

## ÍNDICE DEL CAPÍTULO

	<i>Página</i>
CAPÍTULO 15. OBSERVACIÓN DE LAS NUBES .....	508
15.1 Generalidades .....	508
15.1.1 Definiciones .....	508
15.1.2 Unidades y escalas .....	509
15.1.3 Requisitos meteorológicos .....	510
15.1.4 Métodos de observación y medición .....	510
15.1.4.1 Nubosidad .....	510
15.1.4.2 Altura de la base de las nubes .....	510
15.1.4.3 Tipo de nubes .....	511
15.2 Estimación y observación de la nubosidad, la altura de la base de las nubes y el tipo de nubes por observadores humanos .....	511
15.2.1 Realización de estimaciones efectivas .....	511
15.2.2 Estimación de la nubosidad .....	511
15.2.3 Estimación de la altura de la base de las nubes .....	512
15.2.4 Observación del tipo de nubes .....	513
15.3 Medición de la nubosidad con instrumentos .....	513
15.3.1 Utilización de nefobasímetros láser .....	514
15.3.2 Utilización de pirómetros .....	515
15.3.3 Utilización de cámaras de cielo .....	515
15.4 Medición de la altura de la base de las nubes con instrumentos .....	516
15.4.1 Utilización de nefobasímetros láser .....	516
15.4.1.1 Método de medición .....	516
15.4.1.2 Exposición e instalación .....	517
15.4.1.3 Fuentes de error. ....	517
15.4.1.4 Calibración y mantenimiento .....	518
15.4.2 Utilización de nefobasímetros de haz giratorio .....	518
15.4.2.1 Método de medición .....	518
15.4.2.2 Exposición e instalación .....	519
15.4.2.3 Fuentes de error. ....	519
15.4.2.4 Calibración y mantenimiento .....	519
15.4.3 Utilización de proyectores .....	520
15.4.3.1 Método de medición .....	520
15.4.3.2 Exposición e instalación .....	520
15.4.3.3 Fuentes de error. ....	520
15.4.3.4 Calibración y mantenimiento .....	521
15.4.4 Utilización de globos .....	521
15.4.4.1 Método de medición .....	521
15.4.4.2 Fuentes de error. ....	522
15.5 Medición del tipo de nubes con instrumentos .....	522
15.6 Otras propiedades relacionadas con las nubes .....	522
15.6.1 Visibilidad vertical .....	522
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA .....	524

## CAPÍTULO 15. OBSERVACIÓN DE LAS NUBES

### 15.1 GENERALIDADES

Las observaciones de las nubes y la estimación o medición de la altura de sus bases sobre la superficie terrestre son importantes para muchos fines, y especialmente para las aplicaciones operativas de la meteorología. En este capítulo se describen los métodos más utilizados. En OMM (1975 y 1987), donde figuran descripciones específicas de las nubes e ilustraciones para ayudar a identificar los tipos de nubes, se encuentra otra información importante. En OMM (2014) figura información relativa a las prácticas propias de la meteorología aeronáutica.

#### 15.1.1 Definiciones

*Nube*: conjunto de gotas de agua muy pequeñas, cristales de hielo, o una mezcla de ambos, que tiene su base por encima de la superficie terrestre y que resulta apreciable desde el lugar de observación. El diámetro restrictivo de la partícula líquida es del orden de 200  $\mu\text{m}$ ; las gotas de mayor tamaño comprenden llovizna o lluvia.

Con excepción de ciertos tipos raros (por ejemplo, nubes nacaradas y noctilucentes) y la aparición ocasional de cirrus en la estratosfera baja, las nubes se encuentran solo en la troposfera. Se forman principalmente como resultado de la condensación de vapor de agua en núcleos de condensación en la atmósfera. La formación de nubes se produce en el desplazamiento vertical de aire que tiene lugar en la convección, en el ascenso forzado sobre suelo elevado, o en el desplazamiento vertical en gran escala asociado con depresiones y frentes. En condiciones adecuadas de humedad y de gradiente vertical de la temperatura, las nubes pueden ser el resultado de turbulencia en capas bajas y de otras causas secundarias. Las actividades humanas, como la aviación o la industria, también pueden producir la formación de nubes añadiendo núcleos de condensación a la atmósfera.

A temperaturas inferiores a 0 °C, las partículas de nube suelen constar por completo de gotas de agua subfundidas que descienden a unos -10 °C en el caso de las nubes estratiformes, y hasta unos -25 °C en el de las nubes convectivas. A temperaturas inferiores a estos límites muy aproximados y por encima de unos -40 °C, muchas nubes son "mixtas", y los cristales de hielo predominan en la parte más baja del rango de temperaturas.

*Nubosidad*: fracción del cielo que se estima quedará cubierta por un tipo determinado de nubes (nubosidad parcial), o por todos los tipos de nubes (nubosidad total). En ambos casos, la estimación se redondea a la octa más próxima (octavo), y se comunica en una escala que es esencialmente una de las octas más próximas, salvo que las cifras 0 y 8 de la escala significan un cielo totalmente despejado y nuboso, respectivamente, con el consiguiente ajuste a otras cifras próximas en cada extremo de la escala.

*Base de la nube*: zona más baja en la que el tipo de oscurecimiento perceptible cambia del propio del aire claro o calima al correspondiente a gotas de agua o cristales de hielo causando un cambio significativo en el perfil del coeficiente de atenuación por retrodispersión. En el aire por debajo de la nube, las partículas que causan oscurecimiento muestran alguna selectividad espectral mientras que en la nube prácticamente no hay selectividad; la diferencia se debe a los distintos tamaños de gotas. La altura de la base de la nube se define como la altura sobre el nivel del suelo. Para una estación meteorológica aeronáutica, el nivel del suelo (superficie) se define como la elevación oficial del aeródromo.

Tipo de nube (clasificación): hay diversos métodos de clasificación de las nubes, a saber:

- a) En OMM (1975), la división se hace en géneros de nubes, con 10 formas características esenciales, y una nueva subdivisión en caso necesario, en:

- i) especies de nubes (forma y estructura de las nubes);
  - ii) variedades de nubes (disposición y transparencia de las nubes);
  - iii) rasgos suplementarios y nubes accesorias, por ejemplo, incus, mamma, virga, praecipitatio, arcus, tuba, pileus, velum y pannus;
  - iv) desarrollo de un nuevo género de nubes a partir de una nube madre, indicado por la adición del término “genitus” a los nuevos géneros de nube y nube madre —en este orden, si resulta afectada una parte pequeña de la nube madre— y del término “mutatus” si resulta afectada gran parte o la totalidad de la nube madre; por ejemplo, stratocumulus cumulogenitus, o stratus stratocumulomutatus.
- b) Se hace una clasificación según el nivel —alto, medio o bajo— en que se encuentran normalmente los diversos géneros de nubes. En las regiones templadas, los límites aproximados son: alto, de 6 a 12 km (20 000 a 40 000 pies); medio, desde la superficie terrestre hasta 6 km (0 a 20 000 pies); y bajo, desde la superficie terrestre hasta 1,5 km (0 a 5 000 pies). Las nubes altas son cirrus, cirrocumulus y cirrostratus; las nubes medias son alto cumulus, altostratus (esta última se extiende con frecuencia a mayor altura) y nimbostratus (que se extiende normalmente a mayor y menor altura); y las nubes bajas son stratocumulus, stratus, cumulus y cumulonimbus (las dos últimas alcanzan también a menudo niveles medios y altos).

