicas, datos sobre los valores apropiados de viento en superficie, temperatura, punto de rocío, presión atmosférica, tiempo presente, visibilidad, alcance visual en la pista (si las pistas están equipadas para despegar y aterrizar con niebla) y altura de la base de las nubes, que fueran representativos de las condiciones predominantes en las zonas de aterrizaje y despegue. Los sistemas instrumentales automáticos de medición de la altura de la base de las nubes y el alcance visual en pista son particularmente útiles en las estaciones aeronáuticas.

En los aeródromos en que se efectúen aproximaciones de precisión y, en particular, operaciones de las categorías II, III A o III B, y/o en aeródromos con grandes volúmenes de tráfico, será preferible utilizar sistemas automáticos integrados para la adquisición, el procesamiento y la difusión y visualización en tiempo real de los parámetros meteorológicos que afecten a las operaciones de aterrizaje y despegue. Estos sistemas deberían permitir la introducción manual de datos meteorológicos que no puedan ser medidos por medios automáticos (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, párrafo 4.1.7). Los requisitos con respecto a los sistemas automáticos de observación meteorológica se especifican en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3.

#### 2.1.4 **Métodos**

Los métodos para efectuar mediciones meteorológicas en los aeródromos son esencialmente los mismos que para otras aplicaciones meteorológicas y se describen en otros capítulos de esta Guía. En el presente capítulo se describen algunos de los requisitos sobre emplazamiento y muestreo, junto con varios algoritmos propios de las aplicaciones aeronáuticas.

## 2.2 **VIENTO EN SUPERFICIE**

### 2.2.1 **Generalidades**

En la aviación, las mediciones del flujo de aire y de la cizalladura del viento en niveles bajos en las proximidades de las zonas de aterrizaje y despegue revisten gran interés. Las reglamentaciones al respecto se describen en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 4.1, y con detalles en la parte II, apéndice 3. En los aeródromos internacionales, las dependencias de los servicios de tránsito aéreo (ATS), las torres de control y las oficinas de control de aproximación están equipados generalmente con indicadores de velocidad y dirección del viento, y los controladores del tránsito aéreo facilitan a las tripulaciones de los aviones que aterrizan y despegan la información suministrada por esos indicadores. Para garantizar la debida coherencia, los indicadores de las dependencias ATS y de la estación meteorológica deberían estar conectados a los mismos sensores.

Se miden la dirección y la velocidad medias del viento, así como las ráfagas y las variaciones importantes especificadas de la dirección y la velocidad. Los informes sobre el viento difundidos fuera del aeródromo (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 4.1.5) tienen el mismo contenido que los de las observaciones sinópticas (medias de 10 minutos, y dirección respecto del norte geográfico)<sup>4</sup>, y los valores transmitidos deberían ser representativos de todas las pistas. En los informes locales de rutina y especiales y en los indicadores de viento de las dependencias ATS (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafo 4.1.3.1), el período de promediado será de 2 minutos tanto para la velocidad como para la dirección, y los valores deberían ser representativos de la pista utilizada. Aunque la dirección del viento debería comunicarse con respecto al norte geográfico, expresada en “grados verdaderos” (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 4.6.1, y parte II, apéndice 3, párrafo 4.1.5.1), todavía es práctica habitual que el personal de los ATS informe a la aeronave tomando como referencia el norte magnético (“grados magnéticos”). Las ráfagas deberían determinarse a partir de medias móviles en períodos de 3 segundos. Deberían consultarse el capítulo 5 de la parte I y el capítulo 2 de la parte IV de esta Guía en relación con las precauciones que deben tomarse para muestrear la señal de salida del anemómetro, con el fin de medir la media, las ráfagas y la variabilidad de la velocidad y dirección del viento. El promediado vectorial es preferible al escalar.

Las mediciones del viento necesarias en los aeródromos, como valores medios, valores extremos, etc., deberían determinarse y presentarse preferiblemente de manera automática, en particular cuando se utilicen varios sensores en pistas diferentes. Cuando sea necesario utilizar varios sensores, los indicadores deberán estar claramente señalados para identificar la pista y la sección de pista controladas por cada sensor.

## 2.2.2 Instrumentos y exposición

Los instrumentos de medición del viento utilizados en las estaciones aeronáuticas son generalmente del mismo tipo que los descritos en el capítulo 5 de la parte I. Los coeficientes de retardo de los sensores de dirección y velocidad deberían cumplir los requisitos especificados en ese capítulo.

Los sensores de dirección y velocidad deberían estar situados a unos 10 m por encima de la pista y proporcionar mediciones representativas de las condiciones existentes en las zonas medias de despegue y aterrizaje de la pista.

Para que los sensores de viento instalados en aeródromos sean representativos de las condiciones en las zonas de despegue o aterrizaje, es preciso evitar las perturbaciones o turbulencias debidas a la proximidad y al paso de las propias aeronaves (indicaciones de falsas ráfagas causadas por los aterrizajes y despegues). Por razones análogas, no deberán instalarse demasiado cerca de edificios, colinas, ni lugares sometidos a condiciones microclimáticas (brisa marina, tormentas frecuentes, etc.). La exposición típica preferida para los instrumentos de viento es el terreno despejado, definido como un área en que la distancia entre el anemómetro y cualquier obstáculo es como mínimo 10 veces la altura del obstáculo.

Se recomienda disponer de equipo auxiliar o de reserva para evitar cualquier interrupción en la transmisión de datos a las dependencias ATS en el caso de que falle el instrumento en servicio. Donde las condiciones locales así lo justifiquen, deberían instalarse uno o más grupos de sensores para cada pista en uso. En tales casos, se recomienda utilizar técnicas digitales, ya que estas permiten transmitir datos de un mayor número de sensores a través de uno o dos cables de pares telefónicos, y utilizar indicadores digitales para visualizar las mediciones de viento mediante ledes de diferentes colores. Los visualizadores deberían mostrar la velocidad y dirección del viento “instantáneas” (con una constante de distancia de entre 2 y 5 m), la velocidad y dirección medias del viento durante 2 o 10 minutos, y las velocidades del viento

<sup>4</sup> Generalmente denominado norte “verdadero”, y expresado en “grados verdaderos”. No debería confundirse la palabra “verdadero”, referida al “norte verdadero” o a los “grados verdaderos”, con la de la expresión “viento verdadero” (definido en OMM, 1992a). El “viento verdadero” está representado por el vector de viento respecto de la superficie de la Tierra. Para los objetos en movimiento, como las aeronaves, es el vector suma del viento aparente (es decir, el vector de viento respecto del objeto en movimiento) y la velocidad del objeto.

mínima y máxima. En ocasiones es posible seleccionar lecturas de viento correspondientes a diferentes puntos de medición utilizando el mismo indicador (con lo que se reduce el número de indicadores necesarios).

Al instalar los sensores de viento en el aeródromo se debe prestar especial atención para protegerlos de las descargas atmosféricas durante las tormentas (utilizando pararrayos, sistemas de puesta a tierra del mástil y cables apantallados o de fibra óptica); también debería protegerse el equipo electrónico de procesamiento de datos.

Para mantener el grado de exactitud requerido, los instrumentos de medición del viento deberían mantenerse en buen estado, y comprobarse y recalibrarse con regularidad. Hay que verificar de vez en cuando el funcionamiento de los sensores en un túnel de viento, especialmente en el caso de sistemas analógicos. Cuando se emplean técnicas digitales con prueba automática de ciertas funciones, se requieren menos comprobaciones, pero no se eliminan los errores debidos al rozamiento. Deberán efectuarse comprobaciones periódicas que permitan detectar componentes defectuosos y el deterioro de ciertas partes de los sensores.

Las fuentes de error incluyen el rozamiento, los emplazamientos deficientes y los problemas de transmisión o del equipo de visualización. Pueden producirse también errores debidos al diseño de los propios sensores, y se manifiestan sobre todo en casos de vientos flojos (umbral de rotación demasiado elevado, exceso de inercia) o vientos variables (sobrestimando o subestimando la velocidad del viento, o indicando una dirección incorrecta debido a un amortiguamiento excesivo o inadecuado).

### 2.3 VISIBILIDAD

La definición de alcance óptico meteorológico (MOR) y su estimación o medición mediante instrumentos se tratan en el capítulo 9 de la parte I. La medición de la visibilidad en aeronáutica es una aplicación específica del MOR. Sin embargo, el término MOR no se utiliza todavía habitualmente en la aviación, por lo que en este capítulo se ha mantenido el término “visibilidad” para describir las necesidades operativas. A efectos aeronáuticos, es habitual informar de alcances visuales, como el alcance visual en pista y la “visibilidad con fines aeronáuticos” (VIS-AERO). Obsérvese que esta última es la empleada en los informes y aparece indicada simplemente como “visibilidad”, que difiere de la definición habitual de visibilidad (véase el capítulo 9 de la parte I). Los instrumentos utilizados para medir el MOR sirven también para medir el alcance visual en la pista (véase la sección 2.4) y la VIS-AERO (véase la sección 2.3.1). El *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, secciones 4.2 y 4.3 contiene las descripciones formales para la aviación internacional.

