

**SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN EN EL  
ESPACIO AÉREO MEXICANO**

**METEOROLOGÍA AERONÁUTICA I**

**ADAPTADO POR: JOSÉ LUIS VELAZQUEZ MACHAIN (1993)**

**REVISADO Y ACTUALIZADO POR: EDILBERTO J. FRANCO RGUEZ.  
REVISADO POR: JUAN FERNANDO ARROYO GARCÍA**

**Gerencia Regional Noroeste, Junio de 1999.**

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>LA ATMÓSFERA</b>	<b>5</b>
<b>ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA</b>	<b>6</b>
<b>CALOR Y TEMPERATURA</b>	<b>7</b>
<b>ESCALAS TERMOMÉTRICAS</b>	<b>7</b>
<b>MECANISMOS DE CALENTAMIENTO DEL AIRE</b>	<b>8</b>
<b>LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA</b>	<b>9</b>
<b>INSTRUMENTOS QUE DETERMINAN LA PRESIÓN</b>	<b>9</b>
<b>MAREA BAROMÉTRICA</b>	<b>10</b>
<b>UNIDADES DE MEDIDA DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA</b>	<b>10</b>
<b>CONVERSIÓN DE UNIDADES</b>	<b>10</b>
<b>ALTIMETRÍA</b>	<b>11</b>
<b>LA ATMÓSFERA ESTANDAR</b>	<b>13</b>
<b>CORRECCIONES ALTIMÉTRICAS</b>	<b>14</b>
<b>MOVIMIENTO DEL AIRE EN LA HORIZONTAL Y EN LA VERTICAL</b>	<b>15</b>
<b>FUERZAS QUE INTERVIENEN EN EL MOVIMIENTO DEL AIRE</b>	<b>15</b>
<b>FUERZA DE GRADIENTE DE PRESIÓN</b>	<b>16</b>
<b>FUERZA DE FRICCIÓN</b>	<b>17</b>
<b>FUERZA CENTRÍFUGA Y CENTRÍPETA</b>	<b>18</b>
<b>DIRECCIÓN E INTENSIDAD DEL VIENTO</b>	<b>20</b>
<b>LA HUMEDAD DEL AIRE</b>	<b>20</b>
<b>LOS PROCESOS DE CONDENSACIÓN, SUBLIMACIÓN Y CONGELACIÓN</b>	<b>21</b>
<b>CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN O DE CONDENSACIÓN</b>	<b>21</b>
<b>CALOR LATENTE DE FUSIÓN O CONGELACIÓN</b>	<b>22</b>
<b>CALOR LATENTE DE SUBLIMACIÓN</b>	<b>22</b>
<b>ESTABILIDAD E INESTABILIDAD DEL AIRE</b>	<b>22</b>
<b>LA VISIBILIDAD</b>	<b>24</b>
<b>DETERMINACIÓN DE LA VISIBILIDAD VERTICAL</b>	<b>27</b>
<b>CRITERIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VISIBILIDAD</b>	<b>27</b>
<b>FENÓMENOS DE OBSCURECIMIENTO</b>	<b>31</b>
<b>FENÓMENOS DE TIEMPO PRESENTE</b>	<b>33</b>
<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>33</b>
<b>DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PRECIPITACIÓN</b>	<b>34</b>

---

<b>CARÁCTER DE LA PRECIPITACIÓN</b>	<b>35</b>
<b>INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN</b>	<b>35</b>
<b>CRITERIOS PARA DETERMINAR LA INTENSIDAD DE LA LLUVIA</b>	<b>36</b>
<b>FORMACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE NIEBLA</b>	<b>36</b>
<b><i>CONDICIÓN DE CIELO Y TECHO</i></b>	<b>36</b>
<b>LA EXTENSIÓN Y ESTRATIFICACIÓN</b>	<b>37</b>
<b>CODIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE LA BÓVEDA CELESTE</b>	<b>40</b>
<b><i>NUBES</i></b>	<b>41</b>
<b>CLASIFICACIÓN DE LAS NUBES</b>	<b>41</b>
<b>PRÁCTICAS PARA LA CODIFICACIÓN DEL CIELO Y TECHO</b>	<b>43</b>
<b><i>DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE NUBES</i></b>	<b>47</b>
<b><i>ETAPAS DE FORMACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS TORMENTAS</i></b>	<b>50</b>
<b>DIVERSOS TIPOS DE TORMENTAS</b>	<b>50</b>
<b>FENÓMENOS IMPORTANTES CARACTERÍSTICOS DE LAS TORMENTAS</b>	<b>51</b>
<b>TURBULENCIA</b>	<b>51</b>
<b>PRECIPITACIONES</b>	<b>52</b>
<b>FENÓMENOS ELÉCTRICOS</b>	<b>53</b>
<b>VARIACIONES DEL VIENTO</b>	<b>55</b>
<b>LOS TRES ESTADOS DE VIDA DE UNA CÉLULA TORMENTOSA</b>	<b>56</b>
<b><i>ACONTECIMIENTOS IMPORTANTES EN METEOROLOGÍA</i></b>	<b>58</b>

## **INTRODUCCIÓN**

La importancia de la Meteorología en la Aviación se ha hecho patente desde los inicios de la aviación con fines comerciales. Esto ocasionó que esta rama de la Ciencia se especializara para hacer más segura la aviación, al proporcionar información meteorológica y pronósticos tanto para las rutas de vuelo como de los aeropuertos de destino.

Con un personal mejor preparado en esta rama, las operaciones aéreas serán cada vez más seguras, estando el personal tanto de tierra como de vuelo habilitados para planear las rutas más adecuadas, logrando que este medio de transporte continúe siendo más seguro que cualquier otro medio de transporte.

Este Manual establece las bases para que el personal Aeronáutico, tales como Controladores, Despachadores y Pilotos, tengan los conocimientos suficientes para aplicarlos en sus tareas diarias.

## LA ATMÓSFERA

**Meteorología.** Es la ciencia que estudia a la atmósfera. El nombre procede del griego meteoros, alto o elevado, y logos, tratado. Comprende el estudio del tiempo y del clima, que constituyen ciencias bien distintas, aunque no siempre diferenciadas por el público; se ocupa del estado físico, dinámico y químico de la atmósfera terrestre, así como de las interacciones mutuas entre la atmósfera y la superficie terrestre, tanto hidrósfera como litósfera.

**Meteorología aeronáutica.** Especialidad de la Meteorología que se ocupa del estudio de ésta en relación con la aviación o, en general, con la aeronáutica.

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve nuestro planeta y a la cual se le denomina con el nombre de **AIRE**.

El aire está compuesto por una mezcla de gases. Cuando éste se encuentra completamente seco contiene alrededor de 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno y 1% de otros gases tales como Argón, Neón, Gas Carbónico, Helio e Hidrógeno. La fig.1 muestra esa proporción. El aire atmosférico también contiene siempre una proporción variable de vapor de agua que va de un 0% a cerca de 5%.

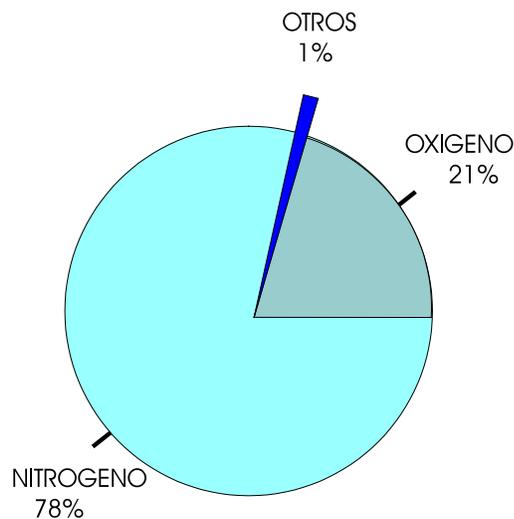


Fig. 1. Composición de la atmósfera seca. Cuando el vapor de agua es agregado los porcentajes disminuyen proporcionalmente.

Por otro lado sobre todo en la alta atmósfera existe una proporción variable de ozono que aunque muy pequeña, protege de la destrucción completa de la vida orgánica en la superficie de nuestro planeta gracias a su enorme capacidad de absorción de rayos ultravioleta.

El vapor de agua juega un papel análogo al del ozono y no menos importante puesto que absorbe las radiaciones de gran longitud de ondas emitidas por la tierra y las devuelve por reflexión, impidiendo que ésta se enfríe por la noche hasta un centenar de grados bajo cero como ocurriría en el seno de una atmósfera completamente seca.

## ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA

La atmósfera se clasifica en capas o esferas. Las figuras 2 y 2-a, nos muestran tal clasificación, dado que los fenómenos meteorológicos (tiempo atmosférico) ocurren en la troposfera y dado que la mayoría de los vuelos también se efectúan en esta capa y en la estratosfera, únicamente nos referiremos a esas 2 capas.

La troposfera es la capa que se extiende desde la superficie hasta un promedio de unos 11 km., está caracterizada por descenso de la temperatura que se acentúa cuando más alejado se esté de la superficie, con una temperatura de  $-79^{\circ}\text{C}$  en las regiones tropicales (16km), y de  $-51^{\circ}\text{C}$  en latitudes templadas (9.7km). Es la capa en la que se forman la mayor parte de las nubes. La altura de la troposfera varía con la altitud y con la estación del año. Su pendiente varía de 6 km., sobre los polos a 20 km. sobre el ecuador, y está más alta en el verano que en el invierno.

En la parte alta de la troposfera se encuentra la tropopausa una capa muy delgada que marca el límite entre la troposfera y la capa de arriba, por encima de la tropopausa se encuentra la Estratosfera, esta capa está caracterizada por pequeñas variaciones de temperatura cercas de su parte más alta.

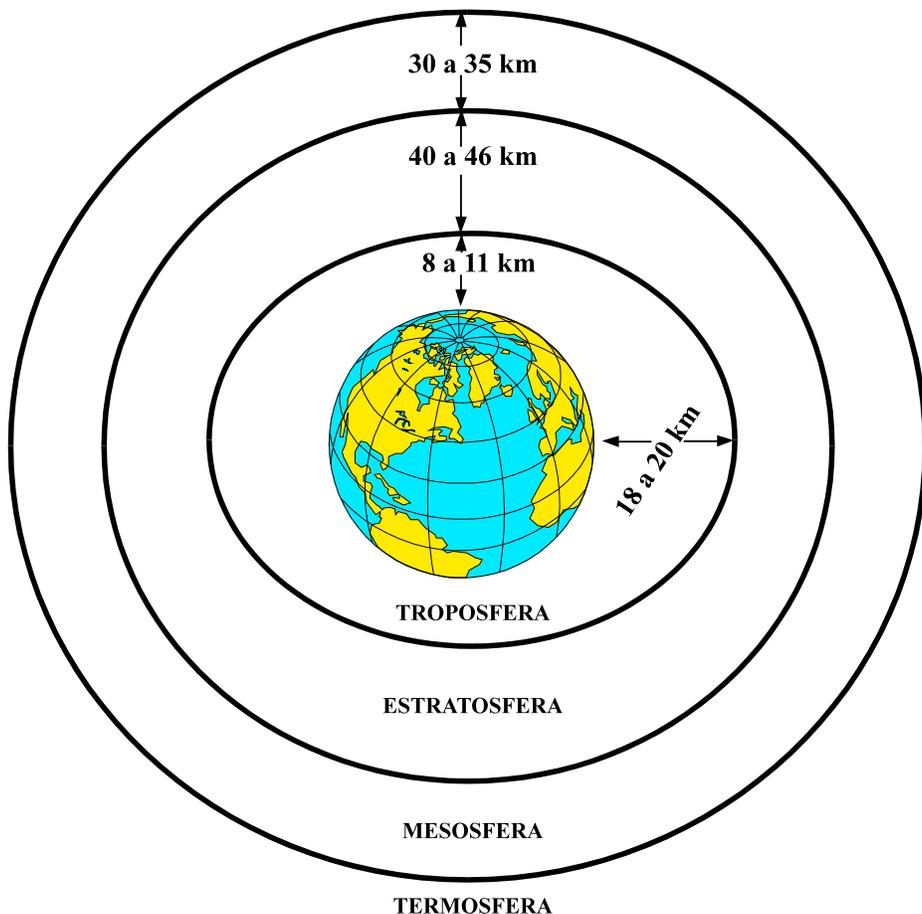


Fig. 2. Estructura de la atmósfera.

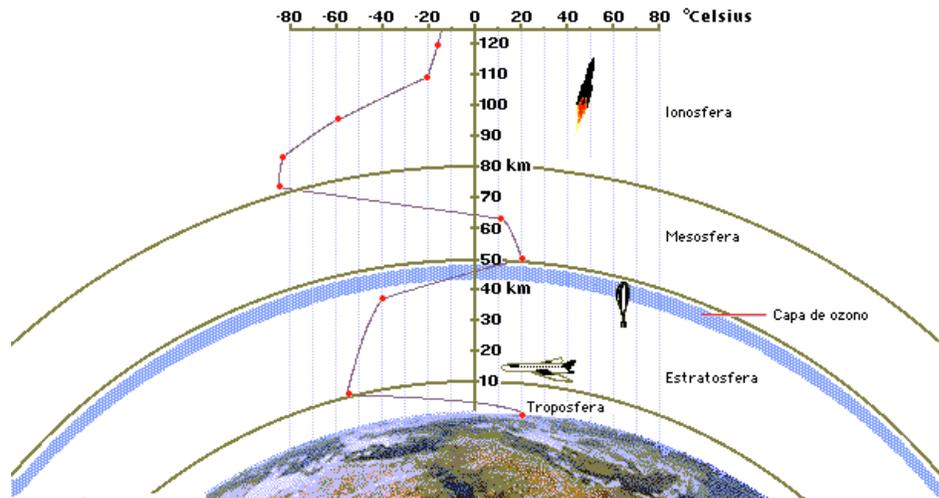


Fig. 2-a. Estructura de la atmósfera y variación de temperatura

## CALOR Y TEMPERATURA

**CALOR.**- Es una forma de energía. El calor es energía en tránsito; siempre fluye de una zona de mayor temperatura a una zona de menor temperatura,

**TEMPERATURA.**- Es la medida del efecto del calor, cuando una sustancia contiene calor esta puede medirse cuan caliente o fría está. Es la propiedad de los sistemas que determina si están en equilibrio térmico.

## ESCALAS TERMOMÉTRICAS

Las dos escalas termométricas más comúnmente usadas son la Celsius (centígrados), y la Fahrenheit. La escala Celsius es usada exclusivamente para la temperatura del aire a grandes alturas y está rápidamente siendo adoptada a nivel mundial para la determinación de la temperatura en la superficie.

Tradicionalmente las dos referencias de temperatura son el punto de fusión del hielo puro y el punto de ebullición del agua al nivel del mar.

El punto de fusión del hielo es 0 grados Celsius o 32 Fahrenheit; el punto de ebullición del agua es de 100 Celsius o 212 Fahrenheit, así tenemos que la diferencia entre fusión y ebullición es 100 grados Celsius o 180 Fahrenheit, el cociente entre grados Celsius y Fahrenheit es 100/180 o 5/9, puesto que 0 Fahrenheit es 32 grados Fahrenheit más frío que 0 grados Celsius se puede aplicar esta diferencia cuando se comparen temperaturas en estas 2 escalas. Podemos convertir de una escala a otra con las siguientes formulas:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32) \quad ^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$$

Donde °C son los grados Celsius y °F grados Fahrenheit.  
La figura 3 compara las dos escalas.

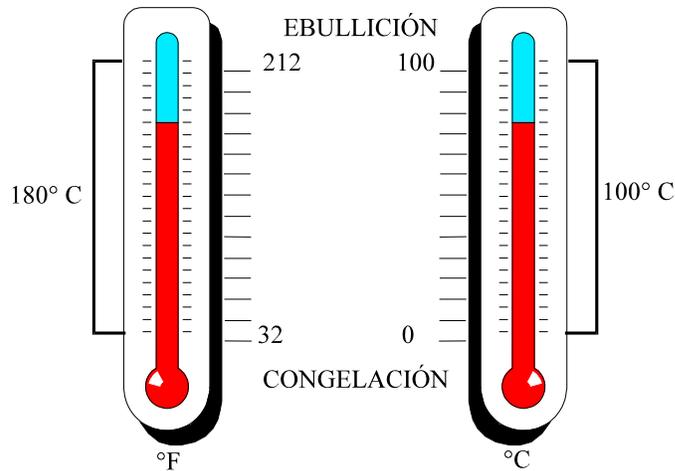


Fig. 3. Escalas Termométricas

## MECANISMOS DE CALENTAMIENTO DEL AIRE

1. El aire es diatérmico, absorbe poco del calor solar, la radiación solar calienta la superficie terrestre, la cual adquiere temperaturas desiguales, por ejemplo: las tierras se ponen más calientes que la superficie del agua, la arena de la playa se pone más caliente que un prado, etc.
2. El aire que se encuentra en contacto con el suelo se calienta por conducción, en una capa delgada.
3. El aire que se calienta por conducción se hace menos denso, dando lugar a corrientes de convección gracias a las cuales la atmósfera puede calentarse hasta altitudes muy considerables.

Cuando el suelo se enfría, una capa delgada de aire se enfría también por conducción. Este es el caso de las horas nocturnas en particular.

Cuando el aire se encuentra sobre extensiones de agua, de hielo o nieve, con una temperatura inferior a él, se enfría igualmente por contacto. Por medio del viento, los fenómenos llamados de turbulencia llevan los efectos de calentamiento y enfriamiento a diferentes alturas de la atmósfera.

**ADVECCIÓN.-** Proceso por el cual tiene lugar una transferencia de propiedades de una masa de aire, en meteorología, cuando se habla de advección de temperatura, humedad, etc., se entiende que hay un transporte **horizontal** de una masa de aire, hacia una determinada zona en que las propiedades térmicas, grado de humedad, etc., son distintas. La diferencia entre convección y advección es que el transporte de propiedades en la convección es en la **vertical**.