Para fines sinópticos, en cada una de estas tres últimas divisiones de géneros de nubes se hace una clasificación nónupla, designándose las claves correspondientes  $C_H$ ,  $C_M$  y  $C_L$  respectivamente, con el fin de comunicar los estados característicos del cielo, en lugar de los tipos individuales de nubes.

- c) Se establecen clasificaciones menos formales:
- i) según los procesos físicos de formación de las nubes, sobre todo nubes cumuliformes y nubes estratiformes;
  - ii) según la composición de las nubes, a saber, nubes de cristales de hielo, nubes de gotas de agua y nubes mixtas.

La mayoría de estas formas de nubes se ilustran con fotografías en OMM (1987).

*Visibilidad vertical:* distancia máxima a la que un observador puede ver e identificar un objeto en su vertical, tanto hacia arriba como hacia abajo. La visibilidad vertical puede calcularse a partir del perfil de atenuación (o extinción) medido,  $\sigma(h)$ , como se establece en OMM (2010). La relación, sin embargo, es menos simple que para la visibilidad horizontal, porque  $\sigma$  no puede considerarse como un valor constante. No obstante, puede aplicarse la regla  $I(h = VV)/I_{10} = 5\%$ . Teniendo en cuenta esta hipótesis, la visibilidad vertical puede expresarse en una relación con  $\sigma(h)$  en la que  $VV$  se representa intrínsecamente, es decir:

$$\int_{h=0}^{h=VV} \sigma(h) dh = -\ln(5\%) \approx 3 \quad (15.1)$$

Véase también el capítulo 2 de la parte II (ecuaciones 2.6 y 2.7).

### 15.1.2 Unidades y escalas

La unidad de medición de la altura de la nube es el metro o, para algunas aplicaciones aeronáuticas, el pie. La unidad de nubosidad es la octa, que es la octava parte de la bóveda celeste cubierta por una nube.

### 15.1.3 **Requisitos meteorológicos**

Para fines meteorológicos hay que efectuar observaciones de la nubosidad, del tipo de nube y de la altura de la base de la nube. Para las observaciones sinópticas, en OMM (2011) hay estipulaciones específicas de codificación para describir en forma óptima las condiciones de las nubes desde la superficie hasta las capas altas. Desde el espacio se realizan observaciones de la nubosidad y de la temperatura (de las que se deduce la altura de la cima de la nube). También se utilizan las mediciones desde el espacio para seguir la evolución de las nubes y del tiempo atmosférico.

Los requisitos de incertidumbre de las mediciones se resumen en el capítulo 1 de la parte I (anexo 1.E).

### 15.1.4 **Métodos de observación y medición**

#### 15.1.4.1 **Nubosidad**

Tradicionalmente, las mediciones de la nubosidad se hacían mediante observación visual. En la actualidad, está ampliamente generalizado el uso de métodos instrumentales, que se utilizan operativamente en muchas aplicaciones para determinar la nubosidad y la altura de las nubes. Se determina la nubosidad en cada capa identificada y la nubosidad total vistas desde el punto de observación.

La nubosidad total, o cantidad total de nubes, es la fracción de la bóveda celeste cubierta por todas las nubes visibles. Por lo tanto, la evaluación de la nubosidad total consiste en estimar la cantidad de la zona aparente total del cielo cubierta por nubes.

La nubosidad parcial es la cantidad de cielo cubierta por cada tipo de nube o por nubes estratiformes, como si fuera el único tipo de nube que hubiera en el cielo. La suma de las nubosidades parciales puede rebasar la nubosidad total, y exceder de 8 octas.

La escala para registrar la nubosidad es la que figura en la tabla de cifrado 2700 en OMM (2011), que se reproduce a continuación:

Cifra de clave		Significado
0	0	0
1	1 octa o menos, pero no cero	1/10 o menos, pero no cero
2	2 octas	2/10 a 3/10
3	3 octas	4/10
4	4 octas	5/10
5	5 octas	6/10
6	6 octas	7/10 a 8/10
7	7 octas o más, pero no 8 octas	9/10 o más, pero no 10/10
8	8 octas	10/10
9	Cielo oscurecido por la niebla y/u otros fenómenos meteorológicos	
/	La cubierta de nubes no es discernible por razones diferentes de la niebla u otros fenómenos meteorológicos, o no se ha hecho la observación	

#### 15.1.4.2 **Altura de la base de las nubes**

La altura de la base de las nubes se presta en sí misma a la medición con instrumentos, que se utilizan ampliamente en la actualidad en lugares donde la altura de las nubes es importante desde el punto de vista operativo. Sin embargo, el uso de observadores humanos para hacer las estimaciones de la altura de la base de las nubes está muy generalizado.

En las operaciones rutinarias se utilizan varios tipos de instrumentos, que se describen en este capítulo. Bajo la coordinación de la OMM, en 1986 se efectuó una comparación internacional de varios tipos, de la que se informó en OMM (1988). El informe contiene una útil reseña de la exactitud de las mediciones y del rendimiento de los instrumentos.

La medición con instrumentos de la altura de la base de las nubes es común e importante para los servicios meteorológicos aeronáuticos. Este tema se trata más a fondo en el capítulo 2 de la parte II.

#### 15.1.4.3 **Tipo de nubes**

En la actualidad, el único método para observar la mayoría de los tipos de nubes es la observación visual. Se dispone de guías prácticas y de información sobre codificación procedentes de numerosas fuentes, tales como las publicaciones de la OMM (1975 y 1987), y publicaciones de los Servicios Meteorológicos Nacionales.

## 15.2 **ESTIMACIÓN Y OBSERVACIÓN DE LA NUBOSIDAD, LA ALTURA DE LA BASE DE LAS NUBES Y EL TIPO DE NUBES POR OBSERVADORES HUMANOS**

### 15.2.1 **Realización de estimaciones efectivas**

El emplazamiento utilizado para estimar las variables relacionadas con las nubes debería permitir la visión más amplia posible del cielo, y no debería resultar afectado por resplandores frecuentes que interferirían en las observaciones nocturnas. Al hacer observaciones nocturnas es muy importante que el observador disponga de tiempo suficiente para que los ojos se adapten a la oscuridad.

Naturalmente, muchas veces hay grandes dificultades para estimar la nubosidad, sobre todo de noche. La observación previa de la evolución de las nubes y el conocimiento general de su estructura ayudará al observador a lograr los mejores resultados posibles. También puede ser útil el acceso a informes procedentes de las aeronaves.