En los aeródromos internacionales, las observaciones de la visibilidad para los informes difundidos fuera del aeródromo deberían ser representativas de las condiciones que imperan en el aeródromo y en sus inmediaciones. Las que se utilizan en los informes para el aterrizaje y el despegue, y que se difunden únicamente dentro del aeródromo, deberían ser representativas de la zona de toma de contacto de la pista, teniendo presente que aquella podría estar a varios kilómetros de distancia de la estación de observación.

En usos aeronáuticos, el rango de medición de la visibilidad está comprendido entre 25 m y 10 km. Los valores iguales o superiores a 10 km figuran como 10 km. Por ello, los sensores deberán ser capaces de medir valores superiores a esa distancia, o de indicar cuándo la medición es superior o igual a 10 km. En contextos operativos, la incertidumbre deseable en la medición es de 50 m en los primeros 600 m, del 10% entre 600 y 1 500 m, y del 20% por encima de 1 500 m (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, adjunto A)). Para mayor información sobre la exactitud de las mediciones, véanse los capítulos 1 y 9 de la parte I.

Atendiendo a los mínimos meteorológicos que determinan las decisiones operativas sobre la posibilidad o no de que una aeronave aterrice o despegue, se debe proporcionar información precisa y fiable siempre que la visibilidad rebase ciertos límites, y concretamente cuando

disminuya o aumente respecto de los valores límite de 800, 1 500 o 3 000 y 5 000 m, en el caso, por ejemplo, del comienzo, la desaparición o la evolución de la niebla o de la precipitación (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafo 2.3.3, apartado b)).

Cuando existan variaciones apreciables de la visibilidad en distintas direcciones, y particularmente cuando estas afecten a las zonas de despegue y aterrizaje, debería proporcionarse esta información adicional con indicación expresa de la dirección de observación; por ejemplo, "VIS 2000 M TO S".

Cuando la visibilidad sea inferior a 800 m, se expresará en tramos de 50 m en la forma VIS 350M; cuando sea igual o superior a 800 m pero inferior a 5 km, en tramos de 100 m; cuando sea de 5 km o superior pero inferior a 10 km, en tramos de 1 km en la forma VIS 7KM; y cuando sea igual o superior a 10 km, se indicará como 10 km, excepto cuando se den las condiciones para utilizar CAVOK (nubes y visibilidad correctas) (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafo 4.2.4.1).

Son aplicables los métodos descritos en el capítulo 9 de la parte I. Las observaciones de visibilidad meteorológica deberá realizarlas un observador con visión "normal", distinguiendo objetos seleccionados con determinadas características a distancias conocidas de la estación meteorológica. Tales observaciones podrán también ser obtenidas mediante instrumentos de medición de la visibilidad, como los transmisómetros o los dispersómetros. La ubicación de los emplazamientos de observación debería permitir una visión continua del aeródromo, incluidas todas sus pistas.

Cuando se utilice un transmisómetro para las mediciones de visibilidad, una línea de base de 75 m resultará adecuada para las operaciones aeronáuticas. Sin embargo, si el instrumento se utiliza también para medir el alcance visual en la pista, la línea de base debería determinarse teniendo en cuenta las categorías de operaciones que rigen en el aeródromo.

### 2.3.1 Visibilidad con fines aeronáuticos

El concepto de visibilidad está definido en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 1.1. El valor de la VIS-AERO es el mayor de los dos siguientes:

- a) la distancia máxima a la que es posible ver y reconocer un objeto negro de dimensiones adecuadas situado cerca del suelo cuando es observado contra un fondo brillante;
- b) la distancia máxima a la que es posible ver e identificar luces cercanas a 1 000 candelas contra un fondo no iluminado.

La VIS-AERO es, de hecho, un "alcance visual" como el alcance visual en la pista, que implica elementos subjetivos, como la eficacia virtual del ojo humano y las luces artificiales. No obstante, la palabra "visibilidad" se utiliza habitualmente sin puntualizar "para fines aeronáuticos", y puede haber confusiones con la definición oficial de "visibilidad" establecida por la OMM (véase el capítulo 9 de la parte I), conocida como MOR (alcance óptico meteorológico). El alcance óptico se basa estrictamente en el estado físico de la atmósfera y no en elementos humanos o artificiales, por lo que se trata de una variable objetiva. Esta visibilidad (con fines aeronáuticos) deberá comunicarse como en los informes METAR. Dado que una estación meteorológica aeronáutica puede estar combinada con una estación sinóptica, los valores de visibilidad en los informes SYNOP diferirán de los indicados en los METAR, aunque hayan sido medidos por un mismo equipo.

La visibilidad para usos aeronáuticos puede medirse y calcularse del mismo modo que el alcance visual en la pista (véase la sección 2.4 para más detalles), con la salvedad de que, para la intensidad de la fuente luminosa,  $I$ , se utilizará un valor constante de 1 000 candelas. Obsérvese que este valor es válido para las luces habitualmente utilizadas durante la evaluación de la visibilidad, que son 10 veces más intensas que las de intensidad moderada (es decir, de 100 candelas; véase el capítulo 9 de la parte I).

### 2.3.2 **Visibilidad reinante**

La visibilidad reinante se define como el valor máximo de la visibilidad, observado de conformidad con la definición de “visibilidad” (para usos aeronáuticos), al que se llega dentro de un círculo que cubre por lo menos la mitad del horizonte o por lo menos la mitad de la superficie del aeródromo. Estas áreas podrían comprender sectores contiguos o no contiguos. Su valor puede ser evaluado por un observador humano y/o por sistemas instrumentales, pero cuando estén instalados instrumentos, se usarán para obtener la mejor estimación de la visibilidad reinante (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 1.1). Para informar de la visibilidad reinante deberían utilizarse las claves METAR y SPECI.

## 2.4 **ALCANCE VISUAL EN LA PISTA**

### 2.4.1 **Generalidades**

El alcance visual en la pista (RVR) es la distancia a la que el piloto de una aeronave situada sobre el eje de la pista puede ver las señales de la superficie de la misma o las luces que la delimitan o que identifican su eje. Esto se aborda en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 4.6.3, y parte II, apéndice 3, sección 4.3. En OACI (2005) se incluyen más detalles sobre la observación y comunicación del RVR. Se recomienda que esta medición se realice en períodos en que la visibilidad horizontal sea inferior a 1 500 m.

Se considera que el nivel medio de los ojos de un piloto de una aeronave situada sobre el eje de una pista se halla a una altura de 5 m aproximadamente. Obsérvese que para las aeronaves de fuselaje ancho la altura de los ojos del piloto podría estar a más de 10 m. En la práctica, el RVR no puede medirse directamente desde la posición de un piloto que mira al eje de pista, sino que constituye una estimación de lo que el piloto vería desde esa posición. No obstante, el RVR debería evaluarse a una altura de aproximadamente 2,5 m por encima de la pista para sistemas por instrumentos o a una altura aproximada de 5 m por encima de la pista por un observador humano (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafo 4.3.1.1).

El RVR debería comunicarse a las dependencias ATS siempre que experimente una variación, de acuerdo con la escala acordada. Normalmente la transmisión de estos informes debería completarse en los 15 segundos posteriores a la observación. Estos informes deberán facilitarse en lenguaje claro.

### 2.4.2 **Métodos de observación**

El RVR puede medirse indirectamente, bien por medio de observadores provistos o no de equipo suplementario, bien mediante equipos instrumentales tales como el transmisómetro o los sensores que miden la luz dispersada, o bien mediante sistemas de video. En los aeródromos, donde se realizan aproximaciones de precisión y, en particular, operaciones de las categorías I, II, III A y III B, deberían efectuarse continuamente mediciones del RVR utilizando los instrumentos apropiados, es decir, transmisómetros o medidores de la dispersión frontal (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafo 4.3.2.1, para las categorías II y III, y lo recomienda para la categoría I en apéndice 3, párrafo 4.3.2.2).

El RVR puede evaluarse entonces para usos operativos empleando tablas o, preferiblemente, mediante equipos automáticos dotados de lectura digital del RVR. Su valor debería calcularse por separado para cada pista, de acuerdo con el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 4.3.5.

#### 2.4.2.1 **Medición efectuada por un observador**

El recuento de las luces de la pista visibles con niebla (o de otras luces paralelas a la pista especialmente instaladas para ese fin) por los observadores puede constituir un método sencillo



y conveniente para determinar el RVR (aunque, para operaciones de aterrizaje instrumental de precisión solo debería emplearse si el sistema instrumental fallase). La dificultad que plantea este método está relacionada con la capacidad de resolución del ojo humano que, a partir de cierta distancia (que depende del observador), no permite distinguir y contar las luces de la pista.