En la figura 4 se ilustran uno de los mecanismos de calentamiento del aire.

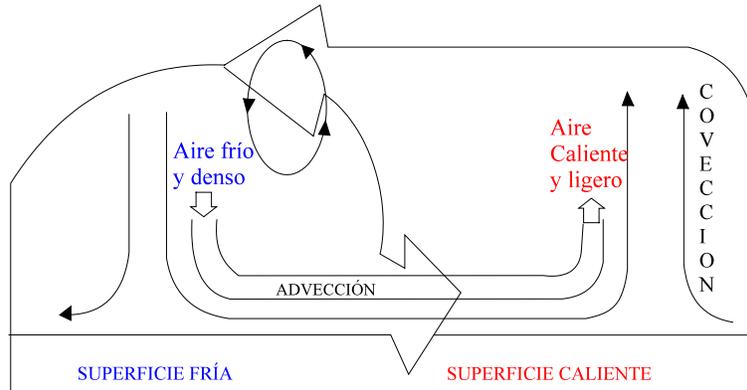


Fig. 4. Corriente convectiva como resultado del desigual calentamiento del aire como resultado de contrastes de temperatura en la superficie.

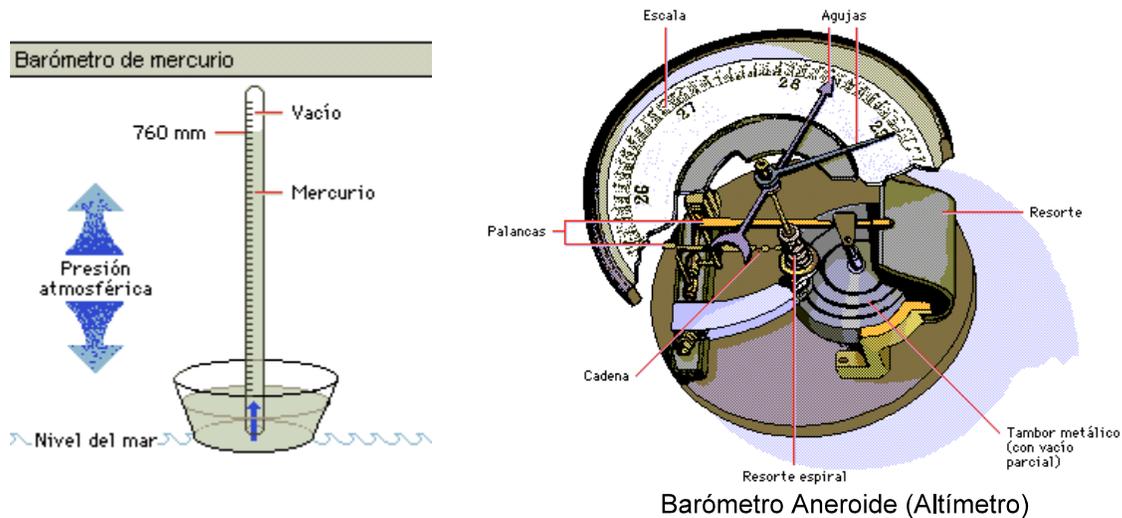
## LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie que ejerce la atmósfera en virtud de su propio peso, numéricamente es igual al peso de una columna vertical de aire que tiene por base la unidad de superficie y cuya altura se extiende hasta el límite exterior de la atmósfera. Suele expresarse en forma de los milímetros de una columna de mercurio (densidad  $13.5951 \text{ gr/cm}^3$ ), en condiciones de gravedad tipo ( $980.665 \text{ cm/s}^2$ ), capaz de equilibrarla. En meteorología se usa el milibar (mb) equivalente a  $10^3$  unidades cegesimales de presión: en el sistema internacional la unidad es el Pascal o  $\text{Newton} \cdot \text{m}^{-2}$ ;  $1 \text{ mb} = 10^2 \text{ Pascal}$ .

Debido a que el aire no es sólido nosotros no podemos pesarlo con escalas convencionales. Entonces ¿cómo se hace...? Torricelli probó hace tres siglos que él podía pesar la atmósfera por el balanceo del aire contra una columna de mercurio. Lo que realmente él midió fue la presión, convirtiéndola directamente a peso.

## INSTRUMENTOS QUE DETERMINAN LA PRESIÓN

El instrumento que diseñó Torricelli para medir la presión fue el barómetro. Los servicios de meteorología en la aviación usan dos tipos de barómetros en la medición de presión, el mercurial y el anerode (altímetro), ver siguientes dibujos.



## MAREA BAROMÉTRICA

La marea barométrica es el cambio de la presión debido a la variación de la temperatura en el día y la noche. Cuando al medio día la superficie recibe más calor, el aire se torna más ligero con lo cual ascenderá originando en el lugar una baja presión, por el contrario durante la noche en las primeras horas del día la superficie irradió la energía ganada durante el máximo calentamiento con lo cual la superficie se enfría y ésta a su vez enfría el aire próximo a ella originando una capa de aire frío y denso que desciende con lo cual originará una presión alta. Hay otros cambios de presión muy importantes como son estacionales, latitudinales, con la altitud, con la temperatura e irregulares.

## UNIDADES DE MEDIDA DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión es expresada de muchas maneras en todo el mundo, el término usado depende de su aplicación y el sistema de medida. Las medidas más conocidas son: **“pulgadas de mercurio”** y **“milímetros de mercurio”**. Pero debido a que su presión es fuerza por unidad de área, una expresión más correcta de presión es **“kg o lbs”** por **“pulgada cuadrada”** o **“gramos por centímetro cuadrado”**. El término **hectopascal (milibar)**, precisamente expresa presión como una fuerza por unidad de área, un hectopascal es una fuerza de 1,000 dinas por centímetro cuadrado.

El **hectopascal** está siendo rápidamente adoptado mundialmente como la unidad universal de presión.

## CONVERSIÓN DE UNIDADES

Pulgadas de HG	mm de HG	HPA
1	25.4	33.86
0.0394	1	1.33
0.0296	0.75	1

## ALTIMETRÍA

Altimetría es la técnica que se encarga de la medida de las distancias verticales, las cuales se miden con el altímetro.

**EL ALTÍMETRO.-** Dispositivo mecánico o eléctrico que se utiliza en las aeronaves para medir la altura a la que se encuentran con respecto a la superficie de la tierra o el nivel medio del mar. Es esencialmente un barómetro aneroide. La diferencia es la escala. El altímetro está graduado para leer incrementos de altura en lugar de unidades de presión.

**ALTITUD VERDADERA.-** Debido a que las condiciones existentes en la atmósfera real rara vez son iguales a la estándar, las indicaciones de altitud en el altímetro rara vez son altitudes verdaderas. Altitud verdadera es la real o exacta altitud sobre el nivel medio del mar, si su altímetro no indica altitud verdadera, ¿entonces que indica?.

**ALTITUD INDICADA.-** Ver la fig. 5 mostrando el efecto de temperatura media sobre el grosor de las tres columnas de aire. La presión es igual en la parte baja y en la parte alta de las tres capas. Debido a que el altímetro es esencialmente un barómetro, la altitud indicada por el altímetro en la parte alta de cada columna debería ser la misma. Para ver el efecto más claramente estudia la fig. 6, nota que en el aire caliente, tu volarías a una altitud más alta. En el aire frío tu volarías más bajo.

La altura indicada en un altímetro también cambia de presión en la superficie. La escala móvil del altímetro te permite ajustarlo por una superficie de presión pero eso no significa que los estás ajustando a la temperatura promedio de la columna de aire de abajo. Altitud indicada es la altitud sobre el nivel medio del mar en un altímetro cuando se calibra con el reglaje local, pero ¿qué es reglaje altimétrico? Eso lo veremos más adelante.

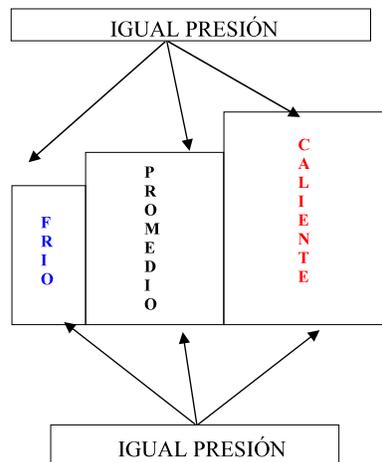


Fig. 5. Tres columnas de aire nos muestran como decrece la presión con la altura y con la temperatura.

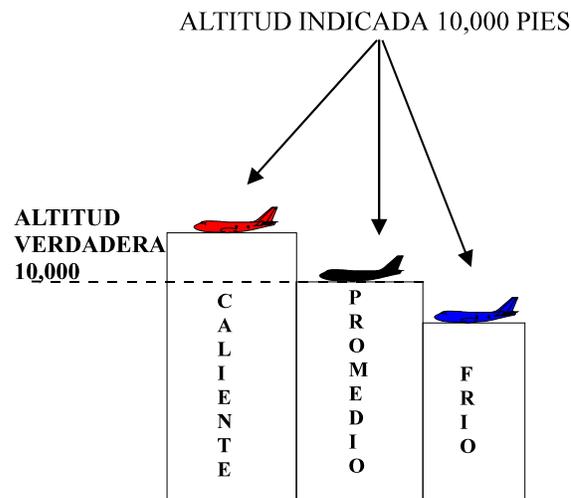


Fig. 6 La altitud indicada depende de la temperatura indicada que hay debajo de la aeronave. Cuando la presión es igual en la base y en la cúspide de cada columna, la altitud indicada es la misma en la cúspide de cada columna. Cuando el aire es más frío que el promedio (derecha), el altímetro da una lectura más alta que la altitud verdadera. Cuando el aire es más caliente que el promedio (izquierda), el altímetro da una lectura más baja que la altitud verdadera.

**ELEVACIÓN.-** Es la distancia vertical entre un punto o nivel en la superficie de la tierra y el nivel medio del mar (N.M.M.).

**ALTITUD.-** Es la distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto y el N.M.M.

**ALTURA.-** Es la distancia vertical entre un punto u objeto considerado como punto en el espacio, y un punto de referencia en la superficie terrestre.

Para ver la diferencia de estos conceptos ver Fig. 7

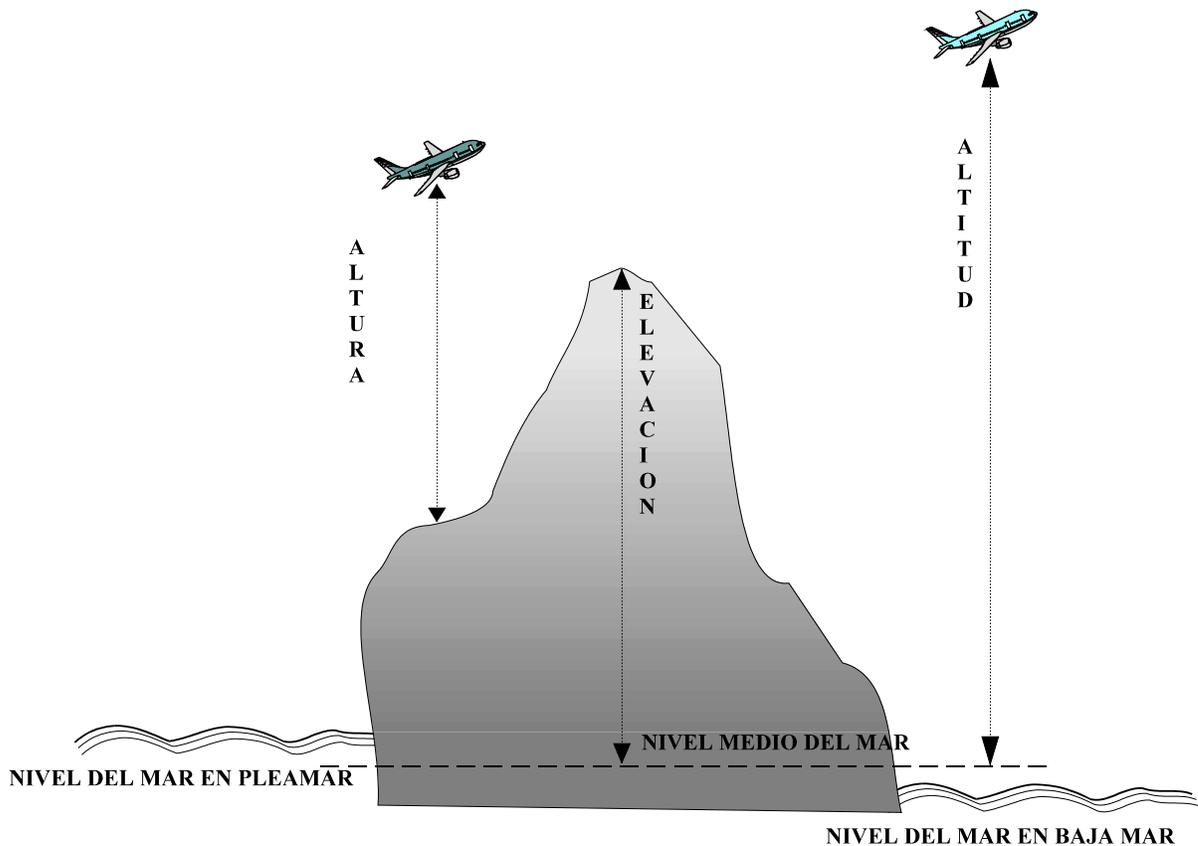


Fig. 7 Diferencia de Distancias Verticales.

## LA ATMÓSFERA ESTANDAR

Es una atmósfera ficticia en la cual a cada valor de altitud corresponderá uno y solamente un valor de presión, uno y solamente un valor de temperatura y uno y solamente un valor de densidad.

En esa atmósfera estándar, a diferencia de lo que ocurre en la atmósfera real, los valores de presión, temperatura y densidad asociados con cada valor de altitud permanecen constantes con el tiempo.

No es extraño, dada esta última característica de la atmósfera estándar, que internacionalmente se haya adoptado tal atmósfera para calibración de instrumentos y para hacer comparables dentro de sus especificaciones, el rendimiento de las máquinas, incluyendo el de las aeronaves.

Sus características son:

- a) El aire se comporta como un gas perfecto y absolutamente seco.
- b) La aceleración de la gravedad no cambia con la altura.

- c) La temperatura del aire al nivel del mar es de 15°C o 59°F.
- d) La variación de la temperatura con la altura es 0.65°C cada 100 mts.
- e) En la tropopausa la temperatura es de 56°C.
- f) La presión al nivel del mar tiene un valor de 1,013.25 HPA.  
(760 mm de HG o 29.92' de HG)

## CORRECCIONES ALTIMÉTRICAS

Ya que la escala de altitud en un altímetro es ajustable, tu puedes reglarlo para leer altitud verdadera a alguna altura especificada. El despegue y el aterrizaje son las fases más críticas de un vuelo; por lo tanto, la elevación del aeropuerto es la altitud más conveniente para una verdadera lectura del altímetro. Reglaje altimétrico es el valor al cual la escala de presión del altímetro es reglada para que el altímetro indique altitud verdadera sobre la elevación del terreno.

**Reglado en QNH.-** Valor de la presión de la estación reducida al nivel medio del mar mediante la agregación de la presión de una columna de aire cuyas características de densidad son iguales a la de la atmósfera estándar y cuya longitud equivale a la elevación de la estación. Este reglaje en particular es llamado reglaje altimétrico. La utilización del QNH permite comparar inmediatamente y con suficiente precisión la altitud de la aeronave con la de los obstáculos que haya a sus alrededores, obstáculos que en los mapas de navegación figuran medidos a partir del N.M.M.

El **QNH** en vuelo nos proporciona la altitud de la aeronave y al aterrizar la **elevación del aeropuerto**.

**Reglado en QFE.-** Valor de la presión de la estación. Si estando el avión en tierra reglamos el altímetro a 0 metros (pies), el valor que aparece en la ventanilla del limbo graduado como presión inicial, es la presión al nivel del altímetro; y es por supuesto, la presión al nivel aeródromo, que es la que mide en su barómetro la oficina de meteorología; se llama **QFE**.

Si el piloto en vuelo regla su altímetro sobre QFE, leerá prácticamente **0 metros (pies) cuando aterrice**. Así, este reglaje es utilizable para las maniobras de aproximación por instrumentos, porque en la maniobra final siempre se conoce la altura sobre la pista de aterrizaje. Tiene la desventaja, sin embargo, de que no permite una comparación instantánea de las respectivas altitudes del avión y de los obstáculos sobrevolados.

**Reglado en QNE.-** Valor de presión de la atmósfera estándar, a la altitud "0" (N.M.M. de la atmósfera estándar), o sea, 1,013.25 HPA o 29.92 pulgadas de HG.

Este tipo de reglaje garantiza un reglado uniforme e invariable de los altímetros de todas las aeronaves en ruta, lo cual permite separar verticalmente a los que utilizan un mismo espacio aéreo, asignándoles diferentes niveles de vuelo y eliminando así prácticamente el riesgo de colisiones. Este reglaje en vuelo nos indica la altitud presión de la aeronave o (nivel de vuelo).

### **Errores del altímetro:**

- 1) Diferencias locales de presión.
- 2) Diferencias de temperatura.
- 3) Rozamiento del mecanismo.
- 4) Imperfección de fabricación.

## **MOVIMIENTO DEL AIRE EN LA HORIZONTAL Y EN LA VERTICAL**

Para describir el movimiento del aire, se acostumbra resolver su movimiento en dos componentes: Una Horizontal y la otra en Vertical. Es un hecho comprobado, que el componente horizontal supera considerablemente en magnitud a la componente vertical, que equivale a decir, que las corrientes de aire son más cercanamente paralelas a la superficie, que a cualquier plano vertical.

De las componentes citadas, la horizontal, recibe el nombre de “Viento”. Es interesante hacer notar que tal componente horizontal puede determinarse en cualquier plano horizontal paralelo a la superficie, cualquiera que sea su altitud, sin que esto quiera decir que el viento tendrá que ser el mismo a diferentes altitudes, puesto que la componente horizontal del movimiento del aire de la corriente, no tendrá las mismas características en cada una de ellas.