### 15.2.2 **Estimación de la nubosidad**

El observador debería dar el mismo valor a las zonas altas y a las que se encuentran en elevaciones angulares más bajas. A veces, cuando las nubes están distribuidas en forma irregular, conviene considerar el cielo en cuadrantes separados divididos por diámetros perpendiculares. La suma de las estimaciones de cada cuadrante se considera entonces como el total del cielo en su conjunto.

La cifra de clave 9 se comunica cuando el cielo es invisible debido a niebla, nieve, etc., o cuando el observador no puede estimar la nubosidad debido a la oscuridad o a resplandores externos. Durante las noches sin luna, normalmente debería ser posible estimar la nubosidad total con referencia a la proporción del cielo en que las estrellas están borrosas o completamente ocultas por las nubes, aunque basta la calima para ocultar las estrellas cerca del horizonte.

El observador ha de estimar asimismo la nubosidad parcial. Hay veces en que las nubes estratiformes más altas están parcialmente oscurecidas por nubes más bajas, por ejemplo. En esos casos puede hacerse una estimación de la extensión de las nubes altas con relativa seguridad observando el cielo de día durante un breve período. El desplazamiento de las nubes bajas con relación a las altas debería revelar si la capa superior cubre completamente el cielo o hay claros en él.

Cabe señalar que la estimación de la cantidad de cada tipo diferente de nube se realiza independientemente de la estimación de la nubosidad total. La suma de estimaciones separadas de cantidades de nubes parciales supera a menudo la nubosidad total, así como también excede con frecuencia de ocho octavos.

### 15.2.3 **Estimación de la altura de la base de las nubes**

En las estaciones que no disponen de equipo de medición, los valores de la altura de la base de las nubes únicamente pueden estimarse. En zonas montañosas, la altura de cualquier base de nube que sea más baja que la cumbre de las montañas que rodean a la estación puede estimarse por comparación con las alturas de características topográficas bien marcadas indicadas en un mapa topográfico del distrito. Conviene disponer, para visualizarlo permanentemente, de un diagrama con detalles de las alturas y marcaciones de montículos y referencias que puedan ser útiles para estimar la altura de las nubes. Debido a la perspectiva, la nube puede parecer que descansa en montículos distantes, y el observador no tiene por qué suponer necesariamente que esto refleja la altura de la nube sobre el lugar de observación. En todos los casos, el observador ha de hacer uso de su propio juicio, tomando en consideración la forma y la apariencia general de la nube.

En el cuadro que figura a continuación se indica la distancia de las alturas de la base de las nubes sobre el nivel del suelo, aplicable a diversos géneros de nubes en regiones templadas, con referencia a un nivel de la estación no superior a 150 m (500 pies) sobre el nivel medio del mar. Para observar emplazamientos a alturas sustancialmente superiores, o estaciones en montañas, la altura de la base de una nube baja sobre las estaciones frecuentemente será menor que la señalada en el cuadro.

En otras zonas climáticas, y especialmente en condiciones tropicales secas, las alturas de la base de las nubes pueden diferir sustancialmente de los rangos indicados. Las diferencias pueden plantear problemas de clasificación de las nubes, y hacer más difícil la estimación de la altura. Por ejemplo, se han confirmado, por observaciones de aeronaves, informes de nubes de cumulus tropicales de origen claramente convectivo, con una base bastante por encima de 2 400 m (8 000 pies) e incluso de 3 600 m (12 000 pies). Debe señalarse que, en esos casos, los observadores de superficie subestiman con frecuencia las alturas de nubes hasta un grado muy considerable. Esas bajas estimaciones pueden deberse a dos factores: o bien el observador espera que la nube de cumulus sea una "nube baja" con su base por debajo de 2 000 m (6 500 pies) y normalmente inferior a 1 500 m (5 000 pies), o las condiciones atmosféricas y la forma de la nube pueden combinarse para producir una ilusión óptica.

Cuando se efectúa de noche una estimación directa de la altura de la base de las nubes, el éxito depende en gran medida de la identificación correcta de la forma de la nube. El conocimiento meteorológico general y la atenta observación del tiempo son muy importantes a la hora de juzgar si una base de nube ha permanecido sustancialmente invariable o ha aumentado o disminuido. Un caso muy difícil, que requiere gran cuidado y conocimiento es cuando una capa de altostratus cubre el cielo durante el atardecer. Puede ser sumamente difícil detectar cualquier disminución gradual de esas nubes estratiformes, pero, cuando descienden, es raro que la base sea totalmente uniforme, y con frecuencia pueden discernirse pequeños contrastes todas las noches salvo durante las más oscuras.

**Altura de la base de los géneros de nubes sobre el nivel del suelo en las regiones templadas**

<i>Género de nube</i>	<i>Rango habitual de la altura de la base<sup>a</sup></i>		<i>Rango más amplio de la altura de la base observado a veces y comentarios</i>	
	<i>(metros)</i>	<i>(pies)</i>	<i>(metros)</i>	<i>(pies)</i>
<b>Baja</b>				
Stratus	Superficie a 600	Superficie a 2 000	Superficie a 1 200	Superficie a 4 000
Stratocumulus	300 a 1 350	1 000 a 4 500	300 a 2 000	1 000 a 6 500
Cumulus	300 a 1 500	1 000 a 5 000	300 a 2 000	1 000 a 6 500
Cumulonimbus	600 a 1 500	2 000 a 5 000	300 a 2 000	1 000 a 6 500
<b>Media</b> (kilómetros)				
Nimbostratus	Superficie a 3  2 a 6	Superficie a 10 000	El nimbostratus se considera una nube media, para fines sinópticos, aunque puede extenderse a otros niveles.  El altostratus puede espesarse con la progresiva reducción de la base y convertirse en nimbostratus.	
Altostratus		6 500 a 20 000		
Altostratus				
<b>Alta</b>				
Cirrus	6 a 12	20 000 a 40 000	Pueden producirse cirrus a partir de cumulonimbus que se disipan bastante por debajo de 6 km (20 000 pies) en invierno.  El cirrostratus puede volverse altostratus.	
Cirrostratus				
Cirrocumulus				

Nota:

a Para estaciones situadas por encima de 150 m sobre el nivel del mar, la base de nubes en capas bajas frecuentemente será inferior

**15.2.4 Observación del tipo de nubes**

Las observaciones del tipo de nubes todavía son efectuadas en gran medida por observadores humanos. Se dispone de guías prácticas y de información sobre codificación procedentes de numerosas fuentes, tales como las publicaciones de la OMM (1975 y 1987), y publicaciones de los Servicios Meteorológicos Nacionales.