Dado que la posición del observador no es la misma que la del piloto cuando examina las luces de la pista, es esencial utilizar curvas de conversión para determinar el RVR verdadero. Para evaluar el RVR durante el día también podrán utilizarse paneles indicadores específicamente diseñados e instalados a intervalos regulares a lo largo de la pista.

#### 2.4.2.2 **Medición mediante sistemas de video**

Para evaluar el RVR utilizando un sistema de video se emplea una cámara de video y un receptor con el fin de observar señales colocadas a distancias conocidas, consistentes en luces de pista, luces especiales o marcas situadas a lo largo de la pista. Este sistema es también útil para revelar la presencia de bancos de niebla o niebla baja que no se pueden detectar mediante instrumentos.

#### 2.4.2.3 **Medición mediante transmisómetro**

El instrumento actualmente más utilizado para evaluar el RVR es el transmisómetro, que mide el factor de transmisión o transmitancia entre dos puntos de un recorrido atmosférico finito (véase el capítulo 9 de la parte I). El RVR puede determinarse como sigue:

- a) RVR cuando predominan las luces de la pista (RVR basado en el umbral de iluminación): el RVR depende de la transmitancia de la atmósfera, de la intensidad de las luces de la pista y del umbral de iluminancia del observador (y del piloto), que depende a su vez de la luminancia de fondo. Puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$E_t = I R^{-2} T^{R/a} \quad (2.1)$$

donde  $E_t$  es el umbral visual de iluminancia del observador (piloto), que depende de la luminancia de fondo  $L$ ;  $I$  es la intensidad efectiva de las luces del eje o de los bordes de la pista en la dirección del observador (piloto);  $T$  es la transmitancia medida por el transmisómetro;  $R$  es el RVR; y  $a$  es la longitud de la línea de base del transmisómetro o el recorrido óptico de la luz. Obsérvese que la iluminancia  $E$  del observador (piloto) verifica la ecuación  $E = I / R^2$ . En OACI (2013) figuran los requisitos con respecto a las características de intensidad luminosa de las luces de la pista. De hecho, tanto para las luces del eje como para las del borde, el umbral visual de iluminancia del observador (piloto) depende del ángulo  $\gamma$ , en consecuencia,  $I$  dependerá de  $R$ . Por lo tanto,  $I = I(R)$  y  $E = E(I, R)$ . El cálculo de  $R$  mediante la ecuación 2.1 solo se puede realizar por métodos iterativos, lo que es relativamente fácil con ayuda de un equipo simple de cálculo numérico. El valor de  $E_t$  se determina con ayuda de un sensor de luminancia de fondo (véase la sección 2.4.3.3).

- b) Evaluación del RVR por contraste (RVR basado en el umbral de contraste): cuando se utilicen señales distintas de las luminosas para guiar a los pilotos durante el aterrizaje y el despegue, el RVR debería determinarse a partir del contraste de determinados objetos con respecto al fondo. Como base de los cálculos debería utilizarse un valor de 0,05 para el umbral de contraste. La fórmula es la siguiente:

$$R = a \frac{\ln 0,05}{\ln T} \quad (2.2)$$

donde  $R$  es el RVR por contraste. Dado que el umbral de contraste es 0,05, el RVR es en este caso idéntico al MOR, es decir:  $R = MOR$ . Obsérvese que el RVR obtenido a partir del umbral de iluminación será siempre mayor o igual que el RVR basado en el umbral de contraste, es decir:  $RVR \geq MOR$ .

#### 2.4.2.4 **Medición mediante medidores de la dispersión frontal o de retrodispersión**

En el capítulo 9 de la parte I se describen los instrumentos utilizados para medir el coeficiente de dispersión frontal o de retrodispersión (conocidos generalmente como dispersómetros o difusómetros). Según los principios físicos de la dispersión de la luz por aerosoles, la incertidumbre en la medición de un sensor de dispersión frontal (con ángulo de dispersión de entre 31° y 32° aproximadamente) es inferior a la de un retrodispersómetro. Por tanto, es preferible el primero. Con esos instrumentos es posible determinar el coeficiente de extinción,  $\sigma$ , que es la variable principal para el cálculo del RVR. La experiencia adquirida y los estudios realizados con sensores de dispersión frontal han puesto de relieve su capacidad para medir el RVR para aplicaciones aeronáuticas (OMM, 1990 y 1992b).

Puesto que la exactitud de un instrumento puede variar de un diseño a otro deberían comprobarse las características de funcionamiento antes de seleccionar un instrumento para evaluar el RVR. Por tanto, la calibración de un sensor de dispersión frontal deberá ser trazable y verificable con respecto a un transmisómetro patrón, cuya exactitud habrá sido verificada para el rango de valores operativos deseado (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 4.3.2).

Un dispersómetro determina, a partir de la luz dispersada recibida, el coeficiente de extinción  $\sigma$  de la atmósfera en el volumen óptico analizado (véase el capítulo 9 de la parte I). Dado que  $\sigma$  es un indicador directo de la visibilidad,  $R$  se puede determinar con relativa facilidad (a partir de  $\sigma$  o del MOR, donde  $\text{MOR} = -\ln 0,05/\sigma \approx 3/\sigma$ ). El RVR se puede determinar como sigue:

- a) RVR cuando predominan las luces de la pista (RVR basado en el umbral de iluminación): el RVR se puede calcular de forma similar al caso del transmisómetro, con la diferencia de que se utilizará  $\sigma$  en lugar de  $T$ . Su valor puede calcularse a partir de:

$$R = \frac{1}{\sigma} \left( \frac{I(R)}{E_t \cdot R^2} \right) \quad (2.3)$$

donde  $R$  es el alcance visual en pista;  $\sigma$  es el coeficiente de extinción (es decir,  $3/\text{MOR}$ );  $E_t$  es el umbral visual de iluminancia del observador (piloto), que depende de la luminancia de fondo; e  $I$  es la intensidad efectiva de las luces del eje o del borde de la pista en la dirección del observador (piloto). Al igual que con el transmisómetro, el cálculo de  $R$  debería ser iterativo.

- b) Evaluación del RVR por contraste (RVR basado en el umbral de contraste): cuando se utilicen señales distintas de las luminosas para guiar a los pilotos durante el aterrizaje y el despegue, el RVR debería determinarse a partir del contraste de determinados objetos con respecto al fondo. Como base de los cálculos debería utilizarse un valor de 0,05 para el umbral de contraste. La fórmula es la siguiente:

$$R = -\ln 0,05 / \sigma = \text{MOR} \quad (2.4)$$

donde  $R$  es el RVR por contraste. Obsérvese que el RVR obtenido a partir del umbral de iluminación será siempre superior al RVR determinado mediante el umbral de contraste, es decir:  $\text{RVR} \geq \text{MOR}$ .

#### 2.4.3 **Instrumentos y exposición**

Para evaluar el RVR los sistemas con instrumentos pueden basarse en transmisómetros o en sensores de dispersión frontal. Las observaciones del RVR deberían efectuarse a una distancia lateral inferior a 120 m respecto del eje de pista. Los emplazamientos para observaciones representativas de la zona de toma de contacto deberían estar situados a unos 300 m a lo largo de la pista desde el umbral. Los emplazamientos de observación representativos de las secciones media y distante de la pista deberían situarse a una distancia de 1 000 a 1 500 m a lo largo de la pista desde el umbral y a unos 300 m del otro extremo de la pista, respectivamente (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafo 4.3.1.2). La posición exacta de esos emplazamientos y, en caso necesario, de otros adicionales (en pistas de gran longitud) debería determinarse después de considerar diversos factores meteorológicos y climatológicos

de tipo aeronáutico, como la existencia de pantanos u otras zonas propensas a la niebla. El RVR debería observarse a una altura aproximada de 2,5 m por encima de la pista para sistemas por instrumentos o a una altura aproximada de 5 m por encima de la pista por un observador humano (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafo 4.3.1.1).

Las dependencias que presten servicios de información aeronáutica y de tránsito aéreo para un aeródromo deberían ser informadas sin retraso de cualquier cambio en el nivel de servicio de los sistemas de observación del RVR.

Habitualmente se utiliza una computadora para calcular el RVR en varios lugares de medición y para presentar las medidas en una pantalla junto con la hora de observación, los factores de transmisión, la luminancia medida en uno o más puntos del aeródromo, y la intensidad de las luces de pista. Los datos se envían a las pantallas de visualización de los ATS, y de las oficinas meteorológicas y otras unidades interesadas, o a impresoras para su registro.

La intensidad de las luces de pista debería introducirse automáticamente en la computadora de acuerdo con el procedimiento descrito en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 4.3.5, o conforme acuerden formalmente las dependencias ATS y la unidad meteorológica local.

Podrán utilizarse también registradores gráficos analógicos o digitales (con referencia temporal) para los factores de transmisión,  $T$ , y para la luminancia de fondo,  $L$ . En las visualizaciones gráficas del RVR debería figurar también adecuadamente el valor registrado de  $E_t$  y de  $I$  (véase la ecuación 2.1).