Debe advertirse que, aun en las regiones dentro de las cuales las partículas oscilan verticalmente, de manera que mientras unas ascienden otras descienden y viceversa, o sea, donde hay un movimiento vertical desordenado, existe también un ligero movimiento de traslación en la horizontal: un viento débil. Al movimiento desordenado en la vertical al que acabamos de eludir, se le denomina “**TURBULENCIA**”, y su existencia en la atmósfera no es únicamente de interés meteorológico sino también de importancia aeronáutica, por los riesgos que representa tal fenómeno.

### **FUERZAS QUE INTERVIENEN EN EL MOVIMIENTO DEL AIRE**

**FUERZA DE CORIOLIS**, en mecánica, es la fuerza ficticia que parece actuar sobre un cuerpo cuando se observa éste desde un sistema de referencia en rotación. Así, un objeto que se mueve sobre la Tierra a velocidad constante con una componente de dirección Norte-Sur se ve desviado en relación con la Tierra que gira. En el hemisferio norte se desvía en el sentido de las agujas del reloj, y en el hemisferio sur, en el sentido opuesto. El efecto se llama así en honor al físico francés Gustave-Gaspard de Coriolis, que fue el primero en analizar el fenómeno matemáticamente. La fuerza de Coriolis tiene una importancia considerable por su influencia sobre los vientos, las corrientes oceánicas o las trayectorias de vuelo de misiles y cohetes. La aceleración correspondiente a esta fuerza se llama aceleración de Coriolis. Ver Fig. 8

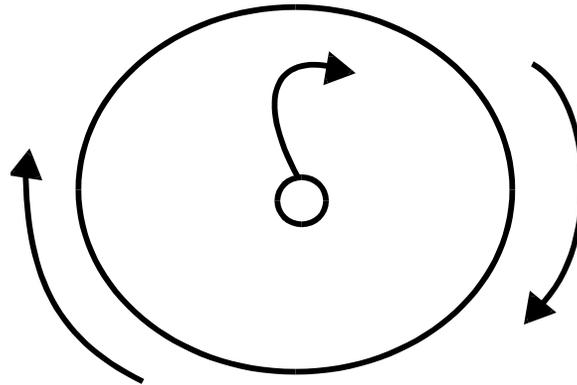


Fig. 8. Nos muestra con un ejemplo sencillo como podemos constatar la fuerza de Coriolis si tratamos de trazar una línea recta hacia la parte superior de un disco en movimiento notaremos que una fuerza invisible hace que se desvíe la línea hacia la derecha.

### FUERZA DE GRADIENTE DE PRESIÓN

Diferencias de presión deben crear una fuerza para conducir el viento. Esta fuerza es la fuerza de gradiente de presión. La fuerza es desde presiones más altas y es perpendicular a las isobaras y sus contornos. Siempre que una diferencia de presión se desarrolla sobre un área, la fuerza de gradiente de presión comienza a mover el aire a través de las isobaras. Entre menos espacio haya entre las isobaras mayor será la fuerza de gradiente de presión, entre más fuerte sea el gradiente de presión mayor será la intensidad de viento.

De un análisis de presión, tu puedes tener una idea general de la intensidad del viento desde los contornos o del espacio entre las isobaras. A causa del desigual calentamiento de la tierra, la presión es más baja sobre las regiones ecuatoriales y alta sobre las regiones polares. Una fuerza de gradiente se desarrolla de los polos hacia el ecuador. Si la tierra no rotara, la fuerza de gradiente sería la única fuerza actuando sobre el viento. La circulación sería dos corrientes convectivas gigantescas hemisféricas como las mostradas en la fig. 9. El aire frío sería hundido sobre los polos; éste aire fluiría directamente de los polos hacia el ecuador; el aire caliente del ecuador sería forzado a subir; y los vientos de altos niveles fluirían directamente hacia los polos. Sin embargo, la tierra gira, y debido a su dirección, esta simple circulación se ve enormemente distorsionada.

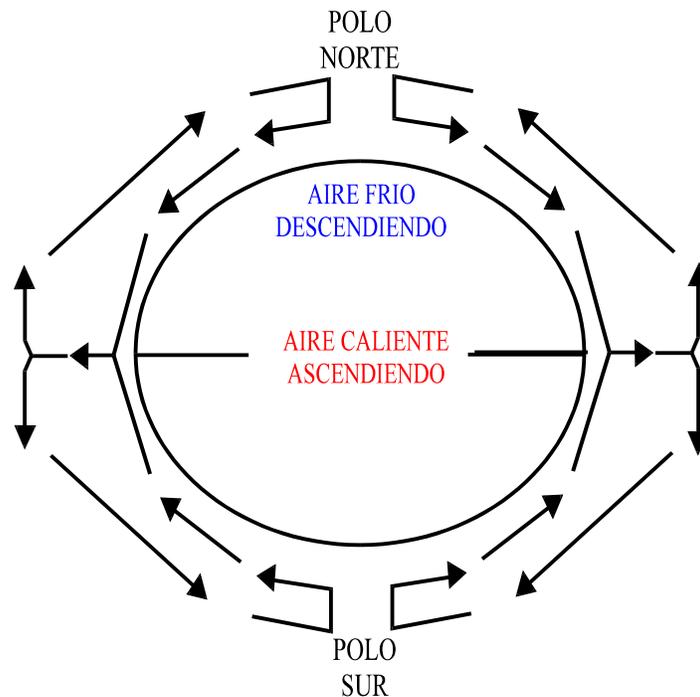


Fig. 9. Una circulación como esta sería si no hubiera rotación en el globo. El intenso calentamiento sobre el ecuador hace que el aire sea menos denso y sube. El aire más denso fluye desde los polos hacia el ecuador forzando al aire menos denso a subir hacia donde el aire fluye hacia los polos. La circulación sería de dos gigantescas corrientes convectivas hemisféricas.

### FUERZA DE FRICCIÓN

La fricción entre el viento y la superficie del terreno hace que el viento se frene. La rugosidad del terreno hace más grande la fricción. También, dependiendo de la intensidad del viento será lo grande del efecto de fricción. Uno podría pensar que la fricción no es una fuerza, pero la fricción como fuerza es real y efectiva siempre actuando en contra del viento.

Como la fuerza de fricción frena la velocidad del viento, la fuerza de Coriolis disminuye, sin embargo no afecta a la fuerza de gradiente de presión. La fuerza de Gradiente y la fuerza de Coriolis ya no estarían en equilibrio con la presencia de la fricción. Una fuerza de gradiente de presión más fuerte hace girar el viento hacia un ángulo atravesando las isobaras hacia una presión menor hasta que las tres fuerzas alcanzan el equilibrio como lo muestra la fig. 11. La fuerza de fricción y Coriolis se combinan para equilibrar la fuerza de gradiente de presión.

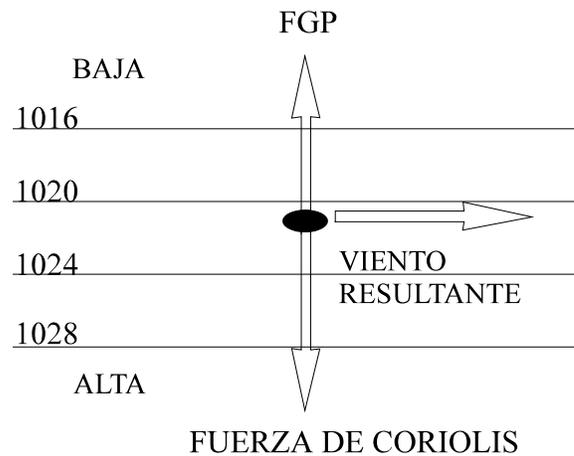


Fig. 10. El efecto de la fuerza de Coriolis sobre el viento relativo a las isobaras. Cuando la fuerza de Coriolis desvía el viento hasta ser paralelo a las isobaras, la fuerza de gradiente de presión equilibra a la de Coriolis.

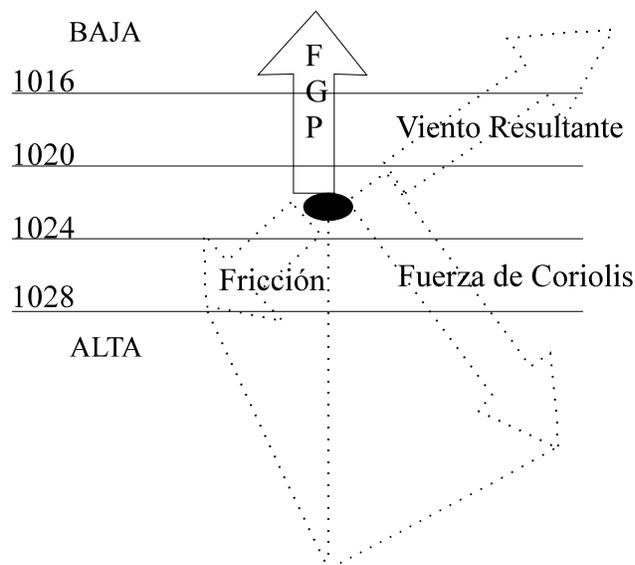


Fig. 11. La fricción con la superficie frena el viento y reduce la fuerza de Coriolis pero no afecta a la fuerza de gradiente de presión; el viento cerca de la superficie es desviado hacia la presión más baja.

## FUERZA CENTRÍFUGA Y CENTRÍPETA

La primera **Ley del movimiento de Newton** establece que, todo móvil tiende a mantener un movimiento uniforme y rectilíneo cuando no está expuesto a la acción de ninguna fuerza externa, lo que equivale a decir que todo móvil que se mueve en una trayectoria curvilínea,

estará sujeta a una fuerza de inercia que lo obliga a conservarse en una trayectoria recta (**ACCION CENTRIFUGA**), y la de otra fuerza que la equilibra (**FUERZA CENTRIPETA**), ambas actúan radialmente pero en sentido opuesto y tienen una magnitud directamente proporcional a la velocidad del móvil e inversamente proporcional al radio de la curvatura de su trayectoria. Cuando se aplica una fuerza centrípeta, la tercera ley de Newton implica que en algún lugar debe actuar una fuerza de reacción de igual magnitud y sentido opuesto. Ver fig. 12.

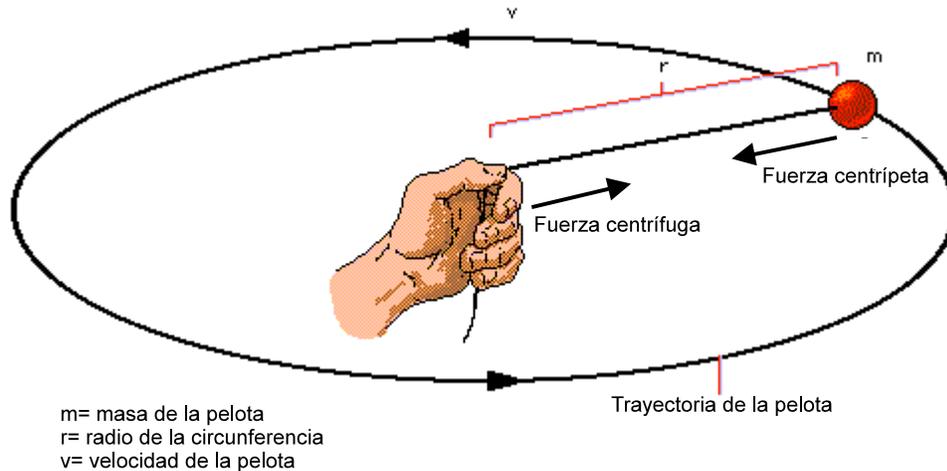


Fig. 12. Cuando se hace girar en círculo una pelota, ésta es acelerada “hacia dentro”. La aceleración se debe a una fuerza centrípeta (que tiende hacia el centro): la tensión de la cuerda. La fuerza necesaria es igual a  $mv^2/r$ , donde  $m$  es la masa de la pelota,  $v$  su velocidad y  $r$  el radio de la circunferencia descrita. La mano que tira de la cuerda experimenta una fuerza de reacción centrífuga (dirigida hacia fuera).

**La primera ley de Newton** afirma que si la suma vectorial de las fuerzas que actúan sobre un objeto es cero, el objeto permanecerá en reposo o seguirá moviéndose a velocidad constante. El que la fuerza ejercida sobre un objeto sea cero no significa necesariamente que su velocidad sea cero. Si no está sometido a ninguna fuerza (incluido el rozamiento), un objeto en movimiento seguirá desplazándose a velocidad constante.

**La segunda ley de Newton** relaciona la fuerza total y la aceleración. Una fuerza neta ejercida sobre un objeto lo acelerará, es decir, cambiará su velocidad. La aceleración será proporcional a la magnitud de la fuerza total y tendrá la misma dirección y sentido que ésta.

**La tercera ley de Newton** afirma que cuando un objeto ejerce una fuerza sobre otro, este otro objeto ejerce también una fuerza sobre el primero. La fuerza que ejerce el primer objeto sobre el segundo debe tener la misma magnitud que la fuerza que el segundo objeto ejerce sobre el primero, pero con sentido opuesto.

## DIRECCIÓN E INTENSIDAD DEL VIENTO

Se entiende por dirección del viento, la dirección de donde viene el viento. Así pues un viento del Este viene del Este.

Se puede indicar la dirección del viento con la ayuda de la rosa de los vientos. Cada cuadrante determinado por los puntos cardinales está dividido en ocho partes iguales. Cada división está numerada partiendo del Norte y girando en el sentido de las agujas del reloj. Hay, pues, treinta y dos direcciones diferentes.

Actualmente, tanto para observaciones junto al suelo como para observaciones en la altitud, se da la dirección del viento en decenas de grados “ddd” por ejemplo: ddd=290, significa un viento que viene de los 290°.

La intensidad del viento comenzó el hombre estimándola según los efectos que producía sobre las cosas o los objetos que están al aire libre: árboles, banderas, humo, etc. De ahí nació la escala Beaufort.

En los códigos meteorológicos, en la intensidad del viento la unidad estándar es el nudo (1mn. por hora), y se indica por las letras ff. Así ff=32 significa una intensidad de 32 kt. Una lectura de viento 25010 significa viento de los 250 grados con una intensidad de 10 nudos; si la intensidad es de 100 nudos o mayor se reportará el valor exacto en tres dígitos tomando el lugar de los elementos ff o fmfm. (Metar), así un viento de 240 grados con 115 nudos se reportará: **240115KT**

Los instrumentos de medición son el anemómetro para intensidad y veleta para la dirección o por medio de un radar.

En ausencia de estos equipos analógicos o digitales la medición se puede hacer por medio del reconocimiento de los efectos sensibles cuando el viento es en superficie (escala beaufort).

## LA HUMEDAD DEL AIRE

**VAPORIZACIÓN.-** Es la parte del fenómeno en el cual, un cierto número de moléculas de agua líquida, abandonan ese estado físico y pasan al estado gaseoso. La cantidad de moléculas sujetas a ese cambio de estado depende de varios factores; sin embargo, si el agua es pura y se mantiene constante la presión, y si no hay viento por añadidura, su cantidad depende únicamente de la temperatura del agua líquida. Si dicha temperatura es alta, mayor será la cantidad de moléculas de agua líquida que pasarán al estado gaseoso y viceversa.

La magnitud de esa cantidad, la daría el valor de presión, que ejerce el vapor de agua producido, que es lo que se le llama **TENSIÓN DE VAPOR DE AGUA**. Según lo antes dicho, la tensión de vapor del agua es directamente proporcional a la temperatura del agua líquida.

**HUMIDIFICACIÓN.-** Se refiere a la acumulación de vapor de agua en el aire originalmente seco. El valor que en un momento dado tiene la acumulación del vapor de agua en el aire, está indicado por el vapor de la presión que en ese momento ejerce el vapor de agua que contiene, a la cual se le llama PRESION DEL VAPOR.

### LOS PROCESOS DE CONDENSACIÓN, SUBLIMACIÓN Y CONGELACIÓN

**EVAPORACIÓN.-** Paso del estado líquido al gaseoso.

**CONDENSACIÓN.-** Paso del estado gaseoso al líquido.

**CONGELACIÓN.-** Paso del estado líquido al sólido.

**FUSIÓN.-** Paso del estado sólido al líquido.

**SUBLIMACIÓN.-** Paso directo del estado sólido al gaseoso o viceversa.

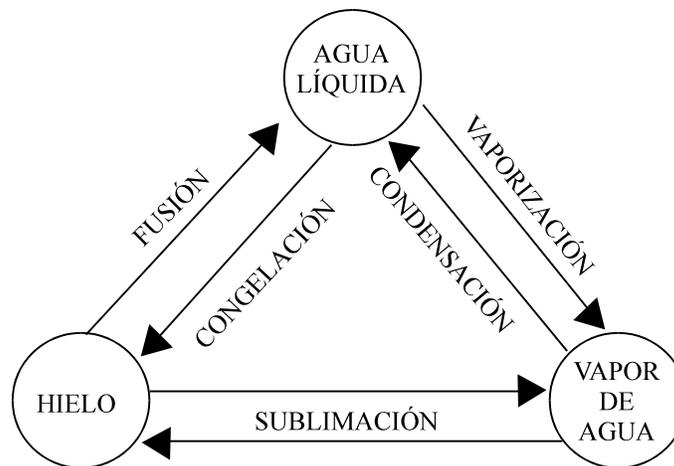


Fig. 13 Cambios de estado.

### DIFERENTES CALORES LATENTES QUE INTERVIENEN PARA LLEVAR A CABO LOS PROCESOS

#### CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN O DE CONDENSACIÓN

Para evaporar el agua, es necesario suministrarle calor. Este calor se libera de nuevo en la transformación inversa, es decir en la condensación. Se llama calor latente de evaporación, o de condensación, a la cantidad de calor que es necesario suministrar a un gramo de agua para evaporarla o que, en su caso, es liberada por un gramo de vapor de agua que se condensa. Examinemos algunas consecuencias de este fenómeno:

**Calentando el agua hasta la ebullición.** Cuando ésta se inicia, el calor suministrado es utilizado totalmente para que el agua pase a vapor; a partir de ese momento en que se ha alcanzado la temperatura de ebullición, esta permanece constante, siendo su valor de 100°C para una presión de 1013,2 HPA. La transpiración impide subir la temperatura del cuerpo humano porque, al evaporarse, consume calor.