**15.3 MEDICIÓN DE LA NUBOSIDAD CON INSTRUMENTOS**

Se dispone de diversos tipos de sensores operativos en tierra para medir la nubosidad total. Las mediciones desde radiómetros espaciales en la banda visible, complementadas con imágenes en el infrarrojo, pueden utilizarse para estimar la nubosidad en zonas extensas, pero con frecuencia surgen dificultades; por ejemplo, la imposibilidad de distinguir entre stratus bajos y niebla. Las cantidades de nubes bajas en el rango de un nefobasímetro pueden estimarse midiendo la proporción de tiempo transcurrido ocupado por capas bien identificadas, y suponiendo que esos resultados promediados en el tiempo sean representativos de las condiciones especiales en torno al lugar de observación. En meteorología sinóptica, esta técnica es satisfactoria en muchos casos, pero para las observaciones en aeródromos puede dar lugar a errores importantes en la estimación de la nubosidad sobre el aeródromo. Para las estaciones meteorológicas automáticas en Estados Unidos de América se ha desarrollado una técnica de "agrupación", en la que se utilizan datos de nefobasímetros. Otros países, como Suecia (Larsson y Esbjörn, 1995) y los Países

Bajos (Wauben, 2002), han introducido técnicas similares en sus observaciones operativas. Otros instrumentos que se emplean para medir la nubosidad son los pirómetros, que pueden realizar mediciones en múltiples direcciones fijas y/o explorar el cielo, y las cámaras de cielo diseñadas especialmente para ese fin.

### 15.3.1 Utilización de nefobasímetros láser

Varios servicios meteorológicos utilizan series cronológicas de mediciones de la altura de la base de las nubes obtenidas con nefobasímetros láser (véase la sección 15.4.1) para determinar la nubosidad. Este método tiene algunas ventajas en comparación con las observaciones manuales. La utilización de un nefobasímetro permite obtener resultados más consistentes. Además, la información puede obtenerse con mayor frecuencia y no existe ningún inconveniente durante la noche. Ahora bien, el método también presenta algunas desventajas: pueden producirse desviaciones importantes cuando, en presencia de nubes cirrus altas de poco espesor, se reduce la capacidad del nefobasímetro; cuando el nefobasímetro comunica una capa de humedad como la base de una nube; cuando, durante una precipitación, el nefobasímetro no detecta la base de una nube o lo hace a una altura incorrecta; y cuando, en caso de niebla baja, el nefobasímetro comunica la base de una nube en la cota más baja. Este método depende del desplazamiento de las nubes dentro del campo de visión del instrumento y las nubes no siempre se desplazan. Aun en el caso de que las nubes se desplacen en el campo de visión del nefobasímetro, podrían no ser representativas de la cobertura total de cielo. Por lo tanto, las series cronológicas de la altura de la base de las nubes no siempre representan la totalidad del cielo en la que debería basarse la comunicación de la nubosidad. Según se constató en estaciones costeras ubicadas en latitudes medias (OMM, 2006a), las concordancias (dentro de un margen de 2 octas) entre este método y la observación manual de la cantidad total de nubes son, habitualmente, del 80% al 90%. No obstante, la mayoría de las discrepancias se pueden atribuir a la representatividad espacial limitada de los nefobasímetros, que solo miden la pequeña columna que se encuentra directamente por encima del instrumento.

Algunos aeropuertos están provistos de varios nefobasímetros y de un algoritmo para determinar el estado del cielo a partir de múltiples nefobasímetros. Sin embargo, las pruebas realizadas en un aeropuerto solo han revelado pequeñas mejoras cuando se utilizan tres nefobasímetros frente a uno solo (Wauben, 2002), de lo que se desprende que realizar mediciones en tres puntos, en vez de en uno, sigue siendo insuficiente para obtener un valor representativo de la totalidad del cielo.

En el sistema automático de observación de la superficie (ASOS) del Servicio Meteorológico Nacional de Estados Unidos de América, el indicador de altura de las nubes (nefobasímetro láser, véase la sección 15.4.1) recopila muestras de señales de retorno de la retrodispersión cada 30 segundos y determina la altura de los "ecos" válidos de la nube. Cada minuto, se procesan los últimos 30 minutos de datos de 30 segundos para dar una ponderación doble a los últimos 10 minutos con el fin de responder mejor a los últimos cambios en el estado del cielo. Luego se ordenan los datos en "casillas" de altura.

Cada minuto, si se han registrado más de cinco valores de casillas de altura (durante los últimos 30 minutos), se agrupan las alturas de nubes en capas usando el procedimiento estadístico de los mínimos cuadrados hasta que solo quedan cinco casillas (cada una puede contener muchos ecos). Estas casillas, o agrupaciones, se ordenan luego de menor a mayor altura. A continuación, el sistema ASOS determina si las agrupaciones se pueden combinar y redondear, según la altura, en grupos de alturas meteorológicamente significativos. Las casillas resultantes ahora se denominan "capas" y el algoritmo selecciona hasta tres de estas capas que deben comunicarse en el METAR/SPECI de conformidad con la prioridad nacional de comunicación de las nubes estratiformes.

La cantidad de cielo cubierto de nubes se determina sumando el número total de ecos en cada capa y calculando la proporción de esos ecos respecto al total posible. Si hay más de una capa, se agregan los ecos de la primera capa a la segunda (y tercera) para obtener la cobertura total. A efectos de comunicación, la nubosidad medida para cada capa a través del sistema ASOS se convierte, seguidamente, en una función estadística equivalente a una observación humana.



El algoritmo también realiza pruebas del oscurecimiento total del cielo conforme a criterios de baja visibilidad en superficie y un alto porcentaje de “ecos desconocidos” en los niveles bajos.

También se ha desarrollado un algoritmo sobre el estado del cielo para aplicarlo donde normalmente se forman las nubes (o advección) en (o desde) un lugar conocido y se originan diferencias simultáneas significativas en las condiciones del cielo sobre un aeródromo. Este algoritmo de discontinuidad meteorológica utiliza la información de entrada de dos sensores indicadores de altura de las nubes. El sensor primario está situado cerca de la zona de la toma de contacto de la pista de aterrizaje del instrumento primario. El segundo sensor está situado normalmente a entre 3 y 6 km (2 a 4 millas) del sensor primario, a barlovento en la dirección más probable de la advección, o más cerca de la fuente fija de la condición singular del cielo. El segundo indicador de altura de las nubes sirve para detectar las diferencias significativas en las condiciones del cielo en términos operativos.

Se dan más detalles del algoritmo del sistema ASOS sobre el estado del cielo y su verificación en Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (1988) y en Gobierno de Estados Unidos de América (1999).

### 15.3.2 Utilización de pirómetros

Los pirómetros, o radiómetros de infrarrojos pasivos, son básicamente termómetros de teledetección por infrarrojo (8 a 14  $\mu\text{m}$ ). Permiten observar los ángulos sólidos principales del cielo utilizando múltiples sensores fijos (por ejemplo, medir todo el cielo con cuatro sensores fijos), explorando toda la bóveda celeste con un solo sensor, o mediante una combinación de ambos métodos (el modelo de un fabricante está provisto de 14 sensores a lo largo de 180 grados de elevación de un horizonte al otro y de un mecanismo físico que explora el acimut). Se mide la emisión térmica descendente de las nubes y la columna de aire entre las nubes y el instrumento y, a partir de una combinación de las leyes de Planck y de Stefan-Boltzmann, se obtiene la temperatura de cada ángulo sólido muestreado. Luego, con la temperatura medida con infrarrojo, se puede determinar la presencia de nubes en cada ángulo sólido muestreado. Por último, se determina la proporción total de cielo con presencia de nubes, que se comunica como nubosidad.