#### 2.4.3.1 **Transmisómetros**

En el capítulo 9 de la parte I, se ofrece una descripción de los transmisómetros, su instalación en el emplazamiento, el mantenimiento y las fuentes de error, junto con referencias a otras publicaciones.

Un transmisómetro consta de un proyector que emite una luz de intensidad conocida a un dispositivo fotoeléctrico receptor situado a una distancia conocida del proyector. Las variaciones de la transmisión atmosférica debidas a niebla, calima, etc. se miden y registran de manera continua. El instrumento está calibrado para su lectura directa, y expresa el factor de transmisión en porcentaje.

El transmisor y el receptor deben instalarse a la misma altura sobre soportes rígidos, seguros y duraderos y, de ser posible, irrompibles, y de tal modo que las vibraciones del terreno, el hielo, el calentamiento diferencial de los soportes, etc. no afecten negativamente a la alineación de ambas unidades. La altura del recorrido óptico no debería ser inferior a 2,5 m por encima del nivel de la pista.

En cierto tipo de transmisómetros, el emisor y el receptor están incorporados en una misma unidad (véase el capítulo 9 de la parte I). En ese caso es necesario instalar un reflector (por ejemplo, un espejo) en la ubicación habitual del receptor. La luz es enviada hacia el exterior y reflejada de vuelta, por lo que la línea de base es dos veces la distancia entre el emisor/receptor y el equipo reflector. El transmisómetro puede ser de base simple o de doble base, en función de si se van a utilizar uno o dos receptores o reflectores colocados a diferentes distancias.

La longitud de la línea de base de referencia de un transmisómetro, es decir, la longitud de la trayectoria óptica recorrida por el haz de luz entre el emisor y el receptor, determina el alcance de medición del RVR. Para evaluar el RVR entre 50 y 1 500 m, las longitudes de las líneas de base más comúnmente empleadas están comprendidas entre 15 y 75 m.

Sin embargo, cuanto más corta es la línea de base del transmisómetro mayor será la exactitud de la medición del factor de transmisión y mejor será el comportamiento lineal del sistema. Si se desea medir valores de RVR pequeños para operaciones de aterrizaje de categorías II y III, debería seleccionarse un transmisómetro de línea de base corta. Pero entonces el RVR máximo

que se puede medir es relativamente bajo, por lo que habrá que encontrar una solución intermedia. Existen transmisómetros de doble base que ofrecen un rango de medida más amplio al seleccionar una u otra base, pero ha de tenerse cuidado al cambiar entre líneas de base para asegurar que las mediciones del RVR sigan siendo coherentes entre sí.

Valores más altos del RVR se pueden medir utilizando líneas de base de transmisómetro más largas, lo que requiere una mayor potencia del haz luminoso para compensar la atenuación de la luz entre el transmisor y el receptor en situaciones de niebla densa, y un ángulo de recepción más estrecho para evitar fenómenos espurios de dispersión. La medición de las señales más débiles también depende del ruido de fondo en el equipo de medición.

Por lo general los transmisómetros están alineados paralelamente a la pista. Sin embargo, debería evitarse la luz solar directa (o reflejada), ya que puede causar daños. Por tanto, el eje óptico debería orientarse horizontalmente en una dirección aproximada norte-sur (para latitudes inferiores a 50°). En otros casos deberían emplearse deflectores para la protección.

#### 2.4.3.2 **Medidores de dispersión frontal**

Los medidores de dispersión frontal deberían situarse cerca de la pista, de manera análoga a los transmisómetros, pero su instalación requiere menos precauciones que la de estos últimos. Con todo, debería evitarse la luz solar directa o difusa, que podría influir en el receptor (o dañarlo). En particular, la luz solar puede influir en el receptor después de haber sido dispersada por la cubierta de nieve o por la superficie de un lago o del mar. Los instrumentos modernos compensan la contaminación de los componentes ópticos.

#### 2.4.3.3 **Sensor de luminancia de fondo**

Para calcular el RVR, deberá conocerse el umbral de iluminancia  $E_t$ . Habría que colocar un sensor de luminancia de fondo en el extremo de la pista, a lo largo de la cual se han instalado uno o más transmisómetros o dispersómetros. El número de sensores de luminancia de fondo a instalar en un aeropuerto depende de la cantidad de pistas abarcadas.

El sensor de luminancia de fondo mide la luminancia del horizonte o del cielo en la dirección opuesta al sol. Los umbrales de iluminancia se introducen en el cálculo del RVR tanto en forma de función continua como escalonada (de dos a cuatro escalones). En el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, adjunto D, y en OACI (2005) se indica la curva para transformar la luminancia de fondo en umbral de iluminación. La expresión recomendada para esta curva es la siguiente:

$$\log_{10} E_t = 0,05(\log_{10} L)^2 + 0,573 \log_{10} L - 6,667 \quad (2.5)$$

donde  $L$  es la luminancia del cielo en el horizonte.

El sensor de luminancia de fondo consiste en un fotodiodo situado en el punto focal de una lente con una apertura angular aproximada de 10° a 20°, alineado en dirección norte-sur (para evitar la luz solar directa) y con un ángulo de elevación aproximado de 30° a 45° respecto del horizonte.

#### 2.4.4 **Comprobaciones de los instrumentos**

Es esencial comprobar periódicamente todos los componentes del sistema de medición del RVR con transmisómetros, o con dispersómetros, para asegurar el funcionamiento y la calibración adecuados. Por lo general, la documentación suministrada por los fabricantes de los equipos contendrá instrucciones detalladas para efectuar tales comprobaciones, e indicará las medidas correctivas que habrá que adoptar cuando no se cumplan las tolerancias especificadas para los instrumentos. Para un transmisómetro, cuando la visibilidad exceda de 10 a 15 km, es fácil comprobar que el equipo indica una transmisividad aproximada del 100% (véase el capítulo 9 de la parte I). En el caso de los dispersómetros, podrán utilizarse "placas de dispersión" que

emulen ciertos valores de extinción. Sin embargo, la calibración de un sensor de dispersión frontal debería ser trazable y verificable con respecto a un transmisómetro patrón (véase la sección 2.4.2.4).

Serán necesarios un mantenimiento y calibración correctos con objeto de:

- a) evitar la acumulación de suciedad en las superficies ópticas;
- b) comprobar las variaciones de la intensidad luminosa del transmisor;
- c) evitar la deriva después de la calibración;
- d) comprobar la alineación de los emisores y de los receptores.

En emplazamientos muy contaminados será necesario un mantenimiento más frecuente. Se procurará evitar que todos los equipos queden fuera de servicio al mismo tiempo durante el mantenimiento, así como que la interrupción no sea de larga duración, especialmente durante períodos en que se espere niebla.

Cuando la niebla persista durante varios días consecutivos deberían comprobarse el proyector, para asegurarse de que la intensidad de su luz es estable, y el equipo, por si experimentara deriva. Cuando la niebla es muy densa resulta difícil, por no decir imposible, comprobar los ajustes ópticos; por ello es esencial que los instrumentos sean mecánicamente fiables y ópticamente estables.

#### 2.4.5 **Visualización de los datos**

La visualización de los datos del RVR en las dependencias correspondientes se actualiza conforme a los acuerdos locales vigentes: cada 15 a 60 segundos, e incluso cada 2 minutos en algunas ocasiones. Los cambios en el RVR deberían transmitirse normalmente en el plazo de los 15 segundos que siguen al fin de la observación.

#### 2.4.6 **Exactitud y fiabilidad de las mediciones del alcance visual en pista**

Si se utilizan dispersómetros en lugar de transmisómetros, las ecuaciones del RVR son aceptables en caso de finas gotitas de agua como las de la niebla, pero no cuando la visibilidad se vea reducida por efecto de otros hidrometeoros como la niebla engelante, la lluvia, la nieve, o los litometeoros (tormentas de arena). En estos casos las mediciones del MOR y del RVR deben emplearse con precaución, ya que no se han aceptado relaciones satisfactorias para tales circunstancias.

La diferencia entre el RVR para un piloto y el valor medido puede ser del 15 al 20%, con una desviación típica supuesta no superior al 10%. En el caso de los observadores, existen discrepancias en el umbral visual y en las condiciones de observación que, conjuntamente, pueden dar lugar a diferencias del RVR comunicado del 15 o del 20%.

Las mediciones del RVR efectuadas mediante transmisómetros o dispersómetros solo son representativas de un pequeño volumen de la atmósfera. Considerando las notables fluctuaciones de la densidad de la niebla en el tiempo y en el espacio, resulta esencial establecer un valor medio calculado a partir de un gran número de muestras o mediciones. Los rápidos cambios en el RVR pueden crear dificultades a las dependencias ATS al transmitir la información a las aeronaves. Por esta razón, se recomienda un período de promediado comprendido entre 30 segundos y 1 minuto, calculado en forma de media o de media móvil.