La lluvia, al evaporarse parcialmente, refresca el suelo y la atmósfera. Por la misma, la gasolina, al evaporarse, hace bajar la temperatura del carburador del motor (esto juega un papel importante en los fenómenos de encerramiento de los carburadores).

### **CALOR LATENTE DE FUSIÓN O CONGELACIÓN**

Mientras dura una u otra de las transformaciones mencionadas, la temperatura de la mezcla permanece en 0°C. Por esta razón se utiliza la mezcla de hielo y agua para determinar el cero de los termómetros cuando se gradúan.

La constancia de la temperatura de la mezcla agua + hielo se explica por el hecho de que la fusión del hielo absorbe el calor aportado del exterior. Cada gramo del hielo que se funde consume 80 calorías. Es lo que se llama fusión calor latente de congelación.

### **CALOR LATENTE DE SUBLIMACIÓN**

Se llama así a la cantidad de calor que es necesario suministrar a un gramo de hielo para transformarlo directamente en vapor. Es también la cantidad de vapor liberada por la formación de hielo directamente a partir del vapor de agua. El calor de sublimación es igual a la suma del calor latente de fusión y el calor latente de evaporación.

### **ESTABILIDAD E INESTABILIDAD DEL AIRE**

Es muy posible que hayan ustedes observado un curioso fenómeno: En días de fuerte sol y más fácilmente en verano, se ven a veces sobre determinados parajes unas aves que, con las alas extendidas y sin moverlas, suben dando vueltas como por una escalera de caracol. Están practicando el vuelo a vela; es una especie de diversión que no les cuesta ningún esfuerzo; ellas no trabajan para elevarse, son arrastradas hacia lo alto por aire que asciende en el interior de una especie de chimenea invisible.

Condiciones semejantes son las que utilizan los pilotos de vuelo sin motor, con sus planeadores, para realizar el emocionante deporte de vuelo a vela. Esto ocurre debido a que el aire asciende a veces en grandes volúmenes hasta alturas considerables debido al excesivo calentamiento.

La fuerza ascensional del aire es tan grande, como la mayor parte de las veces, que son capaces de transportar uno de esos planeadores, con uno o dos hombres dentro hasta grandes alturas; lo único que tiene que hacer el piloto es maniobrar con los timones para no salirse de la zona de ascendencia. Una vez que comienza el ascenso del aire; ¿prosigue lo suficiente para

formar una nube? No siempre, pero muchas veces sí. Y puede saberse por anticipado, si se ha realizado pocas horas antes un sondeo de la atmósfera para conocer como varían la temperatura, la presión y la humedad al subir en el seno del aire, para saber si la atmósfera es estable o inestable.

A veces las corrientes de aire inician su ascenso, pero se detienen a poca altitud: Los pájaros antes citados, no se ve que suban más de unas cuantas decenas de metros; es que la atmósfera es estable; si se forman nubes, pero poco desarrollo vertical.

Por el contrario, en otras ocasiones el aire de la invisible corriente sube y sube; cada vez encuentra menor presión y se dilata, enfriándose; llega el momento de que el vapor de agua se condensa en gotitas y comienza a aparecer la nube; el aire que ascienda deja de ser invisible; se ve crecer la nube y puede llegar a convertirse en un gran cúmulo o un cumulonimbus.

Todo esto ha podido ocurrir solo si la atmósfera es inestable. Voy a tratar de aclarar esto de estabilidad e inestabilidad atmosférica (del aire).

Imaginémonos dentro de una de esas corrientes de aire calentado y ascendente, y razonemos lo que va a suceder en nuestro viaje a las alturas.

Supongamos que abordamos 2 termómetros iguales; uno dentro de nuestra corriente y otro que atravesando la película invisible que la rodea y limita puede tomar la temperatura del aire exterior. El viaje es tan veloz que no da tiempo para que el aire de nuestra burbuja tenga intercambios de calor con el que la rodea. Conforme ascendemos, nos damos cuenta que nuestra burbuja aumenta de tamaño. Es natural, ya que encuentra menos presión externa a medida de que sube, y en consecuencia se dilata.

La expansión del aire interior de la burbuja va acompañada de un enfriamiento, y en efecto, el termómetro del interior baja progresivamente, al mismo tiempo que ocurre la dilatación. Pero el termómetro exterior también va bajando, ya que el aire que nos rodea se va enfriando cuanto más arriba se esté. Mientras el termómetro de dentro marque mayor temperatura que el de fuera seguirá subiendo. Si tal cosa ocurre hasta grandes alturas (más de 15,000 pies), la atmósfera es inestable.

Pero pudiera ocurrirnos que el termómetro de dentro bajase más deprisa que el del exterior, entonces llegará un momento en que se igualen las temperaturas. Un poco más que subamos y nuestro aire interior de la burbuja estará más frío que el exterior que nos rodea, por lo que no podremos flotar y caeremos. Si tal cosa ocurre antes de que se vaya a empezar a condensar el vapor del aire interior, o a pocos cientos de metros más arriba de cuando empezó la condensación, no se formarán nubes o estas tendrán poco desarrollo. Por lo tanto la atmósfera es estable.

La existencia de inestabilidad atmosférica es condición indispensable para que se pueda formar una tormenta. Ya comprenderán que la presencia de aire muy frío en las alturas favorece a la formación de dicho fenómeno, ya que favorece la inestabilidad.

Hay que asociar pues, la idea de atmósfera inestable con la de aire frío a grandes alturas o con la de aire muy caliente y húmedo (es decir con temperatura alta) en bajos niveles. O mejor aún, con ambas cosas a la vez. Resumiendo, la atmósfera es inestable cuando la temperatura del aire junto al suelo es, o puede llegar a ser, lo suficientemente alta como para que el aire ascienda manteniéndose más caliente que el aire que vaya encontrando en las alturas, o lo que es igual: Cuando el aire de arriba es más frío de lo que puede llegar a serlo el de abajo cuando ascienda a su nivel.

Resulta, pues, que el aire de abajo será normalmente más cálido que el de arriba, entre otras razones porque está mas comprimido; pero esto no basta para que la atmósfera sea inestable: es necesario que, puestos ambos aires en las mismas condiciones de presión siga siendo más cálido el que hay abajo.

Si al aire de arriba lo obligásemos a descender hasta ponerlo en el suelo, sin que en el viaje intercambiase calor con el aire que va encontrando, llegaría abajo más caliente de lo que estaba arriba, porque va encontrando mayor presión atmosférica y se comprime, calentándose. La temperatura que, en tales condiciones, tendría al llegar al suelo es a lo que se le llama su “Temperatura Potencial”. Es decir, cuando está arriba tiene una temperatura, la que sea, pero es capaz de adquirir otra mayor (sin que le demos calor) solo con ponerla a la presión que hay en el suelo. Esta otra temperatura la tiene en potencia: que es su “Temperatura Potencial”.

La atmósfera es inestable cuando el aire de las capas altas tiene una temperatura potencial más baja que la temperatura real del aire que hay junto al suelo.

## LA VISIBILIDAD

El término “visibilidad” es usado, comúnmente en aviación, como la máxima distancia horizontal a la cual un objeto prominente puede ser visto y reconocido como tal.

**VISIBILIDAD HORIZONTAL.-** Es la mayor distancia a la cual un objeto de características bien definidas, puede ser visto o identificado como tal, sin la ayuda de instrumentos ópticos. Y son aquellos que se obtienen únicamente en el plano horizontal.

**VISIBILIDAD VERTICAL.-** Es la que se obtiene perpendicularmente al horizonte hacia arriba o hacia abajo.

**VISIBILIDAD OBLÍCUA.-** Es la que se mide entre la vertical y el horizonte.

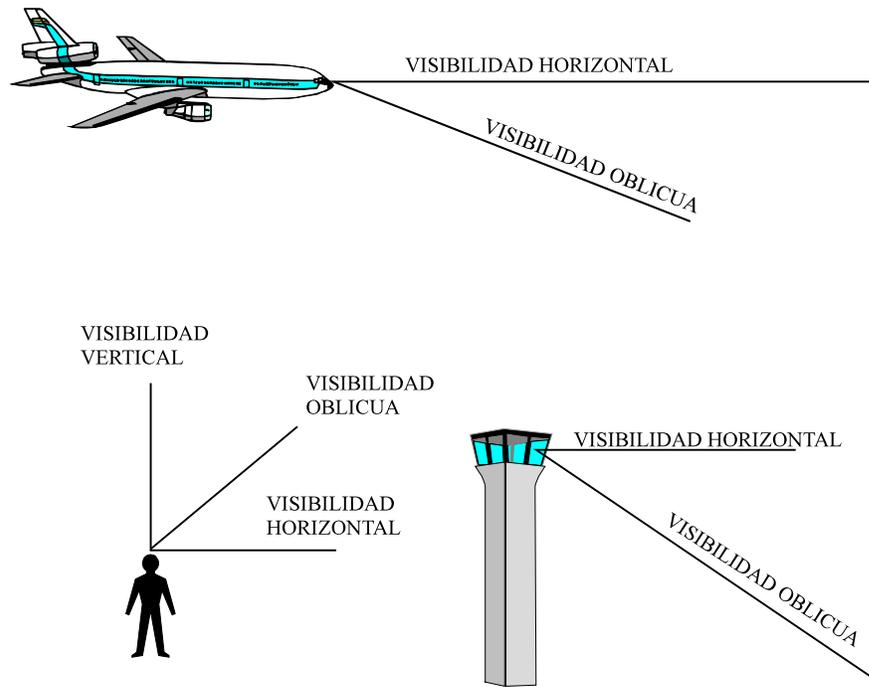


Fig. 13. En esta figura se ven los diferentes tipos de visibilidad, como observarán en el caso de la torre de control y en el avión no se puede tener visibilidad vertical debido a que es obstruida por el techo.

**VISIBILIDAD EN PISTA.-** Es la distancia a la que un piloto puede distinguir la pista, del área adyacente a ella.

### DETERMINACIÓN Y VALORES REPORTABLES DE LAS DIFERENTES CLASES DE VISIBILIDADES

En realidad el concepto visibilidad tiene la intención de hacer una apreciación de la **“Transparencia del aire”**.

La experiencia ha demostrado, que mientras más lejos se encuentre un objeto prominente más brillante se ve, por esta razón es que muchos manuales para observadores, recomiendan que los objetos que usen para estimar la visibilidad horizontal, sean tan oscuros como sean posibles, ya que mientras más claro sea el objeto, más fácilmente se hace invisible, debido a la brillantez que adquiere con la distancia.

## DETERMINACIÓN DE VISIBILIDAD HORIZONTAL (PREDOMINANTE Y POR SECTOR)

**VISIBILIDAD PREDOMINANTE (VP).**- Es la máxima visibilidad que es común a todos los sectores no necesariamente contiguos que comprendan más de la mitad del círculo del horizonte (que sumen más de 180°).

Como normalmente las condiciones de visibilidad no son uniformes en todas las direcciones, el círculo del horizonte debe de ser dividido a ojo en tantos sectores como sea necesario de modo que en cada sector la visibilidad sea uniforme.

Apreciada la uniformidad de la visibilidad en cada sector, se procede a estimar el valor de visibilidad horizontal en cada uno de ellos.

Anótese en un papel, la visibilidad que se estima que existe en cada sector, así como las magnitudes, en ángulos (expresadas en grados) o magnitudes angulares, de cada uno de los sectores, enseguida, procédase a escoger aquel valor que siendo el mayor de todos, sea común a todos los sectores que comprenden la mitad o más del círculo del horizonte.

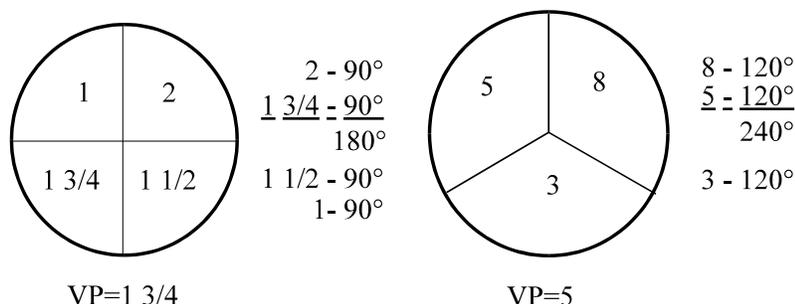


Fig. 14. Ejemplos de V.P. observe que se va anotando de mayor a menor valor de visibilidad con su respectiva magnitud angular.

**VISIBILIDAD POR SECTOR.**- Es la comprendida dentro de porciones del círculo del horizonte.

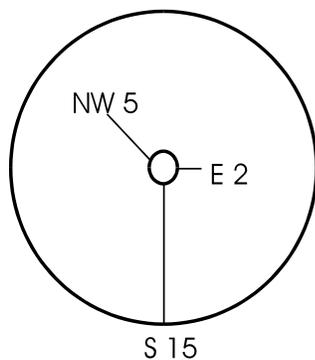


Fig. 15. Ejemplo de visibilidad por sector. Véase que no siempre la visibilidad es uniforme, mientras la figura nos muestra que al Noroeste hay 5 millas Terrestres, al Sur hay 15 y al Este 2.

## DETERMINACIÓN DE LA VISIBILIDAD VERTICAL

Cuando no hay nubes en el cielo nuestra visibilidad vertical será ilimitada, cuando haya nubes cubriendo la totalidad del cielo, nuestra visibilidad vertical será la distancia (altura) que hay entre nosotros y las nubes, cuando un fenómeno nos obstruye la visión debido a que cubre la totalidad del cielo, nuestra visibilidad vertical será la máxima distancia que nosotros alcanzamos a ver dentro de ese fenómeno.

## CODIFICACIÓN DE LA VISIBILIDAD EN LOS INFORMES METEOROLÓGICOS AERONÁUTICOS

La codificación de la visibilidad en los informes meteorológicos aeronáuticos es en millas terrestres (estatutas) que equivalen a 1,609 mts.

## CRITERIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VISIBILIDAD

Se recomienda que la visibilidad sea determinada por la torre de control, cuando la visibilidad se reduzca a menos de 3 millas, a la vez que se haga una estimación desde el lugar comúnmente usado para hacer esta determinación. La estimación de la visibilidad desde la Torre nos sirve para tener una idea de cuales pudieran ser los fenómenos que estuvieran afectando la visibilidad en la estación, sin embargo, el valor que aparece en el informe, será el que corresponda al dato obtenido desde la superficie misma del suelo, salvo algunas excepciones ver fig. 16, y 16-a.

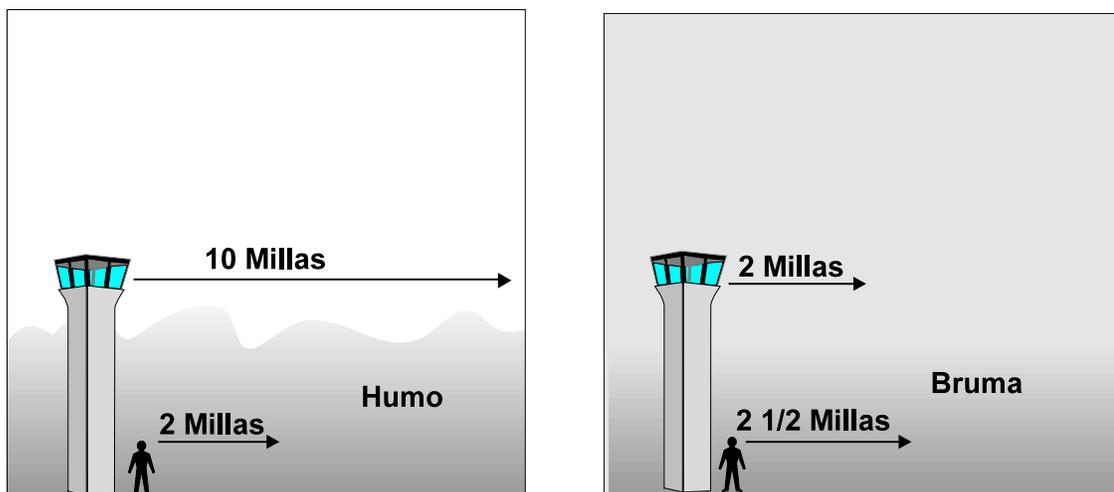


Fig. 16

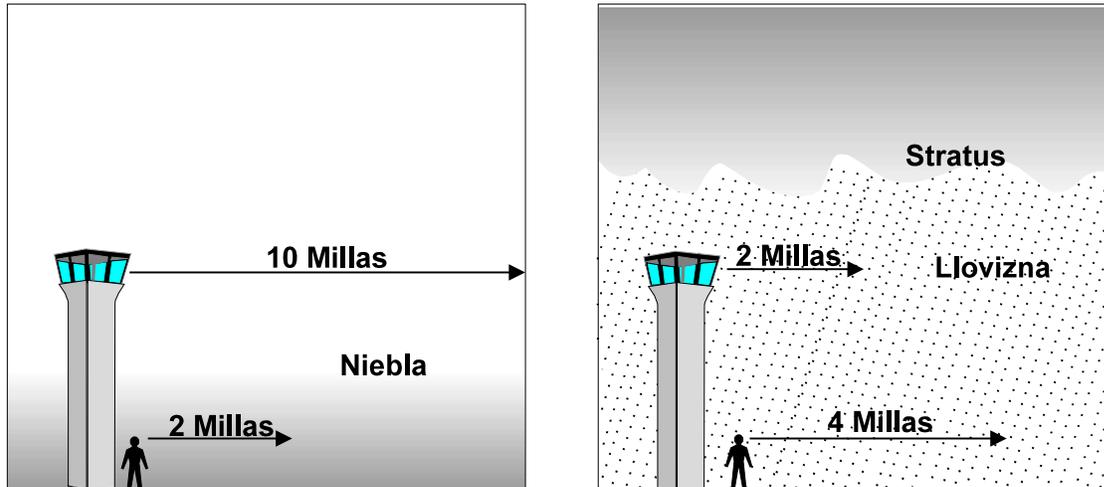


Fig. 16-a. Nos muestran el porque en ocasiones se debe tomar como Visibilidad Predominante la visibilidad de TWR cuando por normatividad debe de hacerse desde la superficie.