Los pirómetros de exploración evitan los problemas de representatividad de la medición que está presente en otros métodos, dependiendo del número de puntos muestreados; además, es posible efectuar observaciones por la noche. La desventaja radica en que los “píxeles” fraccionarios y/o transparentes son difíciles de clasificar.

### 15.3.3 Utilización de cámaras de cielo

Existen cámaras específicamente diseñadas para medir la nubosidad que observan el cielo mediante, por ejemplo, espejos curvos. La imagen del cielo se analiza utilizando un algoritmo que determina si una nube está presente en cada píxel mediante la medición del color. La nubosidad es el resultado de la suma total de píxeles.

Este método evita los problemas de representatividad de la medición que pueden estar presentes en algunos otros métodos. Algunas cámaras usan la luz del día y, por lo tanto, no pueden emplearse por la noche. Las cámaras que miden en el espectro infrarrojo no tienen esa desventaja, pero su campo de visión es más pequeño y son más caras. Las cámaras de cielo requieren un mantenimiento frecuente en lo que respecta a la limpieza de las superficies ópticas.

## 15.4 MEDICIÓN DE LA ALTURA DE LA BASE DE LAS NUBES CON INSTRUMENTOS

Existen diversos métodos para medir la altura de la base de las nubes, a saber, el nefobasímetro láser, el nefobasímetro de haz giratorio, los proyectores y los globos. El método más común actualmente es el nefobasímetro láser. Este método tiene grandes ventajas respecto de otras tecnologías y, en consecuencia, debería ser considerado el más apropiado.

### 15.4.1 Utilización de nefobasímetros láser

#### 15.4.1.1 Método de medición

Con el nefobasímetro láser, la altura de la base de las nubes se determina midiendo el tiempo que tarda un impulso de luz coherente en desplazarse desde un transmisor hasta la base de la nube y volver a un receptor (principio basado en la tecnología lidar, es decir, la detección y localización por ondas luminosas). La salida de un aparato láser se dirige hacia arriba verticalmente donde, si hay nubes sobre el transmisor, la radiación es dispersada por los hidrometeoros que conforman la nube. La mayor parte de la radiación se dispersa hacia arriba, pero alguna lo hace hacia abajo, y se centra en el receptor, pasando a un detector fotoeléctrico. El flujo radiante que llega al receptor por retrodispersión disminuye con la distancia, según la ley de la inversa del cuadrado. El nefobasímetro (figura 15.1) generalmente comprende dos unidades, un conjunto transmisor-receptor y un dispositivo de registro.

El transmisor y el receptor están montados uno al lado del otro en un mismo alojamiento, junto con la electrónica para la detección de la señal y el procesamiento. La fuente luminosa es generalmente un láser de semiconductor con una longitud de onda en el infrarrojo cercano. La óptica del transmisor está dispuesta de manera que la fuente láser y el detector del receptor se encuentren en el foco de un sistema telescópico tradicional o newtoniano. Las superficies de las lentes tienen revestimientos adecuados de un cuarto de longitud de onda para reducir la reflexión y proporcionar una elevada transmisión de luz. La apertura del transmisor está tapada por una vidriera, protegida contra la reflexión en su superficie interna, con un ángulo con respecto a la posición horizontal, de manera que la lluvia corra.

El receptor está construido en forma similar al transmisor, salvo que la fuente luminosa es sustituida por un fotodiodo, y que lleva incorporado un filtro óptico de banda estrecha. El filtro rechaza la mayor parte de la radiación solar difusa de fondo, con lo que mejora la detección de la radiación láser dispersa durante el día.

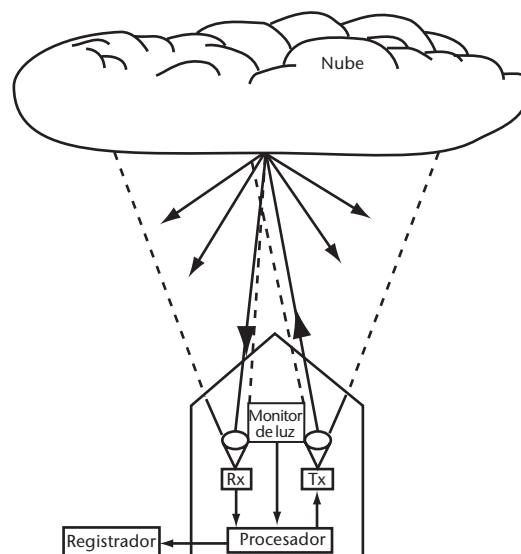


Figura 15.1. Nefobasímetro láser típico

El transmisor y el receptor están montados uno junto al otro, de manera que el haz del transmisor y el campo de visión del receptor comiencen a superponerse a unos 5 m por encima del montaje y se superpongan totalmente a varios centenares de metros. Algunos sistemas utilizan la misma lente para la transmisión y para la recepción de la radiación, a fin de evitar este problema.

El alojamiento está provisto de calefactores para impedir la condensación en las superficies ópticas, mientras que la humedad en su interior se reduce utilizando un desecante. La parte superior del alojamiento está cubierta con una campana provista de deflectores ópticos que impiden el paso de la luz solar directa.

La salida del detector está dividida en “ventanas telemétricas” secuenciales, cada una de las cuales representa el mínimo incremento de altura detectable. Se incorpora un umbral de manera que la probabilidad de que el instrumento no “vea” una nube, o “vea” una nube que no existe, sea remota.

#### 15.4.1.2 **Exposición e instalación**

El equipo debería estar montado sobre una base de nivel firme con una clara visión hacia arriba dentro de un cono de unos 30° con respecto a la vertical. De ser preciso, puede utilizarse una azotea con el ajuste adecuado de las alturas comunicadas a nivel del suelo. Si bien los nefobasímetros láser utilizados con fines operativos están concebidos para no dañar los ojos, hay que tratar de impedir que el observador casual mire directamente el haz transmitido.

Para reducir los efectos de la fuerte reflexión de las gotas de lluvia, el telescopio puede alinearse con respecto al haz en aproximadamente unos 5° desde la vertical.