En el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, adjunto A, se indica el grado de exactitud operativamente conveniente para la medición del RVR.

## 2.5 TIEMPO PRESENTE

La observación y la comunicación del tiempo presente se tratan en el capítulo 14 de la parte I, y los procedimientos correspondientes se describen en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 4.6.4, y más pormenorizadamente en la parte II, apéndice 3, sección 4.4, de dicha publicación. Para fines aeronáuticos se pone especial interés en la observación e información del comienzo, el cese, la intensidad y la localización de los fenómenos importantes para la seguridad de las operaciones aeronáuticas, como por ejemplo, tormentas, precipitación engelante o elementos que restrinjan la visibilidad en vuelo.

Para operaciones de despegue y aterrizaje, la información sobre el tiempo presente debería ser, en la medida de lo posible, representativa de la zona de despegue y ascenso inicial, o de la zona de aproximación y aterrizaje. Cuando la información vaya a ser difundida fuera del aeródromo, las observaciones del tiempo presente deberían ser representativas del aeródromo y de sus proximidades.

La mayoría de las observaciones relativas al tiempo presente se efectúan por medios visuales. Se debería tener cuidado de seleccionar emplazamientos de observación que permitan una visión adecuada en todas las direcciones desde la estación. Como ayuda para las observaciones humanas se pueden emplear instrumentos, especialmente para medir la intensidad de la precipitación.

Los sensores empleados para identificar el tipo de precipitación (lluvia, nieve, llovizna, etc.) u otros fenómenos que reducen la visibilidad (niebla, neblina, humo, polvo, etc.) pueden ayudar al observador humano, lo que es útil si la tarea está automatizada. Estos detectores se basan fundamentalmente en la medición del coeficiente de extinción o centelleo, y también pueden hacer uso de relaciones entre los fenómenos meteorológicos y otras magnitudes, como la humedad. En la actualidad no hay ningún acuerdo internacional sobre los algoritmos a utilizar para procesar datos de cara a la identificación de estos fenómenos. Este equipo no es esencial en meteorología aeronáutica mientras se exija la presencia de observadores.

En el capítulo 14 de la parte I, y en OMM (1975, 1987, 1992a y 2011a) y en OACI (2011) se describen los fenómenos de tiempo presente que deben incluirse en los informes.

Las especificaciones de los informes especiales con respecto al tiempo presente figuran en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 4.4.2. Las abreviaturas y las cifras de clave, en lenguaje claro, utilizadas en los informes METAR o SPECI figuran en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafos 4.4.2.3 a 4.4.2.9.

## 2.6 NUBES

### 2.6.1 Generalidades

Las observaciones y las mediciones de las nubes se describen en el capítulo 15 de la parte I. Para aplicaciones aeronáuticas (véase el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 4.6.5, y parte II, apéndice 3, sección 4.5), la información sobre nubes (cantidad, altura de la base, tipo) debe ser representativa del aeródromo y de sus proximidades y, en los informes de aterrizaje, de la zona de aproximación. Cuando se suministre información sobre nubes a aeronaves que aterrizan en pistas para aproximaciones de precisión, esta debería ser representativa de las condiciones existentes en la radiobaliza intermedia del sistema de aterrizaje por instrumentos o, en los aeródromos en que no se utilice esta baliza intermedia, representativa de las condiciones existentes a una distancia de 900 a 1 200 m del umbral de aterrizaje en el extremo de aproximación de la pista (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 4.5.1).

Si el cielo está oscurecido o no es visible, en los informes rutinarios locales (MET REPORT), en los informes especiales locales (SPECIAL) (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, párrafo 4.5.1, apartado i)) y en los informes meteorológicos METAR y SPECI (OMM, 2011a, FM 15/FM 16, párrafo 15.9) se sustituirá la altura de la base de las nubes por un valor de visibilidad vertical.

La visibilidad vertical se define como la distancia máxima a la que un observador puede ver e identificar un objeto en su misma vertical, por encima o por debajo. Su valor puede obtenerse a partir del perfil de extinción óptica, determinado mediante un nefobasímetro lidar. Suponiendo que se puede obtener la extinción total  $\sigma$  a una altura  $h$  a partir del coeficiente de extinción de retrodispersión  $\sigma_B$  a esa altura, después de una calibración apropiada para todo el rango de valores de altura y suponiendo que sea aplicable un umbral de contraste del 5% como en el caso del MOR, la visibilidad vertical,  $VV$ , debería cumplir la siguiente condición:

$$\int_0^{VV} \sigma(h) \cdot dh = \ln \left( \frac{I(VV)}{I_0} \right) = \ln(0,05) = 3 \quad (2.6)$$

Dado que los nefobasímetros basados en tecnología lidar determinan el coeficiente de extinción local a intervalos fijos  $\Delta h$ , será relativamente fácil obtener  $VV$  a partir de la expresión:

$$\sum_{i=1}^N \sigma_i \cdot \Delta h = 3, \text{ donde } h_N = VV \quad (2.7)$$

Cuando el estado atmosférico o meteorológico no afecta a las operaciones de despegue y aterrizaje es habitual utilizar en los informes palabras clave como CAVOK, SKC (cielo despejado), NCD (ninguna nube detectada) y NSC (ninguna nube apreciable); sustituir la información cuantitativa por acrónimos resulta ventajoso. Se puede encontrar una descripción detallada del uso de estas prácticas en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 2.2 y párrafo 4.5.4.1. Por ejemplo, se utilizará CAVOK cuando las nubes y el tiempo presente sean mejores que los valores o condiciones prescritos, excepto cuando se cumplan las condiciones especificadas. Debería tenerse especial precaución al usar estas abreviaturas con sistemas de medición automatizados que no son capaces de medir nubes o visibilidades verticales con arreglo a los requisitos estipulados.

La altura de la base de las nubes se notificará normalmente tomando como referencia la elevación del aeródromo. Sin embargo, cuando se utilice una pista para aproximación de precisión con una elevación en el umbral de 15 m o más por debajo de la elevación del aeródromo, se adoptarán acuerdos a nivel local para notificar a las aeronaves que llegan la altura de la base de las nubes referida a la elevación del umbral.

### 2.6.2 Métodos de observación

Los principales métodos utilizados para determinar la altura de la base de las nubes son:

- a) proyector de base de nube;
- b) nefobasímetro de haz giratorio;
- c) nefobasímetro láser;
- d) globo sonda para determinar la altura del techo de nubes;
- e) estimación visual;
- f) informes de aeronave.

Siempre que sea posible, la altura de la base de las nubes debería determinarse por mediciones. En aeródromos internacionales o de mucho tráfico provistos de sistemas de aproximación de precisión, las mediciones de la altura de la base de las nubes deberían ser automáticas, a fin de disponer de forma continua de esa información y de los cambios que se produzcan.

El método del globo sonda para determinar la altura del techo de nubes es demasiado lento y está demasiado expuesto a errores para ser el método habitual de medición de la altura de la base de las nubes en los aeródromos, y la estimación visual está también demasiado expuesta a errores, especialmente de noche, como para ser utilizada en situaciones en que las observaciones son críticas. Los informes de aeronave sobre la altura de la base de las nubes

pueden proporcionar al observador información suplementaria útil. Debería tenerse cuidado al interpretar la información de los pilotos, porque puede hacer referencia a lugares situados a varios kilómetros del punto de observación en la superficie.

### 2.6.3 Exactitud de las mediciones de la altura de la base de las nubes

La naturaleza deshilachada, difusa y fluctuante de la base de muchas nubes limita el grado de exactitud con que es posible medir la altura de su base. Las mediciones aisladas o infrecuentes, como las que se obtienen utilizando globos sonda para determinar la altura del techo de nubes, pueden no ser representativas de las condiciones de la nube en su conjunto. La mejor estimación requiere el estudio de un registro casi continuo a lo largo de varios minutos, obtenido mediante alguno de los instrumentos antes mencionados.

La exactitud de las mediciones instrumentales indicadas por el fabricante suele determinarse utilizando objetivos sólidos o artificiales. Sin embargo, la exactitud operativa es más difícil de alcanzar, dado el carácter difuso de la base de las nubes.

## 2.7 TEMPERATURA DEL AIRE

En el capítulo 2 de la parte I figura un análisis general de los instrumentos y métodos de observación de la temperatura del aire. Para propósitos de navegación aérea (véase el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 4.1 y párrafo 4.5.1, apartado j)), es necesario conocer la temperatura del aire sobre la pista. Normalmente, los datos obtenidos con garitas bien situadas y debidamente ventiladas proporcionan aproximaciones suficientes de los valores requeridos. Las variaciones rápidas de la temperatura del aire (de 2 a 3 °C cada media hora) deberían notificarse inmediatamente a las dependencias ATS, sobre todo en las zonas tropicales y subtropicales.