A fin de tener un medio rápido y seguro para estimar la visibilidad en toda la estación meteorológica deberán existir una o varias cartas en donde se indiquen la dirección y distancia a que se encuentran, desde el punto de observación, objetos prominentes que sirvan para estimar la visibilidad tanto de día como de noche.

Cada estación meteorológica deberá poseer dos cartas para determinar la visibilidad. Una de ellas deberá mostrar la distancia y dirección en que se encuentran todos los objetos prominentes que pueden ser utilizados para este fin.

La otra deberá mostrar en escala ampliada, los objetos prominentes que se encuentran a menos de milla y media de la estación, un ejemplo de tales cartas es la que se muestra en la Fig.17.

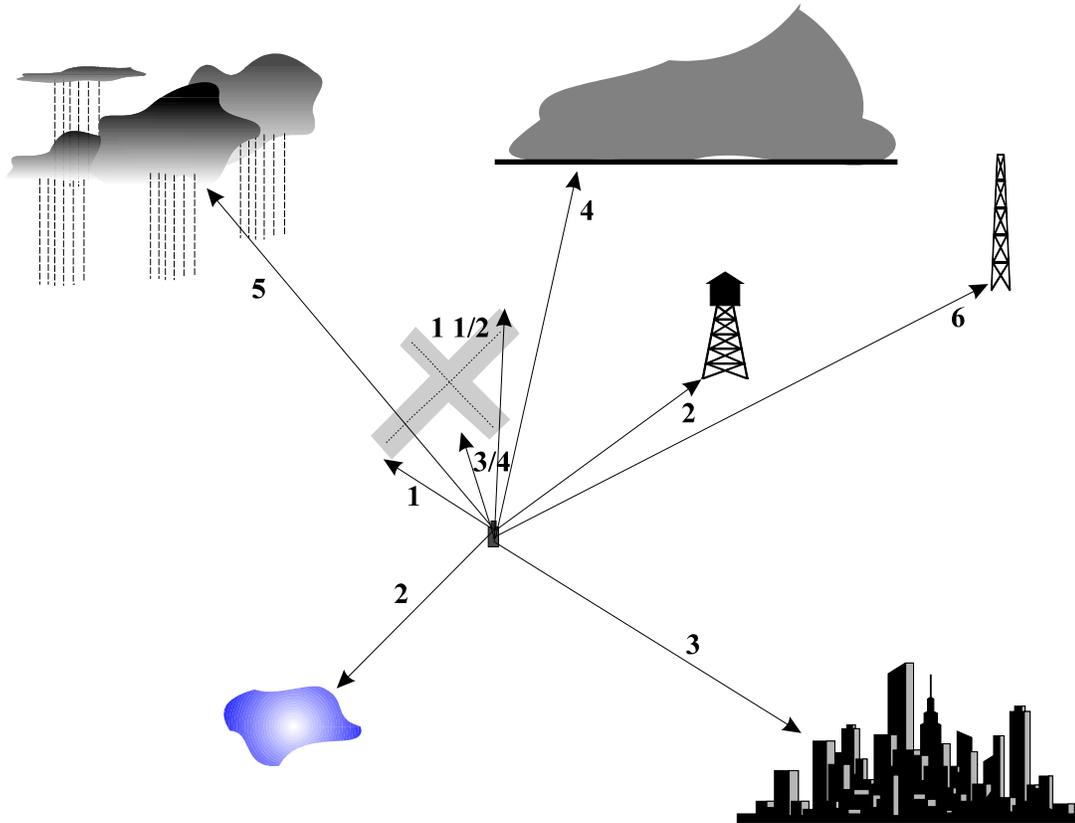


Fig. 17. Para la determinación de la visibilidad se tomarán referencias en la que se puedan determinar las distancias en millas terrestres desde el punto de vista del observador.

Una precaución muy importante que se deberá tener para una determinación de la visibilidad durante el día es la siguiente. Los objetos prominentes que se escojan como referencia para su estimación, deberán ser tan oscuros como sea posible, de preferencia objetos de color negro y que se destaquen contra el cielo del horizonte y no contra el suelo o montañas circundantes. Naturalmente que si la estación se encuentra rodeada de montañas, no habrá otro recurso que escoger aquellos objetos que se destaquen del suelo, aunque se les vea contra las montañas.

En estos casos elíjanse objetos cuyo color contraste bastante con el color que pueda tener el fondo contra el cual se ven.

Una ampliación de lo dicho en el párrafo anterior es la siguiente. Con frecuencia se pueden utilizar los silos pintados. Cuando la estación está rodeada de montañas, sin mucha vegetación este objeto prominente es una excelente ayuda para la estimación de la visibilidad. En la carta que se confeccione como ayuda para la determinación de este elemento, indíquese la dirección y la distancia a que se encuentra de la estación. Es frecuente también, que las chimeneas de las fabricas sean pintadas con colores vivos, lo cual ayuda a que sean vistas con bastante facilidad, cualquiera que sea el fondo que tengan detrás. Úsese este tipo de objetos

prominentes con preferencia a cualquier otro, como son antenas de radio, las cuales se hacen fácilmente visibles, especialmente cuando hay un poco de bruma, por la difusión que experimenta la luz natural, cuando existe este fenómeno.

Al hacer el reconocimiento de un objeto que esté utilizando para apreciar la magnitud de la visibilidad horizontal, debe estarse seguro que se le está reconociendo tal como es, con absoluta facilidad y que no solo se está adivinando su presencia o que se le ve difusamente.

La recomendación anterior es especialmente importante cuando está ocurriendo precipitación.

### **DETERMINACIÓN DE LA VISIBILIDAD DURANTE LA NOCHE**

Durante la noche deberá usarse como referencia la distancia a luces conocidas y que sean fácilmente identificables. Muy útiles son a este respecto, las luces de obstrucción de torres o antenas, también se pueden utilizar chimeneas cercanas a la estación.

Las luces del alumbrado público de carreteras cercanas son también muy útiles, así como vehículos que están pasando por la carretera.

Las luces de faros giratorios no son apropiados para la determinación de la visibilidad durante la noche debido a su gran intensidad, lo cual contribuye a sobrestimar la visibilidad existente. Sin embargo, la disminución de su brillantez puede servir como una guía para darse cuenta que la visibilidad está restringida, especialmente cuando hay humo o bruma poco intensa.

En la carta que se confeccione para apreciar distancias, se deberá indicar la distancia, desde la estación hasta las luces fácilmente identificables.

### **APRECIACIÓN DE LA VISIBILIDAD DURANTE EL DÍA Y LA NOCHE**

Deberá tenerse en cuenta que la visibilidad durante el día y la noche varía muy poco, excepto por la presencia de bruma y humo u otras impurezas del aire. Por lo general, la visibilidad durante la noche es tan buena como durante el día, por consiguiente, es erróneo creer que, porque no hay luz solar, durante la noche la visibilidad deberá ser siempre menor que durante el día. Con frecuencia, observadores mal entrenados, informan visibilidad cero, en las noches, porque creen que debe de ser así, debido a la obscuridad. Si una luz, que se encuentra a una distancia de 50 millas es vista desde la estación, la visibilidad en esas direcciones es de 50 millas o más, a pesar de que sea noche.

En aquellas localidades en donde existen muchas fabricas o estaciones de ferrocarril, puede ocurrir que la visibilidad tenga una marcada variación durante el día y la noche. En general puede decirse que, debido a la inversión de superficie que por lo general se produce durante la noche, la visibilidad se ve notablemente restringida en el momento de la salida del sol y va mejorando paulatinamente con el transcurso del día. El mejoramiento de la visibilidad

durante el día, debe atribuirse al calentamiento de las primeras capas atmosféricas, el cual determina una mejor distribución de las impurezas del aire en dichos niveles, dando como resultado, una mejor visibilidad horizontal cerca del suelo.

Se recomienda a los observadores que, en la noche, al salir a hacer la observación de la visibilidad, permanezca en la obscuridad no menos de 5 minutos, a fin de acostumbrar los ojos a la diferencia de iluminación entre la oficina en donde se encontraban trabajando y la obscuridad exterior. Evite hacer la observación desde un punto demasiado iluminado por reflectores u otras luces.

Como habíamos visto anteriormente la visibilidad en los informes se reporta en millas terrestres.

**LOS VALORES REPORTABLES SON LOS SIGUIENTES:**

REPORTAR MILLAS TERRESTRES	EQUIVALE A: METROS	REPORTAR MILLAS TERRESTRES	EQUIVALE A: METROS
0	0	1 ¼	2000
1/16	100	1 ½	2400
1/8	200	1 ¾	2800
3/16	300	2	3200
¼	400	2 ¼	3600
5/16	500	2 ½	4000
3/8	600	2 ¾	4400
½	800	3	4800
5/8	1000		De 3 a 6 millas incrementos de una milla.
¾	1200		
1	1600		De 6 millas o más se codificará P6SM

Nota: La equivalencia en metros corresponde a un valor aproximado.

Cuando en un aeropuerto existan suficientes objetos de referencia y se observan visibilidades superiores a 6 millas, bastará con reportar esta visibilidad y agregar la letra **P** (Plus=Más de). Aunque para el personal del centro de análisis y pronósticos es de mayor utilidad que se reporte la visibilidad real debido a que el saber que hay visibilidades buenas en extremo o pésimas condiciones de visibilidad, es un indicador para los previsores de que tan estable o inestable está el aire.

**FENÓMENOS DE OBSCURECIMIENTO**

Los fenómenos de obstrucción a la visibilidad son: niebla, neblina, bruma, humo, polvo, tolvana, tempestad de arena y ventisca.

**NIEBLA (FG).**- Es un hidrometeoro que consiste en un conjunto de diminutas gotas de agua con base en la superficie terrestre que reduce la visibilidad horizontal. Este hidrometeoro se reporta cuando la visibilidad sea menor a 5/8 de milla.

**NEBLINA (BR).**- Es un hidrometeoro que consiste en un conjunto de microscópicas partículas de agua o partículas húmedas higroscópicas, en suspensión, de modo que la visibilidad queda muy reducida en la superficie terrestre, solo se reportará en el informe cuando la visibilidad tenga valores entre 5/8 y 6 millas.

**BRUMA (HZ).**- Es un litometeor que consiste en partículas de polvo, sal, residuos de incendios o erupciones volcánicas, etc., extremadamente pequeñas invisibles a simple vista, que se encuentran en suspensión en la atmósfera bien esparcidas y suficientemente numerosas para dar apariencia opalescente al aire, semeja un velo uniforme sobre el paisaje opacando los colores. Los objetos oscuros vistos a través de este velo tienden a adquirir una tonalidad azulada mientras que los objetos brillantes tales como el sol, aparecen con un tinte amarillo sucio o rojizo. Cuando el sol está bien alto y hay bruma, su luz tiene una peculiar tonalidad plateada.

**HUMO (FU).**- Es un litometeor que consiste en partículas pequeñas producto de la combustión en suspensión en el aire. Este fenómeno puede estar cerca de la superficie terrestre o en la atmósfera libre. A la salida y puesta del sol, el disco solar aparece sumamente rojo y cuando está alto tiene una tonalidad anaranjada o rojiza, el humo a distancia generalmente tiene una apariencia grisácea o azulada. Puede ocurrir que haya una transición a bruma cuando las partículas de humo hayan viajado grandes distancias y las partículas más grandes se depositan, y las que permanecen en la atmósfera llegan a ser esparcidas.

Cuando el humo está suficientemente cerca se distingue fácilmente por su olor característico.

**POLVO (DU).**- Es un litometeor que consiste en partículas minúsculas de materia orgánica, tierra, arena, etc., que da una apariencia grisácea o cobriza al cielo a la distancia. El disco solar aparece pálido o incoloro a veces con un matiz amarillo durante todo el día.

**TOLVANERA (DS).**- Es un litometeor el cual se produce cuando el viento levanta desde la superficie, grandes cantidades de polvo en nubes o mantos. En estas condiciones, el viento puede ser capaz de levantar el polvo hasta alturas considerables, reduciendo la visibilidad horizontal a 6 millas o menos y a menudo el cielo es obscurecido por completo.

**TEMPESTAD DE ARENA (SS).**- Es un litometeor que consiste en arena levantada por el viento a moderada altura sobre el suelo, que reduce la visibilidad horizontal a 6 millas o menos.

**VENTISCA (BLSN).**- Es un hidrometeoro que consiste en nieve recién caída, levantada por el viento a moderada altura sobre el suelo, que reduce la visibilidad horizontal a 6 millas o menos.

Los signos corrientes a “Fuerte”, “Ligera”, y “Muy Ligera”, no se utilizan para indicar la intensidad de las obstrucciones a la visión ya que la intensidad o el espesor del fenómeno está implícito en el valor de visibilidad reportado.

## FENÓMENOS DE TIEMPO PRESENTE

Los fenómenos atmosféricos que deben ser reportados caracterizando las condiciones de tiempo presente son los siguientes: Tornado, Tromba, Tormenta y todos los tipos de precipitación.

Todos los demás fenómenos (litometeoro o hidrometeoro), que no sean nubes o precipitación, están comprendidos dentro de los fenómenos de oscurecimiento.

**TORNADO Y TROMBA (FC).**- La característica sobresaliente de esta clase de fenómenos es la parte oscura y en forma de fenómeno que cuelga de la parte inferior de un cumulonimbus. Este fenómeno cuando ocurre sobre tierra se llama tornado y tromba cuando ocurre sobre mar.

Cada vez que se observe un tornado o una tromba deberá reportarse la dirección con respecto a la estación en que se encuentra y la dirección de su movimiento.

**TORMENTA O TRONADA (TS).**- Este fenómeno se caracteriza por producir descargas eléctricas (truenos y relámpagos), y/o granizadas y rachas o turbonadas.

Cuando ocurra una tormenta deberá determinarse lo siguiente:

- a) Si es moderada o fuerte ( **TS** o **+TS**)
- b) Hora de comienzo y terminación
- c) Localización del centro con respecto a la estación
- d) Dirección hacia donde se mueve
- e) Si hay descargas eléctricas, indicar si ocurren de nube a nube, de nube a tierra o dentro de la nube
- f) Intensidad de la tormenta de acuerdo con los criterios que a continuación se mencionan.

La intensidad de una tormenta se basa en las siguientes características, determinadas dentro de los 15 minutos previos a la observación.

- a) La tormenta se considera moderada (TS), cuando ocurren rachas menores a 50 kts. y el tamaño del granizo, si lo hay, es menor de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (2 centímetros), de diámetro.
- b) La tormenta se considera fuerte (+TS), cuando se observan rachas de 50 kts. o más, el tamaño del granizo es de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (2 centímetros) o más de diámetro y las descargas eléctricas son frecuentes.

## PRECIPITACIÓN

Se da el nombre de “precipitación”, a todos los hidrometeoros que provenientes de la condensación del vapor de agua atmosférico, caen y llegan hasta la superficie de la tierra, ya sea

en forma líquida o sólida. Formas de precipitación serán por consiguiente: la lluvia, la llovizna, la nieve, el granizo, etc.

La precipitación se va a clasificar como líquida, helada y congelada.

La precipitación líquida la constituyen: la lluvia y la llovizna.

La precipitación helada la constituyen: la lluvia helada y la llovizna helada.

La precipitación congelada la constituyen: los cristales de hielo, pelotitas de nieve, el granizo, la nieve y el aguanieve.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PRECIPITACIÓN

**LLOVIZNA (DZ).**- Gotas pequeñas y uniformemente espaciadas que parecen flotar siguiendo las corrientes de aire. A diferencia de las gotitas que constituyen la niebla, la llovizna cae al suelo (la llovizna la produce generalmente el stratus bajo y frecuentemente es acompañada por mala visibilidad y niebla).

**LLUVIA (RA).**- Gotas de agua que se desploman de las nubes. Las gotas son más grandes que las de la llovizna.

**LLOVIZNA HELADA (DZFX).**- Es llovizna que cae en forma líquida, pero cuyas gotitas en sub-fusión se congelan instantáneamente al chocar con superficies expuestas o con el suelo.

**LLUVIA HELADA (RAFZ).**- Es lluvia que cae en forma líquida pero cuyas gotas a sub-fusión se congelan instantáneamente al chocar con superficies expuestas o con el suelo.

**CRISTALES DE HIELO (IC).**- Hielo en forma de agujas, columnas o láminas no agrupadas. A menudo son tan pequeños que parecen estar suspendidos en el aire. Pueden caer de una nube o en aire claro. Son visibles principalmente cuando brillan al reflejo del sol y pueden producir columnas luminosas.

**GRANIZO (GR).**- Es la precipitación en forma de bolas o terrones irregulares de hielo.

**NIEVE (SN).**- Cristales de hielo blanco o translúcidos que se presentan generalmente en forma hexagonal, (formando estrellas), y a menudo caen mezclados como simples cristales de hielo a temperaturas más altas de  $-5^{\circ}\text{C}$ . Los cristales de hielo se agrupan para formar copos de nieve.

**PELOTAS DE HIELO (PE).**- Son granos de hielo blanco y opaco de 2 a 5 mm. , de diámetro, algunas veces son esféricos o cónicos. Son quebradizos y fácilmente compresibles y pueden rebotar o desintegrarse al golpearse contra superficies duras.

**GRANOS DE NIEVE (SG).**- Son granos de hielo blanco y opaco, que cuando chocan con el suelo duro no saltan ni se rompen. Generalmente caen en pequeñas cantidades principalmente de nubes estratos.