#### 15.4.1.3 **Fuentes de error**

Hay cuatro fuentes principales de error:

- a) Errores en la medición de la distancia: estos pueden ocurrir si se producen averías en los principales circuitos del oscilador temporizador, pero en el funcionamiento normal puede descartarse el error debido a esta fuente.
- b) Verticalidad de los haces transmitidos/recibidos: siempre y cuando el instrumento tenga una alineación mejor de 5° con respecto al haz, desde la vertical, los errores debidos a esta fuente pueden descartarse.
- c) Errores debidos al sistema de procesamiento de la señal: como la base de una nube es generalmente difusa y varía considerablemente con el tiempo y la distancia, se han elaborado complejos algoritmos para estimar una base de nube representativa a partir de la señal de retorno de una nube. En condiciones de niebla (con nube o sin nube encima) y de precipitación, pueden generarse grandes errores; por tanto, es importante conocer las condiciones de visibilidad y de precipitación para estimar el valor de la información de un nefobasímetro. En condiciones en las que se dan nubes estratiformes bien definidas (por ejemplo, stratocumulus bajo), los errores de medición solo son controlados por los algoritmos del umbral de nubes, y pueden considerarse coherentes para una marca determinada de nefobasímetro.
- d) Distancia de la medición: debido a la limitada potencia disponible del láser, la radiación reflejada desde grandes altitudes puede ser de tan baja intensidad que no se pueda detectar. Por consiguiente, no siempre será posible observar la altura de la base de las nubes cirrus.

En el uso operativo, y en condiciones de base de nube uniforme, las mediciones efectuadas con un nefobasímetro láser pueden compararse periódicamente con las de globos piloto, las mediciones realizadas por aeronaves y, durante la noche, con mediciones de proyectores de nubes. Se han efectuado numerosas intercomparaciones de nefobasímetros láser de distintos

fabricantes. Durante la Intercomparación internacional de nefobasímetros de la OMM (OMM, 1988), por ejemplo, se intercompararon varios diseños de nefobasímetros, y se hicieron comparaciones con las observaciones de nefobasímetros de haz giratorio y con las de globos piloto. La intercomparación internacional reveló que, utilizando tecnología moderna, los nefobasímetros láser proporcionaban el medio más exacto, fiable y eficiente de medir la altura de la base de las nubes desde el suelo, en comparación con otros equipos.

#### 15.4.1.4 **Calibración y mantenimiento**

La mayoría de los nefobasímetros láser están provistos de dispositivos de capacidad que comprueban la potencia de salida transmitida y protegen contra graves errores de cronometraje. Las verificaciones de calibración se limitan normalmente a comprobar la frecuencia y la estabilidad del oscilador patrón utilizando patrones de frecuencia externos de gran calidad y comprobando la potencia de salida del transmisor. La calibración también puede realizarse por intercomparación (OMM, 1988). Apuntando el nefobasímetro hacia un objetivo a una distancia conocida (por ejemplo, una torre) se podrá confirmar la medición de la distancia del instrumento. El mantenimiento periódico consiste, normalmente, en limpiar los elementos ópticos expuestos y las cubiertas externas, y en sustituir los filtros de aire cuando existen ventiladores.

#### 15.4.2 **Utilización de nefobasímetros de haz giratorio**

##### 15.4.2.1 **Método de medición**

El principio de funcionamiento del nefobasímetro de haz giratorio (NHG) comprende la medición del ángulo de elevación de una exploración de un haz luminoso en el plano vertical, en el instante en que una proporción de la luz dispersada por la base de la nube se recibe en una célula fotoeléctrica orientada verticalmente hacia arriba a una distancia conocida de la fuente de luz (véase la figura 15.2). El equipo consta de un transmisor, un receptor y un registrador.

El transmisor emite un haz luminoso estrecho con una divergencia de unos  $2^\circ$ , con la mayor parte de la radiación emitida en longitudes de onda del infrarrojo cercano, es decir, de 1 a  $3\ \mu\text{m}$ . Por tanto, la longitud de onda utilizada es pequeña en comparación con el tamaño de las gotas de agua en la nube. El haz luminoso se barre en un arco vertical que se extiende normalmente desde  $8^\circ$  hasta  $85^\circ$ , con una modulación de 1 kHz aproximadamente, por lo que, utilizando métodos de detección sensibles a la fase, mejora la relación señal/ruido en el receptor.

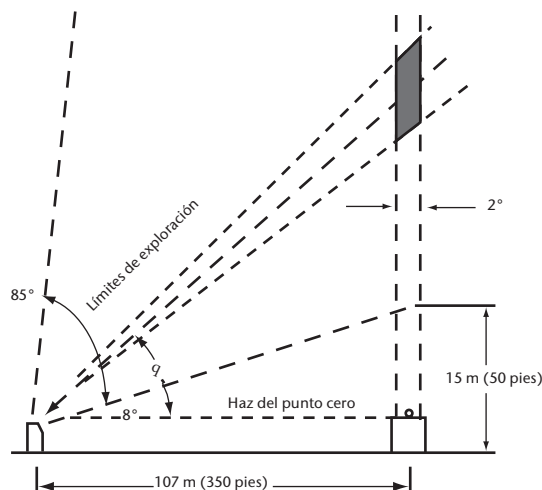


Figura 15.2. Nefobasímetro de haz giratorio típico

El equipo receptor comprende una célula fotoeléctrica y un reductor de incidencia directa, el cual asegura que solo llegue a la célula fotoeléctrica la luz que desciende verticalmente. Cuando se recibe una señal de nube, se registra mediante la plumilla del dispositivo que se desplaza simultáneamente con el haz del transmisor.

#### 15.4.2.2 **Exposición e instalación**

El transmisor y el receptor deberían encontrarse en un espacio abierto a nivel del suelo separados por unos 100 a 300 m, y montados sobre plintos firmes y estables. Es sumamente importante que el transmisor explore en el mismo plano que el receptor. Esto se logra mediante una alineación precisa de la óptica y comprobando el plano del haz del transmisor en condiciones adecuadas durante la noche.

#### 15.4.2.3 **Fuentes de error**

Los errores en la medición de la altura de la base de las nubes mediante NHG pueden deberse a:

- a) la apertura angular del haz;
- b) la desalineación óptica;
- c) las tolerancias mecánicas en las partes móviles;
- d) la respuesta del receptor.

Como en la mayoría de los diseños el volumen de intersección del cono del transmisor y del receptor es muy importante con una altura de las nubes superior a 500 m, los errores debidos a la apertura del haz son generalmente los más graves. La definición de la base de nube que figura en la sección 15.1.1 no constituye un fundamento adecuado para el diseño objetivo de nefobasímetros; por tanto, los algoritmos de uso corriente se basan en resultados experimentales y en comparaciones con otros métodos de estimación. Algunos NHG emplean una técnica de "umbral" para determinar la presencia de nubes, y otros utilizan un sistema de detección de la señal "máxima". En ambos casos, la sensibilidad del receptor afectará a las alturas de nubes comunicadas, lo que da lugar a grandes errores que superan los requisitos operativos declarados en determinadas circunstancias (Douglas y Offiler, 1978). Esos errores aumentan en general con la altura indicada.

El NHG es muy sensible a la presencia de precipitación y, cuando esta es moderada o fuerte, el instrumento puede indicar erróneamente nubes bajas o no detectar ninguna nube. En condiciones de niebla, es posible que el haz luminoso se disipe a un bajo nivel y que el nefobasímetro sea incapaz de dar alguna indicación útil de las nubes, incluso cuando existan nubes estratiformes bajas.