Los sensores de temperatura deberían situarse de modo que no se vean afectados por las aeronaves en movimiento o estacionadas, y tendrían que proporcionar valores representativos de las condiciones generales sobre las pistas. Se deberían utilizar preferiblemente termómetros con una constante de tiempo de 20 segundos para evitar fluctuaciones excesivamente pequeñas de la temperatura (velocidad media del viento de 5 m s<sup>-1</sup>) o, cuando las mediciones sean automáticas, debería aplicarse un filtro de promediado digital o de resistencia/capacitancia. Los sistemas de presentación y registro a distancia tienen ventajas. Además, en los aeródromos con pistas destinadas a las operaciones de aproximación y aterrizaje mediante instrumentos de las categorías II y III son necesarios equipos de medición y pantallas de visualización automáticos en el lugar donde esté situado el sistema de adquisición de datos. Las mediciones de temperatura se integran cada vez más en las estaciones automáticas o en los sistemas de adquisición de datos, y se presentan en forma digital. La temperatura visualizada debería representar un valor medio de un período de 1 a 10 minutos, obtenido tras linealizar la señal de salida del sensor. Para usos aeronáuticos, el valor obtenido debería redondearse al grado entero más próximo.

## 2.8 PUNTO DE ROCÍO

En las estaciones aeronáuticas la humedad atmosférica se suele expresar en términos de temperatura del punto de rocío. La lectura se redondea al grado entero más próximo, como en el caso de la temperatura del aire. Los procedimientos se describen en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 4.1 y párrafo 4.5.1, apartado j). Los métodos de observación se describen en el capítulo 4 de la parte I.

Los sensores modernos de humedad permiten utilizar indicadores y registradores a distancia. Para las observaciones manuales se utiliza habitualmente un psicrómetro. Para obtener las incertidumbres de medición especificadas es preferible un psicrómetro de tipo ventilado. Los tipos de instrumento habitualmente utilizados son:



- a) Sensores capacitivos basados en la medición de la capacidad de un condensador, en los que el valor de la permitividad relativa del polímero que actúa como dieléctrico varía en función del contenido de vapor de agua del aire ambiente. En la práctica, la capacidad medida varía casi linealmente con la humedad relativa. El punto de rocío se calcula usando el valor de temperatura del aire ambiente (medido por separado y a una distancia muy corta) ( $t_d = t_d(t, U)$ ). Las fórmulas apropiadas figuran en el capítulo 4 de la parte I (anexo 4.B). Para evitar la condensación, que puede continuar mucho tiempo después de haberse reducido la humedad a un valor  $U < 100\%$ , y que podría quedar atrapada por el filtro que protege el sensor, puede recurrirse a calentar el instrumento. En estos casos no debería utilizarse el valor de temperatura del aire ambiente, sino un valor de temperatura que represente el aire calentado en torno al sensor. En la práctica, solo se puede aplicar el procedimiento apropiado después de haber calibrado el instrumento cuidadosamente en cámaras climáticas adecuadamente diseñadas.
- b) Higrómetros de punto de rocío, que miden la temperatura a la que se acumula un depósito de rocío muy fino sobre un espejo. El espejo es calentado o enfriado, casi siempre por efecto Peltier, para obtener el punto de equilibrio en que se deposita el rocío. El espejo se utiliza asociado a un sistema fotoelectrónico para la detección de rocío. Aunque este tipo de sistemas proporcionan directamente la temperatura del punto de rocío, la contaminación y el deterioro del espejo pueden dar lugar a sesgos importantes. En particular, la escarcha podría destruir el espejo. Como mínimo se debería inspeccionar el espejo cada seis meses, pero únicamente por personal especializado. Debería ponerse especial cuidado al limpiar el espejo, siguiendo de modo preciso las instrucciones proporcionadas por el fabricante.

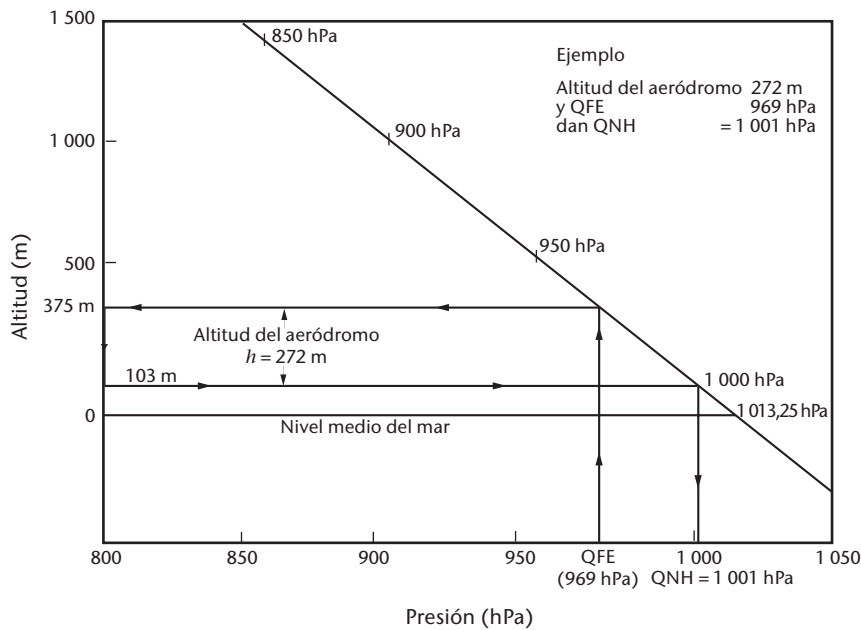
## 2.9 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

### 2.9.1 Generalidades

En el capítulo 3 de la parte I figura un análisis general de las observaciones de la presión atmosférica, y en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 4.6.7, puede encontrarse un análisis sobre el particular para usos aeronáuticos. Las mediciones de presión en las estaciones aeronáuticas son esenciales para ajustar los altímetros de las aeronaves. Estas medidas se calculan en décimas de hectopascal (0,1 hPa). En el código Q reciben los nombres QFE y QNH, donde:

- a) QFE (presión a nivel de la estación) se define como el valor de presión reducido a la elevación oficial del aeródromo (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 4.7.2). El punto de referencia del aeródromo, la elevación y la elevación de la pista se describen en OACI (2013).
- b) QNH (presión atmosférica reducida al nivel medio del mar) se define como el valor de la presión a la que debe ajustarse el altímetro de una aeronave para que indique la elevación oficial del aeródromo cuando la aeronave se encuentre posada sobre el suelo del mismo. El QNH se calcula utilizando el valor de QFE y la relación entre la presión y la altitud de la atmósfera tipo de la OACI. De hecho, la atmósfera tipo de la OACI es un subintervalo de la atmósfera tipo internacional, descrita en la norma ISO 2533:1975 y desarrollada en coordinación con el Comité de Investigaciones Espaciales, la OACI y la OMM. Esta atmósfera tipo es una atmósfera estática con una presión y temperatura constantes al nivel del mar y con un gradiente de temperatura constante. En OMM (1966) y OACI (1993) se proporcionan detalles sobre la atmósfera tipo y sus constantes predefinidas. Para calcular el QNH a partir del QFE, es decir, para efectuar la reducción al nivel medio del mar, se utiliza esta atmósfera virtual y no el verdadero estado actual de la atmósfera. Debido a ello, el QNH diferirá de la presión atmosférica reducida al nivel del mar comunicada, conforme se describe en el capítulo 3 de la parte I (sección 3.11), para cuyo cálculo se emplea la temperatura real. El cálculo del QNH a partir del QFE se basa en una regla de cálculo (para las estaciones situadas por debajo de los 3 000 a 4 000 m aproximadamente):

$$\text{QNH} = A + B \times \text{QFE} \quad (2.8)$$



### Relación entre QFE y QNH

donde  $A$  y  $B$  dependen de la altitud geopotencial de la estación (más detalles en OMM, 1966, introducción al cuadro 3.10). Para obtener el QNH se deberían seguir los tres pasos siguientes:

- i) determinar la altitud barométrica de la estación a partir del QFE (la altitud barométrica se calcula a partir del QFE mediante las fórmulas de la atmósfera tipo);
- ii) restar (o sumar, para estaciones por debajo del nivel medio del mar) de esta altitud barométrica la elevación de la estación con respecto al nivel medio del mar para obtener la altitud barométrica al nivel medio del mar (este valor puede ser positivo o negativo);
- iii) obtener de esta altitud barométrica el valor de la presión asociado de acuerdo con la atmósfera tipo, valor que será el QNH.

En la figura puede verse un ejemplo de este procedimiento para obtener el QNH a partir del QFE. Los valores de la presión medida del QNH y/o del QFE deberían obtenerse en décimas de hectopascal. En los informes locales y en aquellos difundidos fuera del aeródromo se deberían incluir los valores de QNH y QFE redondeados al hectopascal entero más próximo. Se deberían notificar a las dependencias ATS los cambios rápidos en la presión.