**AGUANIEVE.**- Es la precipitación de nieve con alto porcentaje de agua. Cuando está cayendo con ligera intensidad no alcanza a acumularse y la cantidad de agua líquida que contiene, hace que su porción de nieve se funda rápidamente al depositarse sobre las superficies expuestas.

## CARÁCTER DE LA PRECIPITACIÓN

El carácter de la precipitación se determina de acuerdo con los siguientes criterios:

- a) **Continua.**- Se dice que la precipitación es continua, cuando su intensidad aumenta o disminuye gradualmente, pero su duración es superior a una hora.
- b) **Intermitente.**- Se dice que la precipitación es intermitente, cuando se interrumpe y comienza al menos una vez en el lapso de una hora y su intensidad disminuye o aumenta gradualmente.
- c) **Achubascada.**- Es aquella precipitación que comienza y termina súbitamente y su intensidad varía rápidamente (Este tipo se produce en las nubes cumulus, cumulonimbus y nimbostratus).
- d) **Combinaciones.**- Precipitación Achubascada, continua o intermitente, puede ocurrir simultáneamente en un momento dado. Cuando este es el caso, la precipitación no siempre cesa del todo y su intensidad varía súbitamente, ya que los chubascos comienzan y terminan súbitamente.

**Nota.** Cuando se produzca precipitación Achubascada continua o intermitente, se deberá reportar únicamente el tipo de precipitación que prevalece en el momento de la observación.

## INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN

La intensidad de la precipitación es una indicación de la cantidad de lluvia que cae en el tiempo de la observación. Se expresa como, **ligera, moderada o fuerte**. Cada intensidad se define con respecto al tipo de precipitación que está ocurriendo, basada en la razón de caída para la lluvia y las pelotitas de nieve, o en la visibilidad para la nieve y la llovizna.

## CRITERIOS PARA DETERMINAR LA INTENSIDAD DE LA LLUVIA

**Ligera.** En la lluvia ligera las gotas son fácilmente identificables unas de otras, las salpicaduras que producen también son fácilmente identificables sobre pavimentos, techos, vidrios o cualquier otra superficie seca expuesta; la visibilidad no se reduce a menos de 6 millas.

**Moderada.** En esta lluvia no se pueden identificar gotas individuales; las salpicaduras producidas se observan a cierta altura del suelo y otras superficies expuestas. La visibilidad se reduce a 6 millas o menos.

**Fuerte.** Esta lluvia parece caer en mantos, no se pueden identificar gotas individuales; las salpicaduras que se producen se levantan a varios centímetros de las superficies expuestas, la visibilidad es bastante restringida.

## FORMACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE NIEBLA

**NIEBLA DE ADVECCIÓN.-** (Se llama advección a la afluencia de aire por traslación horizontal). Cuando el aire cálido y húmedo fluye horizontalmente y se desliza sobre una superficie fría, su temperatura desciende; y si llega a ser dos o tres grados inferior a su punto de rocío inicial, se forma una niebla llamada niebla de advección.

**NIEBLA DE RADIACIÓN.-** Tipo muy común de niebla que se forma sobre el suelo durante las noches en las que, con vientos débiles, cielo despejado o casi despejado y el aire es húmedo a niveles bajos de la atmósfera; las dos primeras condiciones son las esenciales; la niebla se produce por el enfriamiento radiactivo del suelo, hasta que el descenso de temperatura es suficiente para determinar la condensación del vapor de agua contenido en las capas inferiores, donde la presencia de núcleos higroscópicos, especialmente en las zonas industriales, facilita la formación de la niebla.

**NIEBLA FRONTAL.-** Niebla que se produce a lo largo de un frente, debido a la mezcla que tiene lugar entre las dos masas de aire que entran en contacto.

## CONDICIÓN DE CIELO Y TECHO

**LA CONDICIÓN DE CIELO.-** Es la evaluación de cielo cubierto parcial o total por capas de nubes (opacas o delgadas) y/o por fenómenos de oscurecimiento o de obstrucción a la visión.

La cantidad de cielo cubierto se evalúa en octas de cobertura de la bóveda celeste sobre el horizonte y tomando como referencia el sitio de observación. Con la determinación de la condición de cielo se pretende indirectamente determinar aspectos tales como la estabilidad o inestabilidad del aire.

**TECHO.-** Es la altura de la capa más baja que constituya un nublado o cerrado.

### LA EXTENSIÓN Y ESTRATIFICACIÓN

**LA EXTENSIÓN.-** Es la medida del grado de ocultamiento de la bóveda celeste, se mide y expresa en fracciones de la propia bóveda celeste; “UN OCTA”, que es la octava parte de la bóveda celeste, ver figura 18.

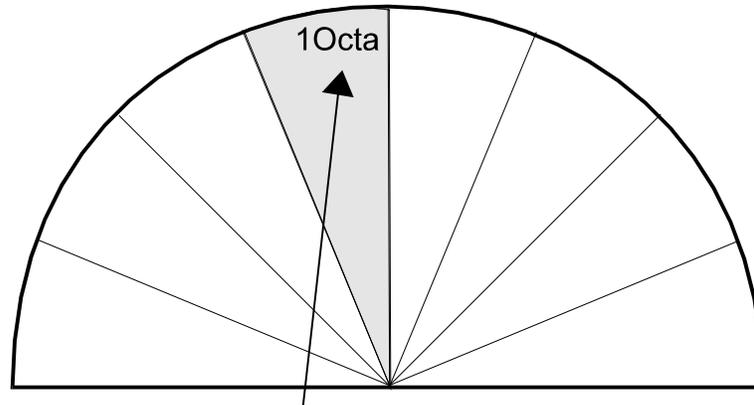


Fig.18. Bóveda celeste dividida en octas.

Cuando una formación de fenómenos de los que ocultan la bóveda tiene una extensión igual o superior a una octa, y en toda su extensión la base de dicha formación tiene la misma altura, se dice que tal formación constituye una CAPA. Ver fig. 19.

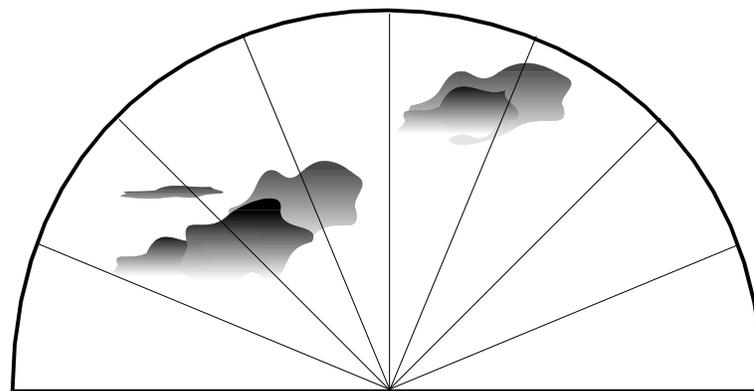


Fig. 19 dos capas a diferentes alturas.

Es costumbre en nuestro medio, por razones de su empleo, definir la extensión de cada capa, no como el número de octas de bóveda celestes que oculta, sino como la suma de su propia extensión, con la de las capas situadas por debajo de ella, ver figura 20.

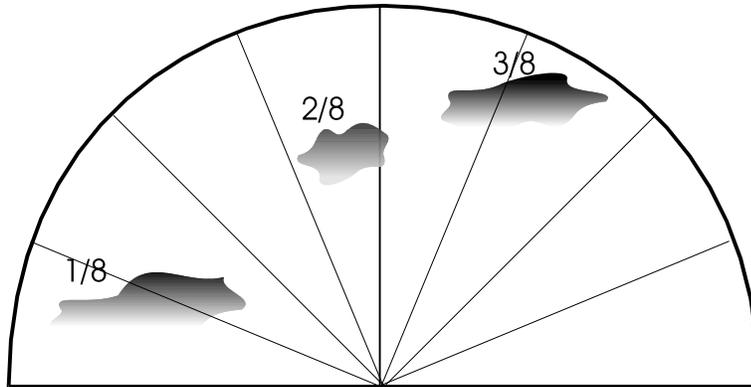


Fig. 20. Suma de las diferentes extensiones a diferentes alturas.

**CAPA OPACA.-** Es aquella que cubre el cielo, no permite observar capas más altas o el azul del cielo, ver figura 21.

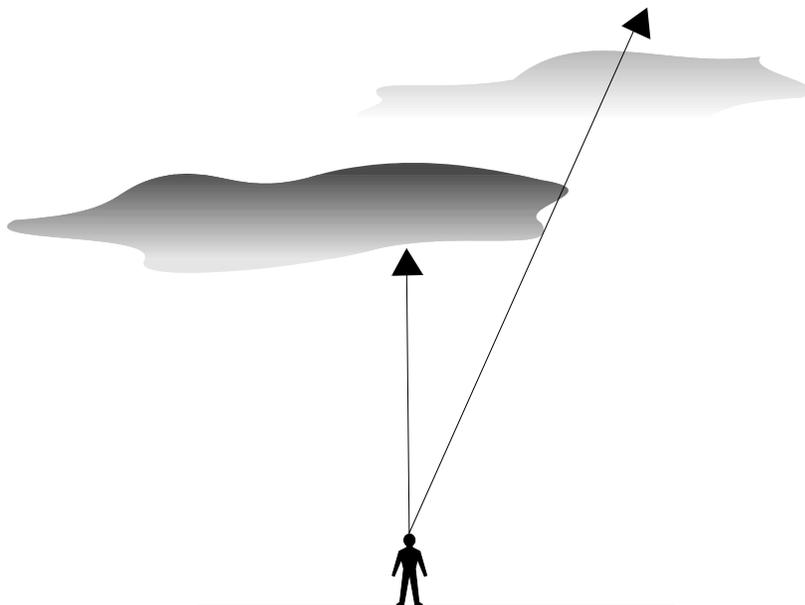


Fig. 21 Capa Opaca

**CAPA DELGADA O TRANSPARENTE.-** Es aquella que cubre pero no oculta el cielo. Ver figura 22.

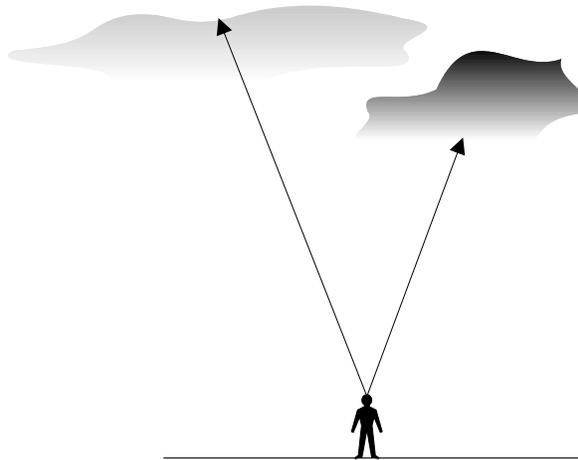


Fig. 22 Capa Transparente.

**LA ESTRATIFICACIÓN.-** Es la distribución vertical de las diferentes capas que en un momento y lugar ocultan la bóveda celeste, se fija mediante la altura o altitud de la base de todas y cada una de tales capas.

En los informes de observaciones de superficie y en los pronósticos de terminales que se refieren a los diferentes aeropuertos, tal medida es dada en términos de la altura de la base de cada capa. En los pronósticos que no se refieren a puntos específicos, sino a áreas, rutas o trayectorias de vuelos específicos, tal componente de la condición del cielo se expresa en términos de altitudes, ver figura 23.

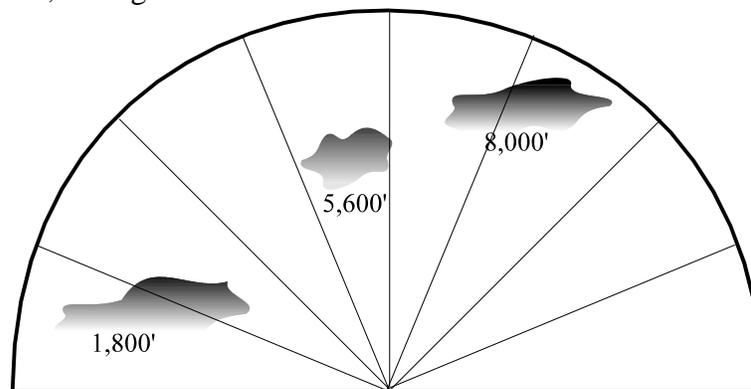


Fig. 23 Condición del cielo en términos de altitud.

Como quiera que sea, las unidades que se emplean para la medida y expresión de la estratificación son: el metro o el pie, en los informes meteorológicos utilizaremos el "PIE".

Dentro del concepto de estratificación, también se considera la medida de la visibilidad vertical que tiene un observador situado en tierra, en el lugar y en el momento en que hay un fenómeno de los que reducen la visibilidad horizontal y le impide ver la bóveda celeste.

Hay una altura en particular que es de gran significación aeronáutica: “EL TECHO”.

## **CODIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE LA BÓVEDA CELESTE**

Con relación a la codificación de la cobertura de la bóveda celeste la podemos dividir en dos tipos:

1. Fenómenos de obstrucción a la visión, entiéndase todos aquellos fenómenos que limitan la visibilidad horizontal y que tiene su base en la superficie.
2. Fenómenos de oscurecimiento y/o nubes, son fenómenos de oscurecimiento todos aquellos litometeoros que ocultan la bóveda celeste y que sus bases no están en contacto con la superficie.
3. Los fenómenos de oscurecimiento y las nubes se codifican de la siguiente manera:

<b>NOMBRE</b>	<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>COBERTURA</b>
Despejado	SKC	Cielo totalmente despejado
Algunos	FEW	1 a 2 octas.
Medio Nublado	SCT	Cielo cubierto de 3 a 4 octas.
Nublado	BKN	Cielo cubierto de 5 hasta 7 octas.
Cerrado	OVC	Cielo totalmente cubierto es decir las 8 octas

La codificación de la altura de la base de las nubes o de fenómenos de oscurecimiento se hará de acuerdo a las siguientes normas:

- a) Las alturas deberán codificarse en cientos de pies aproximando la cifra a la centena más próxima. Cuando esta altura se encuentra entre dos valores reportables, se usará el valor inferior.
- b) Cuando la altura sea de 5,000 pies o menos, se reportará en intervalos de 100 pies.
- c) Cuando la altura sea entre 5,000 y 10,000 pies, los intervalos serán cada 500 pies.
- d) Cuando las alturas estén arriba de 10,000 pies los intervalos serán de 1,000 pies.

## NUBES

La nube es un conjunto visible formado por minúsculas partículas de agua líquida o hielo, o ambas cosas a la vez, que se encuentra en suspensión en la atmósfera; dicha aglomeración puede incluir también partículas de agua o hielo de mayor tamaño, partículas no acuosas o sólidas procedentes, por ejemplo, de gases industriales, humo o polvo. El tamaño límite de las partículas líquidas que constituyen la nube viene a ser de 200  $\mu\text{m}$ , puesto que las mayores que pueda contener constituyen en realidad la llovizna o la lluvia. Si se exceptúan ciertos tipos de nubes (nacaradas y noctilucenantes) y la ocasional presencia de cirrus en la baja estratosfera, puede afirmarse que las nubes existen sólo en el seno de la troposfera. Se forman, principalmente, como resultado del movimiento vertical del aire, como ocurre en la convección, o en la ascensión forzada sobre un terreno elevado o en los movimientos verticales a gran escala asociados con depresiones y frentes.

Las nubes pueden surgir, siempre que existan las condiciones adecuadas en relación al gradiente térmico vertical y humedad, por efecto de la turbulencia a bajos niveles o como resultado de mezcla y otras circunstancias de poca importancia. A temperaturas por debajo de los  $0^{\circ}\text{C}$ , las partículas nubosas están constituidas enteramente por gotitas de agua en sub-fusión, hasta unos  $-10^{\circ}\text{C}$ , en el caso de nubes en forma de estratus, y hasta unos  $-25^{\circ}\text{C}$ , si se trata de nubes convectivas. A temperaturas por debajo de tales límites, que sólo son aproximados, y hasta unos  $-40^{\circ}\text{C}$  (temperatura de nucleación homogénea, en que toda el agua se convierte en hielo), muchas nubes son mezcla de gotitas y cristales de hielo, con predominio creciente de estos últimos al ir descendiendo la temperatura.

Las nubes se clasifican según diversos criterios: en primer lugar, por la altura a que se presentan (bajas, medias y altas), y luego, en géneros, dentro de éstos en especies y variedades con características suplementarias que se califican mediante las correspondientes palabras tomadas del latín.

### CLASIFICACIÓN DE LAS NUBES

La clasificación de las nubes es el sistema para distinguir y agrupar las nubes de acuerdo con uno o varios de los siguientes criterios:

- a) **Aspectos;**
- b) **proceso de formación;**
- c) **altura a que normalmente se encuentra, y**
- d) **partículas de que están compuestas.**

Existen tres típicas formas de nubes claramente diferenciables:

- a) **cirrus (Ci);**
- b) **Cumulus (Cu) y**
- c) **Stratus (St);**

Todas las nubes son estas formas puras o modificaciones y combinaciones de ellas a distintos niveles, donde las diversas condiciones del aire y la humedad son causa de sus formas variables.

Por su altura se clasifican en **bajas, medias y altas**. Aunque las cotas correspondientes vayan aumentando desde el Polo al Ecuador; en promedio, puede decirse que las alturas correspondientes a cada tipo son: hasta unos 1.500 m.; 2 a 4 km. y por encima de los 3,5 km. Como existe mayor cantidad de vapor de agua en las capas bajas que a niveles superiores, es evidente que cuanto más alta se encuentre una nube, tanto menos densa y más fina o tenue tendrá que ser por lo general; las nubes bajas, por el contrario, son las que resultan ser más densas y oscuras.