Se han realizado comparaciones de NHG y de nefobasímetros láser, de las que se ha informado ampliamente (OMM, 1988), y que han mostrado un buen acuerdo entre los dos tipos de nefobasímetro en alturas indicadas hasta unos 500 m, pero la eficiencia de la detección con precipitación del NHG es notablemente inferior.

#### 15.4.2.4 **Calibración y mantenimiento**

El único mantenimiento efectuado normalmente por el usuario consiste en limpiar las ventanas del transmisor y del receptor y en cambiar el diagrama del registrador. Los exteriores de las ventanas de plástico del transmisor y del receptor deberían limpiarse semanalmente, con un paño seco suave, procurando no rayar la ventana. Si se sustituye la lámpara del transmisor, es preciso verificar la alineación óptica; a intervalos de aproximadamente un año se debería verificar el nivel del transmisor y del receptor, y ajustarlo en caso necesario.

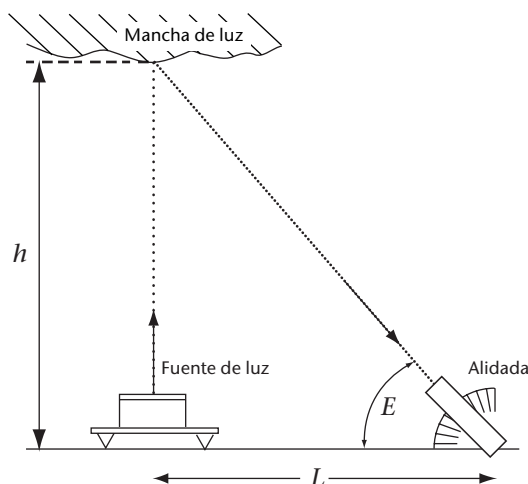


Figura 15.3. Principio del método del proyector de nubes

### 15.4.3 Utilización de proyectores

#### 15.4.3.1 Método de medición

En este método, ilustrado en la figura 15.3, el ángulo de elevación,  $E$ , de una mancha de luz, formada sobre la base de la nube por el haz del proyector dirigido verticalmente, se mide por alidada desde un punto distante. Si  $L$  es la distancia horizontal conocida en metros (pies) entre el proyector y el lugar de observación, la altura,  $h$ , en metros (pies) de la base de la nube sobre el punto de observación viene dada como:

$$h = L \tan E \quad (15.2)$$

La distancia óptima de separación entre el proyector y el lugar de observación es de unos 300 m (1 000 pies). Si la distancia fuera mucho mayor, podría ser difícil ver la mancha de luz; y si fuera mucho menor, disminuiría la exactitud de la medición de la altura por encima de unos 600 m (2 000 pies). Normalmente resulta aceptable una distancia de 250 a 550 m (800 a 1 800 pies).

#### 15.4.3.2 Exposición e instalación

Conviene que haya una clara visibilidad directa entre el proyector y la alidada, que deberían estar montados sobre una base firme y estable. Donde exista una diferencia de altura sobre el suelo entre el proyector y la alidada ha de incorporarse una corrección en las alturas calculadas. Si no es posible una clara visibilidad directa, la obstrucción del haz del proyector desde la posición de la alidada por los objetos que intervengan no debería ser superior a 100 pies.

#### 15.4.3.3 Fuentes de error

La mayor fuente de error se debe a la incertidumbre en el ángulo de elevación medido. Los errores de altura a causa de pequeños errores de verticalidad son insignificantes.

El error absoluto  $\Delta h$  en la altura de la nube obtenida debido a un error  $\Delta E$  en la elevación medida viene dado por (se supone que  $L$  es una constante medida con exactitud):

$$\Delta h = L \cdot \left( \frac{1}{\cos^2 E} \right) \cdot \Delta E = L \sec^2 E \cdot \Delta E \quad (15.3)$$

con  $E$  en radianes ( $1^\circ = \pi/180$  rad). Obsérvese que  $\Delta h$  tiende al infinito cuando  $E \rightarrow 90^\circ$ . Si  $L = 1\,000$  pies (300 m) y  $\Delta E = 1^\circ$ , el valor de  $\Delta h$  es 17 pies (6 m) cuando  $h = 1\,000$  pies (300 m), y  $\Delta h$  es aproximadamente 450 pies (140 m) cuando  $h = 5\,000$  pies (1 500 m). El error relativo en  $h$  viene dado por:

$$\Delta h/h = 1/(\sin E \cdot \cos E) \cdot \Delta E \quad (15.4)$$

con  $E$  en radianes.  $\Delta h/h$  es un mínimo cuando  $E = 45^\circ$  (o  $h = L$ ).

#### 15.4.3.4 Calibración y mantenimiento

El enfoque y la verticalidad del haz deberían verificarse, si es posible, una vez al mes, porque el filamento de la bombilla puede sufrir ligeros cambios de forma con el tiempo. Cuando se sustituye una bombilla habría que ajustar su posición, pues no todas las bombillas son iguales.

Debería comprobarse la verticalidad del haz durante una noche cubierta, con ayuda de un teodolito. La comprobación tendría que hacerse a partir de dos posiciones: una cerca de la alidada, y la otra aproximadamente a la misma distancia del proyector en una dirección en ángulo recto con la línea que une el proyector y la alidada (figura 15.4). Los acimuts del proyector y de la mancha en la nube deberían medirse con la mayor exactitud posible, junto con la elevación de la mancha. Si la diferencia entre las lecturas del acimut es  $A$  y la elevación de la mancha es  $E$ , la desviación,  $\phi$ , del haz a partir de la vertical viene dada por:

$$\phi = \arctan(\tan A / \tan E) \approx A / \tan E \quad (15.5)$$

(para  $A \approx 1^\circ$  o menos)

Si el valor de  $\phi$  es mayor de  $1^\circ$  visto desde la alidada, o superior a  $0,5^\circ$  en la otra posición, los ajustes deberían repetirse hasta que se haya logrado la exactitud necesaria.

Puede verificarse y ajustarse el enfoque en una noche cubierta, observando el diámetro de la mancha de luz sobre la nube más alta por encima del instrumento. En caso necesario, debería ajustarse el foco para minimizar el diámetro de la mancha.

#### 15.4.4 Utilización de globos

##### 15.4.4.1 Método de medición

La altura de la base de las nubes puede medirse durante el día determinando el tiempo que tarda un pequeño globo de caucho, inflado con hidrógeno o helio, en elevarse desde el suelo hasta la base de una nube. La base de la nube debería considerarse como el punto en el que el globo parezca penetrar en una capa de niebla antes de desaparecer finalmente.