La curva representa la atmósfera tipo (altitud barométrica en función de la presión).

### 2.9.2 Instrumentos y exposición

El equipo instrumental utilizado en una estación aeronáutica para realizar mediciones de presión es idéntico al de una estación sinóptica con la salvedad de que, por razones de comodidad y de rapidez de lectura en las observaciones rutinarias, con frecuencia se hace un mayor uso de los barómetros digitales automáticos de precisión. Las estaciones aeronáuticas deberían estar equipadas con uno o más barómetros bien calibrados con trazabilidad al patrón de referencia. Debería mantenerse un programa regular de comparaciones de los instrumentos con el patrón. Tanto los barómetros manuales como los automáticos son adecuados, siempre que la dependencia de la temperatura, la deriva y la histéresis estén suficientemente compensadas. En el capítulo 3 de la parte I se ofrecen más detalles sobre los barómetros apropiados.

La exposición de los barómetros en una estación aeronáutica es la misma que en una estación sinóptica. Si los barómetros se van a situar en el interior de un edificio, los sensores deberían estar conectados con el exterior mediante un tubo de presión estática adecuadamente instalado. Debido a los efectos del viento sobre un edificio las diferencias de presión entre el interior y el exterior pueden ser mayores de 1 hPa. Para evitar esta desviación, que podría alcanzar más o menos 3 hPa en caso de velocidades de viento altas, el tubo de presión estática debería colocarse lo suficientemente lejos del edificio. También los sistemas de aire acondicionado pueden influir en la medición de la presión, y esto se puede evitar usando el mismo tubo de presión estática.

Existen instrumentos de lectura directa para obtener el QNH y pueden usarse en lugar de los tradicionales barómetros aneroides o de mercurio que obligan a consultar tablas para determinar los valores de QNH. Para estos instrumentos se introducirán los valores correctos de *A* y *B*, que son función de la altitud geopotencial de la estación (véase la ecuación 2.8). Las lecturas proporcionadas por esos instrumentos deberán compararse periódicamente con valores de QNH calculados en base a medidas obtenidas utilizando el barómetro de mercurio.

### 2.9.3 **Exactitud y correcciones en las mediciones de presión**

Los valores de presión utilizados para ajustar los altímetros de las aeronaves deberían tener una incertidumbre de medición de 0,5 hPa o inferior (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, adjunto A). A las lecturas de los barómetros de mercurio habría que aplicarles todas las correcciones procedentes; y a todos los valores que se obtengan con barómetros aneroides deberán aplicarse las correcciones establecidas mediante comparaciones periódicas de los instrumentos de mercurio con los barómetros aneroides habitualmente utilizados en las observaciones. Cuando en las torres de los ATS se utilicen altímetros aneroides habrá que introducir correcciones diferentes de las aplicadas a la estación de observación, con el fin de reducir adecuadamente los valores a la elevación oficial del aeródromo o al nivel de pista (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 4.7).

Los valores de presión utilizados para ajustar los altímetros deberán referirse a la elevación oficial del aeródromo. En las pistas para aproximación que no sean de precisión, cuyos umbrales están como mínimo a 2 m por debajo o por encima de la elevación del aeródromo, y en las pistas para aproximación de precisión, el QFE, en caso de ser necesario, debería referirse a la elevación del umbral correspondiente.

## 2.10 **INFORMACIÓN ADICIONAL IMPORTANTE EN LOS AERÓDROMOS**

### 2.10.1 **Generalidades**

Las observaciones realizadas en las estaciones aeronáuticas deberían incluir también toda la información disponible sobre las condiciones meteorológicas en las zonas de aproximación y ascenso inicial en lo referente a la localización de cumulonimbos o tormentas, turbulencia moderada o fuerte, cizalladura horizontal y/o vertical y variaciones significativas del viento a lo largo de la trayectoria de vuelo, granizo, líneas de turbonada fuertes, engelamiento moderado o intenso, precipitación engelante, ondas de montaña acusadas, tempestades de arena, tempestades de polvo, ventisca alta o nubes en embudo (tornados o trombas marinas), por ejemplo: SURFACE WIND 320/10 WIND AT 60M 360/25 IN APCH o MOD TURB AND ICE INC IN CLIMB OUT.

### 2.10.2 **Alcance visual oblicuo**

A pesar de los esfuerzos realizados en diversos países, no se dispone de ningún instrumento que permita medir el alcance visual oblicuo de forma operativa. El rápido desarrollo tecnológico de los sistemas de aterrizaje en todo tipo de condiciones meteorológicas ha permitido rebajar las

condiciones mínimas de aterrizaje en los aeródromos (categorías II, III A y III B) y ha ido restando gradualmente importancia a este parámetro. No se ha establecido ninguna recomendación con respecto a su medición.

### 2.10.3 Cizalladura del viento

La cizalladura del viento es una variación espacial de la velocidad y/o de la dirección del viento (incluidas las corrientes ascendentes y descendentes). La intensidad de la cizalladura puede clasificarse en leve, moderada, fuerte o violenta, en función de sus efectos sobre la aeronave. La cizalladura del viento en niveles bajos, que puede afectar las operaciones de aterrizaje y despegue, puede existir como gradiente de viento vertical en las capas inferiores de una atmósfera térmicamente estable, o puede deberse al efecto de obstáculos y superficies frontales sobre el flujo de viento, al efecto de las brisas de tierra y mar, y a las condiciones del viento en las nubes convectivas y en sus inmediaciones, sobre todo cuando son tormentosas. Las tormentas fuertes son, con diferencia, la principal causa de la cizalladura del viento en niveles bajos, y ocasionan accidentes fatales de aeronaves tanto en la aproximación y aterrizaje como durante el despegue.

La elaboración y emisión de avisos de cizalladura del viento para las trayectorias de aproximación y ascenso inicial se describen en el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafo 4.8.1.4.

La medición de la cizalladura vertical, con arreglo a la información expuesta en el capítulo 5 de la parte I, puede determinarse directamente mediante anemómetros instalados en mástiles altos, que deben estar situados a una cierta distancia del aeropuerto. Entre los sistemas de teledetección figuran el radar Doppler, el lidar, el sodar y el perfilador de viento. El lidar utiliza luz láser, el sodar se basa en la radiación acústica, y el radar perfilador de viento utiliza radiación electromagnética a una frecuencia en torno a 50 MHz, 400 MHz o 1 000 MHz.

La cizalladura horizontal se detecta habitualmente mediante un sistema de anemómetros instalados por todo el aeródromo. Este sistema se denomina "sistema de alerta de cizalladura del viento en niveles bajos", más conocido por sus siglas inglesas LLWAS. Para emitir los avisos de cizalladura del viento se utilizan algoritmos procesados por computadora. Este sistema se emplea especialmente en regiones tropicales y subtropicales donde se producen frecuentes e intensos temporales.

Este tema se aborda en toda su extensión en el documento de la OACI *Manual sobre cizalladura del viento a poca altura* (Doc. 9817), primera edición, 2005.

Aunque la cizalladura del viento puede influir de manera considerable en las operaciones aeronáuticas, no se ha establecido todavía ninguna recomendación ni criterio al respecto. No obstante, se proporcionan detalles sobre los avisos de cizalladura en OACI (2011), capítulo 4.

### 2.10.4 Inversiones de temperatura acusadas

Siempre que esté disponible, debería suministrarse información sobre inversiones de temperatura acusadas que excedan de 10 °C entre la superficie y niveles de hasta 300 m. Estos datos se obtienen normalmente por radiosondas instaladas a bordo de globos sonda, teledetección, observaciones de aeronave (por ejemplo, AMDAR) o inferencia meteorológica.

## 2.11 SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE OBSERVACIÓN METEOROLÓGICA

El empleo de sistemas de instrumentos especialmente diseñados se ha convertido en la práctica habitual en las estaciones aeronáuticas para medir, procesar, indicar y registrar los valores de los

distintos parámetros meteorológicos representativos de las zonas de aproximación, aterrizaje y despegue, y de las condiciones generales de las pistas del aeropuerto (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte I, sección 4.1).

Estos sistemas automáticos comprenden:

- a) un sistema de adquisición para convertir las medidas analógicas eléctricas (voltios, miliamperios, resistencia, capacidad) en valores digitales en las unidades apropiadas, y para introducir directamente datos digitales;
- b) una unidad de procesamiento previo de datos (promediado de lecturas a lo largo de un período comprendido entre 1 y 10 minutos, en función del parámetro medido, y cálculo de los valores mínimo, máximo y medio para los distintos parámetros);
- c) una computadora empleada, por ejemplo, para elaborar los informes SYNOP, METAR y SPECI; y programas informáticos de telecomunicaciones.

El observador debería poder incorporar en estos informes los parámetros que no mida la estación automática, y que pueden incluir el tiempo presente, el tiempo pasado, las nubes (tipo y cantidad) y, en ocasiones, la visibilidad. Por lo tanto, estas estaciones suelen ser para la aviación solamente un medio auxiliar de adquirir datos meteorológicos y no pueden funcionar sin observadores.