**Los cirrus (Ci)** son las nubes más altas; están constituidas por filamentos blancos y delicados, bandas estrechas y están formadas por cristales de hielo, por lo que tienen un aspecto fino, fibroso, o en forma de cabellera y siempre de color blanco.

**Los Cumulus (Cu)** se presentan siempre en forma de masas nubosas individuales, con bases planas y generalmente densas y de contornos bien delimitados, que se desarrollan verticalmente en forma de exuberancias, cúpulas o torres; con frecuencia tienen aspecto de coliflor, y sus dimensiones verticales predominan siempre sobre su extensión horizontal. Las partes de estas nubes iluminadas por el sol son generalmente de un blanco brillante; su base, relativamente sombría, se encuentra sensiblemente horizontal.

**Los stratus (St)**, como su nombre indica, se extienden en forma de capa o manto, cubriendo grandes porciones de cielo; sus dimensiones horizontales superan en gran manera a su desarrollo vertical; a menudo forman un manto de nubes, en el que si bien cabe apreciar alguna irregularidad, no resulta posible distinguir nubes individuales.

La estructura de los distintos tipos de nubes viene en general descrita por su propia denominación (p. ej., stratocumulus = cumulus que se han extendido hasta formar un estrato) o por ciertos prefijos agregados a un tipo clásico; así, por ejemplo, si una nube se forma por encima de su cota normal, el prefijo alto precederá a su nombre, como es el caso de los altostratus o altocumulus; si va asociada a precipitación, se utiliza la palabra latina nimbus (nimbostratos), etc.

Para fines sinópticos se estableció una clasificación a base de nueve tipos de nubes, para cada uno de los tres niveles, bajas, medias y altas, las correspondientes letras clave Son **C<sub>L</sub> C<sub>M</sub> Y C<sub>H</sub>**, el propósito es poder describir el aspecto global del cielo, en lugar de nubes individuales.

Por acuerdo internacional, las diversas nubes se agrupan en 10 géneros: cirrus, cirrocumulus, cirrostratus, altocumulus, altostratus, nimbostratus, stratocumulus, stratus, cumulus y cumulonimbus; estos géneros se subdividen en 14 tipos y nueve variedades.

## PRÁCTICAS PARA LA CODIFICACIÓN DEL CIELO Y TECHO

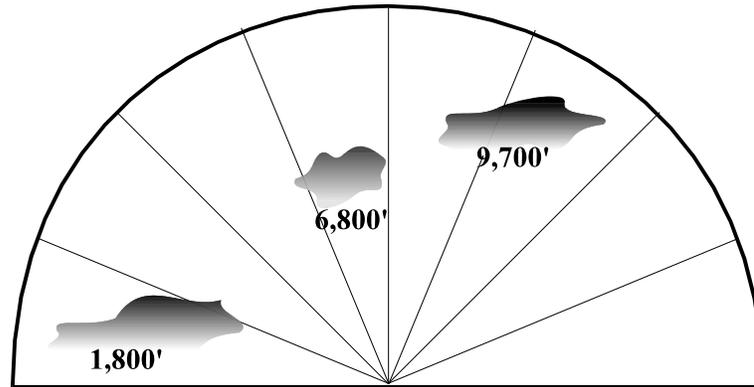


Fig. 24. En este caso la codificación sería la siguiente:  
FEW018 SCT065 SCT095

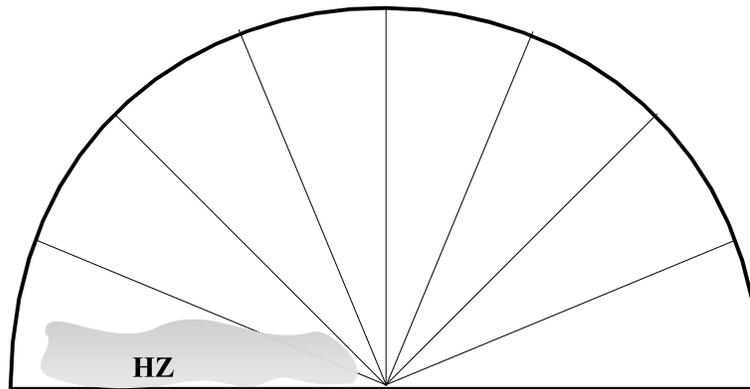


Fig. 25. La codificación sería:  
SKC (RMK HZY)

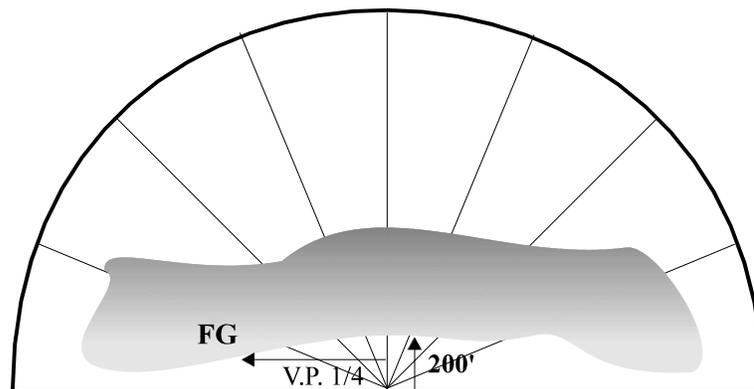


Fig. 26. La codificación sería:  
1/4FG VV002

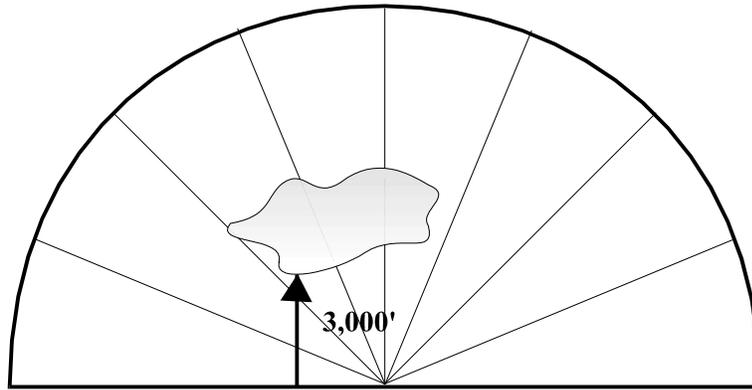


Fig. 27. La codificación sería:  
SCT030

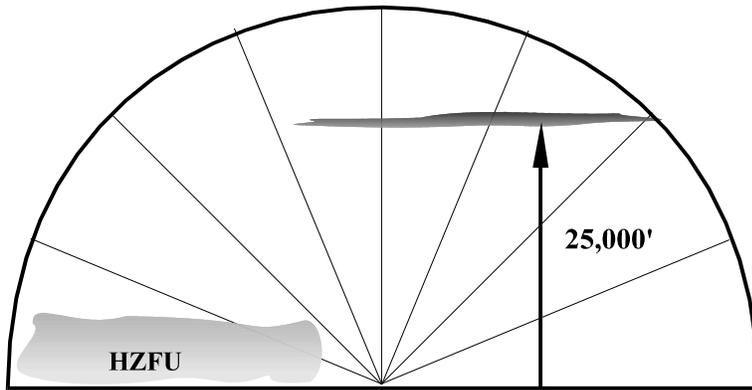


Fig. 28. La codificación sería:  
SCT250 (RMK HZFU)

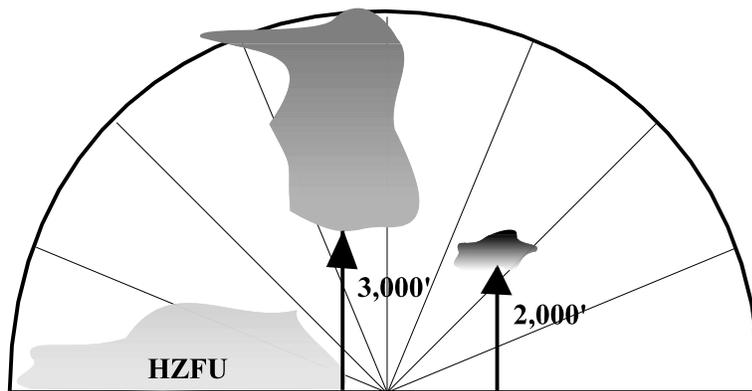


Fig. 29 la codificación sería  
FEW020 SCT030 (RMK HZFU)

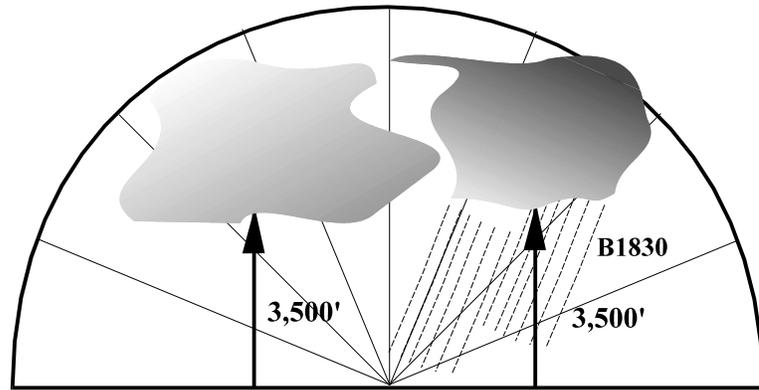


Fig. 30. La codificación sería:  
BKN035 (RMK RA B30)

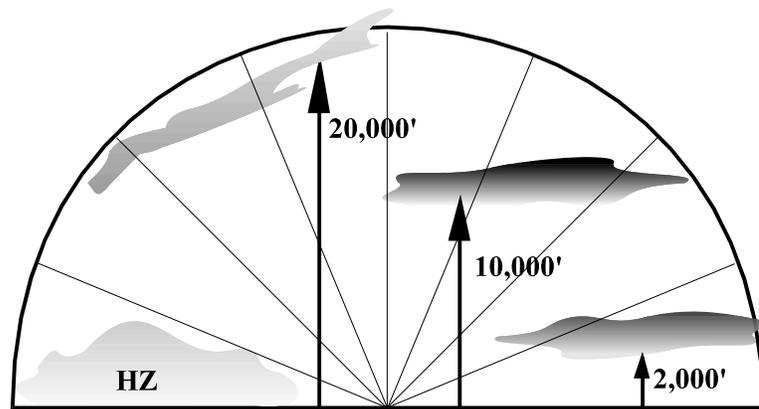


Fig. 31. La codificación sería:  
FEW020 SCT100 BKN200 (RMK HZY)

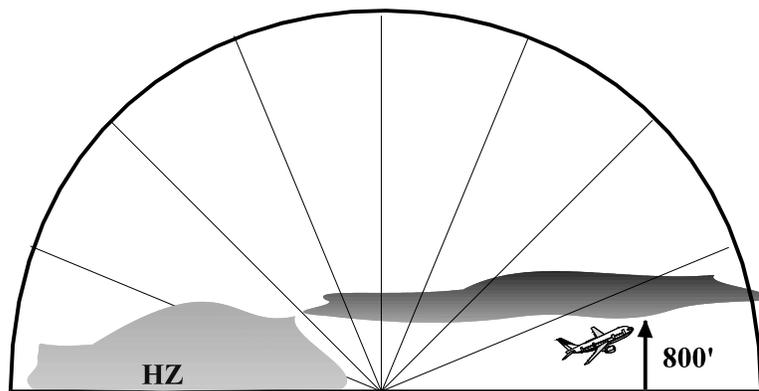


Fig. 32. La codificación sería:  
BKN008 (RMK HZY)

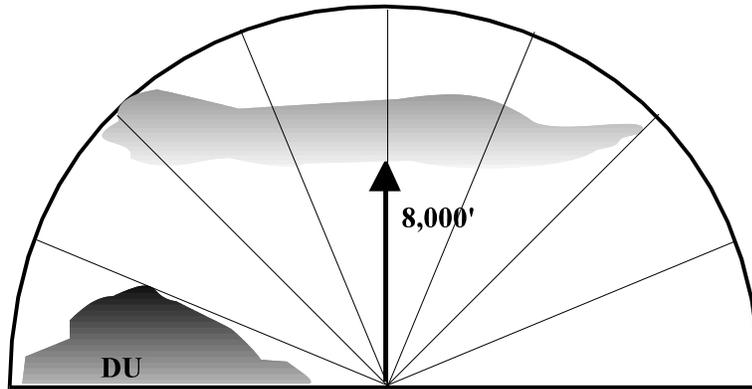


Fig. 33. La codificación sería:  
BKN080 (RMK DU)

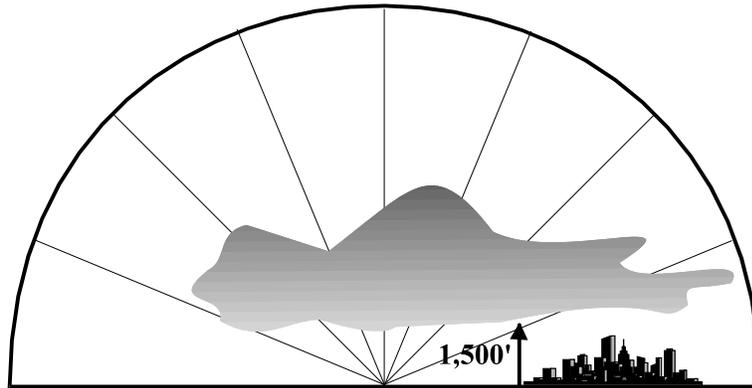


Fig. 34. La codificación sería:  
BKN015

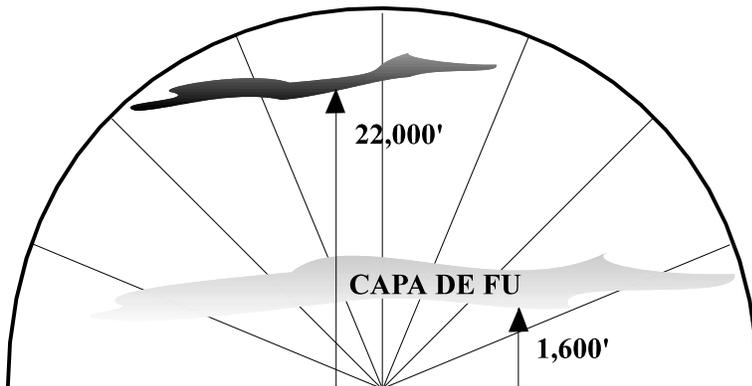


Fig. 35. La codificación sería:  
SCT220 (RMK FU LYR (dirección))

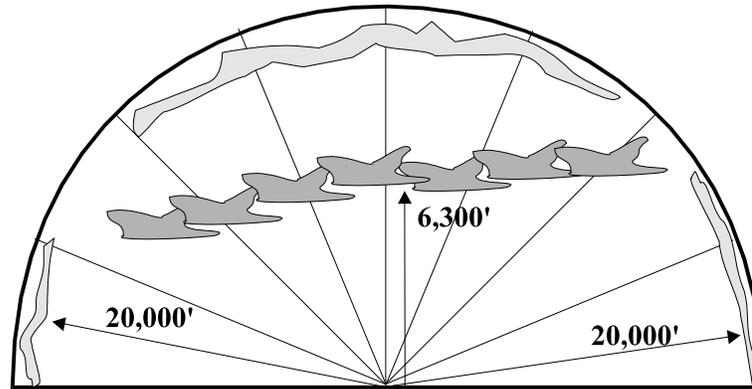


Fig. 36. La codificación sería:  
BKN060 OVC200 (RMK BINOVC)

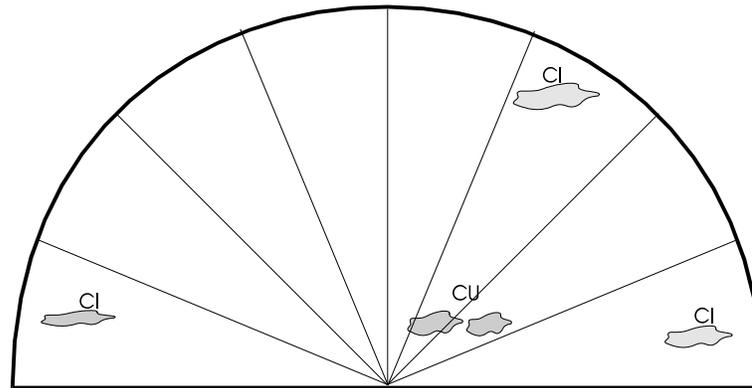


Fig. 37. La codificación sería:  
SKC (RMK ISOL CU-AC)

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE NUBES

### NUBES BAJAS $C_L$

#### NUBES: STRATOCUMULUS, STRATUS, CUMULUS Y CUMULONIMBUS

1. Cumulus de poco desarrollo vertical o aplanados (cumulus humilis) o cumulus desgarrados que no son de mal tiempo (cumulus fractus) o ambos.
2. Cumulus de desarrollo vertical moderado (cumulus mediocris) o notables (cumulus congestus) generalmente con protuberancias en forma de domos o almenas; solos o acompañados de cumulus o stratocumulus, todos con sus bases a un mismo nivel.
3. Cumulonimbus cuyas cúspides carecen parcialmente de contornos definidos (cumulonimbus calvus) que no son claramente fibrosos, “cirriformis”), ni tienen forma de yunque.

4. Stratocumulus formados por la extensión horizontal de cumulus (stratocumulus comulogenitus), en ocasiones acompañadas de cumulus pero no de cumulonimbus.
5. Stratocumulus predominantes que no han sido formados por la extensión horizontal de cumulus.
6. Stratus predominantes formando un manto o una capa más o menos continua (stratus nebulosus) o en mechones desgarrados (stratus fractus o ambos).
7. Stratus fractus o cumulus fractus, o ambos de mal tiempo (pannus) generalmente debajo de nimbostratus.
8. Cumulus y stratocumulus que no son cumulogenitus con bases a diferentes niveles.
9. Cumulonimbus con cúspides claramente fibrosas (cumulonimbus capillatus), con frecuencia en forma de yunque (cumulonimbus incus).