La velocidad de ascensión del globo se determina principalmente por el libre desplazamiento del globo, y puede ajustarse controlando la cantidad de hidrógeno o de helio en el mismo. El tiempo de desplazamiento desde que se suelta el globo hasta que penetra en la nube se mide con un cronómetro. Si la velocidad ascensional es  $n$  metros por minuto y el tiempo del desplazamiento

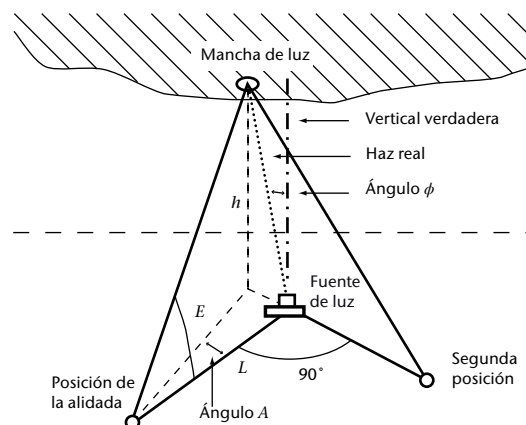


Figura 15.4. Comprobación de la verticalidad del haz del proyector

es  $t$  minutos, la altura de la nube sobre el suelo es  $n \cdot t$  metros, pero esta regla no debe seguirse estrictamente. Los remolinos cerca del lugar de lanzamiento pueden impedir la elevación del globo hasta algún tiempo después de soltarlo. Normalmente, el cronómetro se pone en marcha al liberar el globo, por lo que el tiempo transcurrido entre ese momento y aquel en que se observa que ha salido de los remolinos habrá que descontarlo del tiempo total, para determinar la altura de la base de la nube. Incluso prescindiendo de los efectos de remolino, la velocidad ascensional en los 600 m (2 000 pies) más bajos, es muy variable.

Si bien la altura de la base de una nube media se obtiene a veces como subproducto en la medición de vientos en altitud mediante un globo piloto, el método del globo se aplica principalmente a nubes bajas. Cuando no se dispone de ayudas ópticas en forma de prismáticos, telescopio o teodolito, la medición no debería intentarse si la base de la nube se considera superior a unos 900 m (3 000 pies), a menos que el viento sea muy ligero. Con vientos fuertes, el globo puede superar el alcance de la visión natural antes de penetrar en la nube.

La precipitación reduce la velocidad de elevación de un globo, y las mediciones de la altura de la base de la nube con un globo piloto solo deberían intentarse con precipitación ligera.

El método puede utilizarse de noche incorporando al globo una luz eléctrica o de otro tipo. Por motivos de seguridad, no es recomendable la utilización de farolitos de papel alumbrados con velas.

#### 15.4.4.2 **Fuentes de error**

Las mediciones de la altura de la base de una nube con globo han de utilizarse con prudencia, puesto que la velocidad media de elevación de un globo, sobre todo en los primeros centenares de metros, puede diferir notablemente con respecto a la velocidad supuesta de elevación (debido a factores tales como los efectos de corrientes verticales, la forma del globo, la precipitación y la turbulencia).

### 15.5 **MEDICIÓN DEL TIPO DE NUBES CON INSTRUMENTOS**

Las observaciones del tipo de nubes todavía se efectúan en gran medida por observadores humanos. Solo se conoce un método automático para observar el tipo de nubes, específicamente desarrollado para la detección de cumulonimbus y de cumulus de gran desarrollo vertical. En este método, se utilizan los datos de una red de radares de precipitación y de detección de rayos. Las clases de reflectividad de radar y el número de rayos dentro de una determinada zona se combinan para indicar la presencia de cumulonimbus y/o de cumulus de gran desarrollo vertical.

Este es un nuevo método utilizado por algunos Servicios Meteorológicos. El índice de falsas alarmas es relativamente alto (véase OMM, 2006b).

### 15.6 **OTRAS PROPIEDADES RELACIONADAS CON LAS NUBES**

#### 15.6.1 **Visibilidad vertical**

Se define como visibilidad vertical la distancia máxima a la que un observador puede ver e identificar un objeto en su vertical, tanto hacia arriba como hacia abajo. Puede calcularse a partir del perfil de extinción óptica de la atmósfera (OMM, 2010). Algunos nefobasímetros (véanse las secciones 15.4.1 y 15.4.2) pueden proporcionar una estimación de la visibilidad vertical basada en la energía de retrodispersión integrada con la distancia. En OMM (1988) se pone de relieve



que este método produce con frecuencia resultados poco fiables. En la práctica, a menudo ocurre que el nefobasímetro indica la visibilidad vertical cuando no se cumplen los criterios definitorios de la base de las nubes pero se recibe la luz reflejada desde una altitud determinada.

---

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de Estados Unidos, 1988: *Federal Standard Algorithms for Automated Weather Observing Systems Used for Aviation Purposes*. Oficina de Coordinación Federal de los Servicios Meteorológicos y del Apoyo a la Investigación, Departamento de Comercio de Estados Unidos, FCM-S5-1988, Silver Spring, Maryland (Estados Unidos de América).
- Douglas, H. A. y D. Offiler, 1978: "The Mk 3 cloud base recorder: A report on some of the potential accuracy limitations of this instrument", en *Meteorological Magazine*, vol. 107, págs. 23 a 32.
- Gobierno de Estados Unidos de América, 1999: *Automated Surface Observing System*. Air Force Operational Test and Evaluation Center: Final Assessment Report for the Federal Aviation Administration, California (Estados Unidos de América).
- Larsson, B. y E. Esbjörn, 1995: *Cloud Cover Algorithm*. SMHI IO-BN 1995-01-11, Instituto de Meteorología e Hidrología de Suecia, Norrköping (Suecia).
- Organización Meteorológica Mundial, 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.
- , 1988: *WMO International Ceilometer Intercomparison* (D.W. Jones, M. Ouldrige and D.J. Painting). Instruments and Observing Methods Report No. 32 (WMO/TD-No. 217). Ginebra.
- , 2006a: "Status, evaluation and new developments of the automated cloud observations in the Netherlands" (W. Wauben, H. Klein Baltink, M. de Haij, N. Maat y H. The), en *Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2006)*. Instruments and Observing Methods Report No. 94 (WMO/TD-No. 1354). Ginebra.
- , 2006b: "Status of the automatic observation on aerodrome and ongoing improvements in France" (M. Leroy), en *Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2006)*. Instruments and Observing Methods Report No. 94 (WMO/TD-No. 1354). Ginebra.
- , 2010: *Manual del Sistema Mundial de Observación* (OMM-N° 544), volumen I. Ginebra.
- , 2011: *Manual de claves* (OMM-N° 306), volumen I.1. Ginebra.
- , 2014: *Guía de sistemas meteorológicos de observación y distribución de información para los servicios meteorológicos aeronáuticos* (OMM-N° 731). Ginebra.
- Wauben, W. M. F., 2002: "Automation of visual observations at KNMI: (II) Comparison of automated cloud reports with routine visual observations", en *Symposium on Observations, Data Assimilation and Probabilistic Prediction*. Reunión anual de la Sociedad Meteorológica de Estados Unidos, informe de 2002, Orlando, Florida (Estados Unidos de América).
-