Los instrumentos de las estaciones automáticas deberían comprobarse e inspeccionarse regularmente. Las comprobaciones de la calidad son necesarias y están recomendadas si se desea evitar los principales errores y la deriva del instrumento. En el capítulo 1 de la parte II, se aborda el tema de las mediciones realizadas por las estaciones meteorológicas automáticas. En el capítulo 1 de la parte IV, se expone con más detalle el tema de la garantía de la calidad, así como otras cuestiones relativas a la gestión. Para garantizar las prestaciones nominales de los instrumentos automáticos debería establecerse un plan de evaluación detallado que indique los plazos de mantenimiento y calibración, así como unos procedimientos de análisis crítico que permitan mejorar el sistema de observación.

En el *Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 4, se ofrecen recomendaciones sobre la comunicación de información meteorológica obtenida de sistemas de observación automáticos.

## 2.12 **RADAR**

En aeródromos con tráfico intenso, los radares meteorológicos se han vuelto indispensables, ya que permiten una vigilancia eficaz, permanente y en tiempo real, produciendo observaciones complementarias de las observaciones meteorológicas habituales para los aterrizajes y los despegues. Un radar puede proporcionar información sobre una zona extensa de hasta 150 o 200 km a la redonda. También supone una ayuda para la predicción a corto plazo, dentro de la hora u horas próximas que siguen a la observación (posible ayuda para la preparación del informe TREND).

Los ecos recibidos se interpretan con el fin de identificar el tipo de precipitación en torno a la estación: precipitación de nubes convectivas o estratiformes, precipitación aislada o en línea, o precipitación debida a tormentas y, en ciertas condiciones, detección de precipitación en forma de nieve o de granizo. La imagen recibida permite realizar un seguimiento de la trayectoria y la evolución (intensificación o debilitamiento) de las líneas de turbonada o de los frentes. Si el radar está equipado con un sistema Doppler, es posible calcular la velocidad y la dirección de movimiento de los ecos.

Los radares más utilizados operan en longitudes de onda de 3, 5 o 10 cm. El valor seleccionado depende de la región del planeta y de la finalidad perseguida, aunque la tendencia actual va hacia el uso de una longitud de onda de 5 cm.

En ciertas regiones, existen centros que recogen las imágenes de radar de una serie de estaciones del país o región y construyen una imagen compuesta. Los distintos centros también intercambian imágenes para que la cobertura del radar abarque la zona más extensa posible.

En el capítulo 7 de la parte II, se puede encontrar una descripción general de las observaciones por radar.

### 2.13 **SENSOR DE DETECCIÓN DE HIELO**

Este tipo de instrumento, descrito en el capítulo 14 de la parte I, está instalado en varios aeródromos con el fin de ofrecer información sobre el estado de las pistas durante el invierno. Permite medir o detectar la temperatura en la superficie y a unos pocos centímetros por debajo de la pista, la presencia de nieve, agua y hielo liso o blanco, y la presencia de sales o productos descongelantes, si los hubiera. Esos sensores, fabricados como dispositivos compactos, se colocan en ciertos puntos de las pistas o calles de rodaje, y su número dependerá del tamaño del aeródromo y de la cantidad de pistas que se desee proteger. También se instalan sensores atmosféricos cerca de las pistas para medir la temperatura y la humedad del aire, el viento y la precipitación.

Un sistema de adquisición y procesamiento de datos muestra los parámetros medidos y sus variaciones en el tiempo. En función del tipo de programa informático utilizado, los sistemas de aviso advierten a la autoridad aeroportuaria responsable de las operaciones en el aeródromo de la presencia de hielo liso o de predicciones de condiciones peligrosas para las aeronaves.

### 2.14 **DETECCIÓN DE RAYOS**

En los últimos años se han desarrollado sistemas para localizar tormentas basados en la detección de la radiación electromagnética de baja frecuencia proveniente de las descargas eléctricas atmosféricas (véase el capítulo 6 de la parte II). Estos sistemas miden el tiempo que tarda la señal en llegar y/o la dirección de la que proviene. Asimismo, algunos sistemas analizan las características de cada impulso radioeléctrico para identificar las descargas de nube a tierra. En ciertas regiones se instalan varias unidades de este tipo para medir y localizar estos fenómenos en una zona de 50 a 100 km alrededor del aeródromo.

### 2.15 **OTRAS OBSERVACIONES PERTINENTES**

Se debería proporcionar información adicional cuando la atmósfera esté afectada por una contaminación peligrosa, por ejemplo, en el transcurso de erupciones volcánicas. También se debería suministrar información para las operaciones de rescate, especialmente en las estaciones situadas frente a la costa. Si fuera de utilidad para las operaciones aeronáuticas durante el despegue y el aterrizaje, se debería informar del estado de la pista en los METAR y SPECI, conforme a la información suministrada por la autoridad aeroportuaria correspondiente.

La presencia de cenizas volcánicas se debería comunicar (en los informes SIGMET) como parte de la información suplementaria (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, sección 4.8). En OACI (2004 y 2007) puede encontrarse más información sobre observación de cenizas volcánicas, materiales radioactivos y nubes de sustancias químicas tóxicas.

En los informes METAR y SPECI se debería incluir información sobre la temperatura de la superficie del mar y sobre el estado del mar o la altura significativa de las olas, obtenida de

estaciones meteorológicas aeronáuticas instaladas en estructuras situadas frente a la costa como apoyo a las operaciones de helicópteros (*Reglamento Técnico*, Volumen II, parte II, apéndice 3, párrafo 4.8.1.5).

---

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Comité sobre cizalladura del viento a baja altitud y sus peligros para la aviación, 1983: *Low-Altitude Wind Shear and Its Hazard to Aviation*. National Academy Press, Washington D. C. (disponible en: <http://www.nap.edu/books/0309034329/html>).
- Organización de Aviación Civil Internacional, 1993: *Manual de la atmósfera tipo de la OACI: ampliada hasta 80 kilómetros (262 500 pies)*. Tercera edición, Doc. 7488, Montreal.
- , 1996: *Manual on the Provision of Meteorological Service for International Helicopter Operations*. Doc. 9680, Montreal.
- , 2004: *Handbook on the International Airways Volcano Watch (IAVW)*. Segunda edición, Doc. 9766, Montreal.
- , 2005: *Manual de métodos para la observación y la información del alcance visual en la pista*. Tercera edición, Doc. 9328, Montreal.
- , 2007: *Manual sobre nubes de cenizas volcánicas, materiales radiactivos y sustancias químicas tóxicas*. Segunda edición, Doc. 9691, Montreal.
- , 2010: *Unidades de medida que se emplearán en las operaciones aéreas y terrestres*. Anexo 5 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, quinta edición, Montreal.
- , 2011: *Manual de métodos meteorológicos aeronáuticos*. Novena edición, Doc. 8896, Montreal.
- , 2013: *Aeródromos*. Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, volumen I, sexta edición, Montreal.
- Organización Meteorológica Mundial, 1966: *International Meteorological Tables (S. Letestu, ed.) (1973 amendment) (WMO-No. 188)*. Ginebra.
- , 1975: *Atlas Internacional de Nubes: Manual de observación de nubes y otros meteoros (OMM-N° 407)*, volumen I. Ginebra.
- , 1987: *International Cloud Atlas (WMO-No. 407)*, volumen II. Ginebra.
- , 1990: *The First WMO Intercomparison of Visibility Measurements: Final Report (United Kingdom 1988/1989) (D. J. Griggs, D. W. Jones, M. Ouldrige and W. R. Sparks)*. Instruments and Observing Methods Report No. 41 (WMO/TD-No. 401). Ginebra.
- , 1992a: *Vocabulario Meteorológico Internacional (OMM-N° 182)*. Ginebra.
- , 1992b: "Visibility measuring instruments: Differences between scatterometers and transmissometers" (J. P. van der Meulen), en *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-92)*. Instruments and Observing Methods Report No. 49 (WMO/TD-No. 462). Ginebra.
- , 2003: *Guía de prácticas para oficinas meteorológicas al servicio de la aviación (OMM-N° 732)*. Ginebra.
- , 2011a: *Manual de claves (OMM-N° 306)*, volumen I.1. Ginebra.
- , 2011b: *Reglamento Técnico (OMM-N° 49)*, Volumen I. Ginebra.
- , 2012: *Manual de aplicación de normas de enseñanza y formación profesional en meteorología e hidrología (OMM-N° 1083)*, volumen I. Ginebra.
- , 2013: *Reglamento Técnico (OMM-N° 49)*, Volumen II. Ginebra.
- , 2014: *Guía de sistemas meteorológicos de observación y distribución de información para los servicios meteorológicos aeronáuticos (OMM-N° 731)*. Ginebra.
-