### **NUBES MEDIAS C<sub>M</sub>**

#### **NUBES: ALTOCUMULUS, ALTOSTRATUS, NIMBOSTRATUS**

1. Altostratus en su mayor parte semitransparentes (altostratus translucidus); permitiendo ver difusamente el disco solar o lunar; No hay AC.
2. Nimbostratus o altostratus que en su mayor parte son suficientemente opacos como para ocultar el sol o la luna (altostratus opacus). No hay AC.
3. Altocumulus translucidus a un solo nivel que no invaden el cielo (altocumulus translucidus). No hay NS o AS.
4. Altocumulus cambiando continuamente de apariencia. No hay NS o AS.
5. Altocumulus translucidus en bandas o altocumulus en una o más capas continuas (semitransparentes u opacas), invadiendo progresivamente el cielo, no hay NS o AS.
6. Altocumulus formados por la extensión horizontal de cumulus o cumulonimbus.

### **NUBES ALTAS C<sub>H</sub>**

#### **NUBES: CIRRUS, CIRROSTRATUS Y CIRROCUMULUS**

1. Cirrus en forma de filamentos o hebras (cirrus fibratus), o en forma de pequeños ganchos o anzuelos (cirrus uncinus)
2. Cirrus espesos en bancos o manojos (cirrus spissatus), o cirrus con protuberancias en forma de almenas o terrones (cirrus castellanus), o con aspecto cumuliformis (cirrus fioccus)
3. Cirrus densos (cirrus spissatus), con frecuencia en forma de yunque, ya sean los restos de la cúspide de un cumulonimbus o la porción superior de un cumulonimbus.
4. Cirrus en forma de gancho (cirrus uncinus) o de filamento de hebras (cirrus fibratus), o ambos invadiendo progresivamente el cielo y espesándose en su totalidad.

5. Cirrus o cirrostratus en bandas convergiendo en un punto en el horizonte o cirrostratus solos, en ambos casos invadiendo progresivamente el cielo y tendiendo a espesarse; el velo continuo no alcanza más de  $45^\circ$  sobre el horizonte.
6. La misma característica que para la clave 5 excepto que las nubes cubren más de  $45^\circ$  sobre el horizonte.
7. Velo de cirrostratus que cubre totalmente el cielo.
8. Cirrostratus que no invaden progresivamente el cielo y que no cubren en su totalidad la bóveda celeste.
9. Cirrostratus solos o acompañados de cirrus o cirrostratus, siendo los cirrocumulus la nube predominante.

# ETAPAS DE FORMACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS TORMENTAS

## DESCRIPCIÓN GENERAL

Cuando la atmósfera es térmicamente inestable o pseudo-inestable (inestabilidad húmeda) se pueden formar las nubes del tipo cumulonimbus. Tales nubes suelen dar lugar a precipitaciones en forma de chubascos. Si estos fenómenos son acompañados por descargas eléctricas o relámpagos, se dice que hay tormenta. Los relámpagos provocan un fenómeno acústico, generalmente muy intenso, el trueno.

Los chubascos tormentosos pueden ser extremadamente fuertes, las más intensas de todas las precipitaciones conocidas. En la mayor parte de los casos, los chubascos son de lluvia; pero ésta puede ir acompañada por granizo, de efectos desastrosos.

## DIVERSOS TIPOS DE TORMENTAS

Todas las causas que pueden conducir a la formación de cumulonimbus pueden provocar tormentas.

Estas son, por otra parte, más violentas cuando mayor sea la inestabilidad; o dicho de otra manera, cuanto mayor sean las corrientes ascendentes que engendran los cumulonimbus. Podemos tener las dos siguientes grandes categorías de tormentas:

a) **TORMENTAS LOCALES.**- Son las que se producen sobre una porción restringida, de algunas decenas de KM<sup>2</sup> y que pueden ser:

- De origen térmico, cuando la formación de los cumulonimbus es debida a corrientes de convección elevándose desde el suelo. Sobre el océano, las tormentas térmicas pueden producirse en invierno, cuando el aire polar se desliza sobre corrientes marinas cálidas.
- De origen orográfico, cuando el aire es conducido hasta la zona de pseudo inestabilidad por causa de corrientes ascendentes provocadas por el relieve.

b) **TORMENTAS FRONTALES.**- Son las que se producen cuando la masa de aire cálido, que se ve obligada a subir por la superficie frontal, es pseudo inestable. Las tormentas frontales viajan con los frentes; su extensión es mucho más considerable que la de las tormentas locales, pueden cubrir, en profundidad, algunas decenas de kilómetros, mientras que en longitud pueden, según los casos, extenderse hasta algunos centenares de kilómetros. Puede haber:

- Tormentas de frente caliente,
- Tormentas de frente frío,
- Tormentas de frente ocluido,

- Tormentas de frente frío en la altura.

En las tormentas de frente caliente, los cumulonimbus son dispersos y las corrientes ascendentes no son muy intensas, las tormentas son menos intensas que en los frentes fríos. En efecto, estos últimos, gracias a su fuerte pendiente, dan lugar a corrientes ascendentes mucho más violentas y concentradas en una zona mucho más estrecha.

En las oclusiones y en los frentes fríos en la altura, la base de los cumulonimbus está más alta que en los frentes calientes o fríos.

Las tormentas de origen térmico, se producen poco después del mediodía o por la tarde, salvo sobre el mar donde se producen generalmente de noche. Por el contrario, las tormentas de otros tipos pueden producirse a cualquier hora, puesto que las ascenciones que las desencadenan dependen mucho menos de la variación diurna de la temperatura.

## **FENÓMENOS IMPORTANTES CARACTERÍSTICOS DE LAS TORMENTAS**

### **TURBULENCIA**

Las ascenciones en nubes de tormenta pueden alcanzar, sobre todo las tormentas de frente frío, una velocidad extremadamente grande, que puede sobrepasar los 30m/seg. (6,000 pies/min). Por supuesto, estas ascenciones van acompañadas de remolinos y son compensadas por descendencias, igualmente muy intensas.

Un avión volando en una nube de tormenta está sometido a aceleraciones verticales extremadamente fuertes que pueden someterle a fuerzas o tensiones muy peligrosas. La entrada de un avión en una ascension fuerte, produce el mismo efecto que una brusca y violenta maniobra.

Este efecto es aun peor cuando el avión pasa de una descendencia a una ascension, o viceversa. En realidad, entre las zonas de descendencia y de ascension existen siempre zonas de transición. Por ejemplo: Una zona de ascension tiene sus bordes a una velocidad ascensional muy inferior a la que reina en su centro. Resulta pues, que un avión lento será acelerado hacia arriba progresivamente, mientras que un avión rápido recibirá un verdadero golpe, puesto que atraviesa las de transición en un tiempo mucho más corto.

Los aviones rápidos deben, por razones de seguridad, reducir su velocidad de crucero en regiones muy turbulentas.

La turbulencia hace extremadamente difícil, o incluso imposible, el vuelo con piloto automático dentro de las tormentas.

Trabajos recientes sobre este tema, demuestran que es erróneo presentar la ascension en los cumulonimbus como una columna de aire muy regular. Se trata, más bien, de una serie de grandes pompas de aires cálidos ascendentes, entre las cuales la atmósfera es agitada por

movimientos en forma de torbellino y zonas de descendencia. Estos movimientos se hacen visibles por una especie de “ebullición a borbotones” que caracteriza los contornos de la nube. En latitudes medias, el peligro de turbulencias es mayor entre 12,000 y 18,000 pies. Por debajo de los 6,000 pies y por encima de los 24,000 la intensidad de la turbulencia se reduce a poco más de la mitad. La turbulencia puede ser también fuerte en el exterior de las nubes de tormenta. Es pues, recomendable no aproximarse demasiado.

Bajo la nube es también muy fuerte, por causa de la alternancia de corrientes ascendentes y descendentes, la figura 39 nos da un esquema clásico de un cumulonimbus tormentoso. Existe a menudo un torbellino horizontal (nube “en rollo”) turbulento en la parte delantera de la nube.

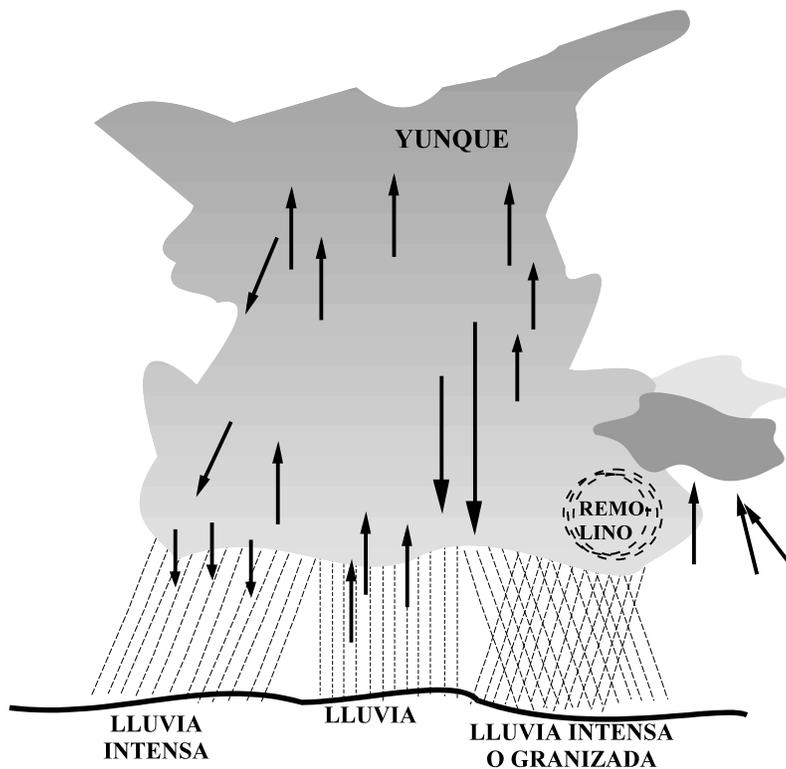


Figura 39. Esquema de una nube tormentosa.

## PRECIPITACIONES

Los cumulonimbus rebasan hacia arriba la superficie isoterma de 0 grados; así pues contiene gotas de agua en sub-fusión. El agua está cristalizada en su parte superior (yunque). Los cristales de hielo que aún se encuentran en presencia de pequeñas gotas de agua, no tardan en crecer rápidamente a expensas de estas gotas. Se hacen así más pesados y tienden a caer a un nivel inferior; pero si se encuentran en una corriente ascendente muy fuerte, permanecen mucho tiempo suspendidos en el interior de la nube y pueden llegar a aumentar de volumen considerablemente, convirtiéndose en grandes pedriscos.

Los pedriscos que caen antes de haber alcanzado un gran tamaño pueden muy bien fundirse después de haber atravesado la isoterma cero, llegando al suelo en forma líquida (lluvia). Los que por el contrario, han podido permanecer mucho tiempo en suspensión dentro de la nube, pueden caer en forma de granizo. La probabilidad de formación de granizo es, por lo tanto, más elevada cuanto más fuertes sean las corrientes ascendentes (es decir, la inestabilidad de la atmósfera).

Las dimensiones del pedrisco pueden ser enormes, hasta del tamaño de un puño humano, cuando el avión, volando a gran velocidad, atraviesa una zona de granizo, puede sufrir daños muy importantes. Grandes aviones han sufrido rotura de los cristales de la cabina y abollamiento de los bordes de ataque de las alas, del morro, del fuselaje y del carenado de los motores.

De entre 272 casos de daños producidos por el granizo en aviones recopilados por la Fuerza Aérea de los EUA, entre 1951 y 1959, el 46% de ellos ocurrieron en altitudes superiores a 18,000 pies, sin rebasar los 40,000 pies. Por otro lado se comprobó que los daños fueron particularmente frecuentes en las capas comprendidas entre 3,600 y 11,000 pies, y entre 18,000 y 30,000 pies. El pedrisco o granizo grande, se ha observado, a veces, incluso por encima de 18,000 pies, por ejemplo, de un diámetro de 12 cm. a 27,000 pies, 10 centímetros a 30,000 pies, y 7.5 centímetros a 34,000 pies.

Las precipitaciones se encuentran, sobre todo, en las zonas de corrientes descendentes. Cuando se vuela por debajo de las nubes es necesario, por esta razón, evitar atravesar las zonas de precipitación. Por otra parte, cuando se trata de chubascos fuertes, la visibilidad es muy reducida.

## FENÓMENOS ELÉCTRICOS

La tierra se comporta como un cuerpo cargado negativamente, el campo eléctrico terrestre es del orden de la magnitud de un voltio por centímetro en las proximidades del suelo, y disminuye con la altitud en la troposfera. Está sometido a numerosas fluctuaciones, debido a los fenómenos eléctricos atmosféricos.

Los cumulonimbus se cargan de electricidad mediante un proceso que se ha intentado explicar con ayuda de diversas teorías. Una de ellas (Simpson), se basa en el hecho de que las gotas grandes de agua, suspendidas en el interior de las corrientes ascendentes, pueden romperse; bien sea porque se hacen demasiado gruesas y estallan, o bien debido a choques con otras gotas. Este fenómeno da lugar (y ello está demostrado por experiencias en laboratorio), a la aparición de finas gotitas cargadas de electricidad positiva. Estas, arrastradas por el ascenso hacia la cúspide de la nube, la cargan allí positivamente, mientras que la base de la nube queda cargada negativamente. El suelo debajo de la nube, se carga entonces positivamente, por un efecto de influencia. Las precipitaciones que provienen de la cúspide de la nube, están cargadas positivamente. En realidad, estos fenómenos son más complejos y el reparto de las cargas no es tan esquemático. Como quiera que sea, se producen en el interior de la nube campos eléctricos de varios millares de voltios por centímetro. En cambio, el campo eléctrico entre el suelo y la base de la nube no alcanza valores tan elevados.

Entre los puntos separados por un campo eléctrico de valor suficiente, se producen descargas disruptivas, que son los relámpagos.

Estos pueden producirse entre dos partes distintas de una misma nube, entre dos nubes próximas, entre la base de la nube y el suelo o, a veces, entre la nube y el cielo despejado de alrededor. No duran más que una pequeña fracción de segundo. La descarga sigue un curso sinuoso y caprichoso con ramificaciones. En realidad, un solo relámpago puede consistir en numerosas descargas sucesivas, durando cada una de ellas algunos microsegundos. La luminosidad de los relámpagos es muy intensa; si el piloto se ve obligado a atravesar una tormenta, hará bien en llevar lentes oscuros para evitar el deslumbramiento.

El calentamiento casi explosivo del aire, al paso de la descarga, produce ondas de choque que se extienden a distancias de 10 a 15 kilómetros e incluso, excepcionalmente, de 30 a 50 kilómetros. Los ecos les dan el carácter de un sordo retumbar, que es lo que se llama trueno o tronada.

La distancia aproximada de una tormenta, puede obtenerse contando el número de segundos que separa el momento de observación de un relámpago del trueno. Multiplicando este número por 330m (distancia recorrida en un segundo por el sonido), se obtiene la distancia a la que se ha producido el relámpago observado (también puede dividirse entre tres, el número de segundos obtenido, resultando así la distancia en kilómetros).

Las descargas producidas entre las nubes y el suelo son favorecidas por el llamado “poder de puntas”. Las extremidades de los árboles, mástiles, torres, aristas de los tejados, dejan escapar un flujo de iones positivos (partícula cargada positivamente) que se manifiesta a menudo, en forma de penachos luminosos azulados, fenómeno conocido como fuego de san Telmo; que va acompañado por un zumbido, o silbido característico. Hacia esos puntos se dirigen especialmente las descargas que van de las nubes hacia el suelo, pues los iones emitidos hacen al aire conductor. En esta propiedad se basa la construcción de pararrayos.

La cantidad de electricidad transportada por un relámpago es siempre débil (orden de magnitud de dos culombios, es decir, la misma cantidad que transporta, durante un segundo, una corriente de dos amperios). Sin embargo al ser transportada en una pequeña fracción de segundo, corresponde a una corriente intensa durante un corto tiempo.

Si los aviones metálicos son tocados por estas descargas, raramente pueden sufrir daños, ya que se trata de un cuerpo conductor de dimensiones suficientemente grandes. Por el contrario, las antenas de los aparatos de radio, pueden ser fundidas en el caso de que no puedan recogerse. En caso de tormenta, la antena debe ser desconectada de los aparatos de radio y conectada a la masa del avión.

Asimismo, todos los elementos de la estructura del avión deben ser conectados a la masa con el fin de evitar que salten chispas, ya que podrían causar una explosión o incendio.

En cuanto a los ocupantes del avión, están protegidos contra toda descarga, puesto que están en el interior de una envoltura metálica, que hace el papel protector de lo que en física se llama una caja de Faraday.

Las descargas eléctricas pasan sobre la superficie del avión sin que haya cambios del potencial eléctrico en el interior. Las tres cuartas partes de los casos en el que un avión ha sido alcanzado por un rayo, han ocurrido a temperaturas entre  $+3^{\circ}$  y  $-5^{\circ}\text{C}$ , que suelen corresponder a zonas de turbulencia y de precipitaciones, las cuales deben ser evitadas siempre que sea posible.

Con el fin de que no se acumulen las cargas eléctricas, que pueda captar un avión en las tormentas o fuera de ellas (por ejemplo, por causa del frotamiento con el aire), los extremos de las alas y del timón van provistos de pequeños penachos, que manteniéndose estirados en la corriente de aire, hacen el papel de puntas por las que se escapan las cargas estáticas, viéndose a veces salir el efluvio eléctrico (fuego de san Telmo).

Puede ocurrir, también, que dichos efluvios salgan de los extremos de las hélices, que entonces aparecen rodeadas de un destello azul violeta. Las descargas estáticas pueden aparecer también en los parabrisas.

Las descargas producen parásitos atmosféricos que dificultan el uso de las radio-comunicaciones, imposibilitándolas incluso, para los aviones que vuelan cerca de una zona tormentosa.

## VARIACIONES DEL VIENTO

Cuando se trata de tormentas de tipo térmico, se observa primero un ligero viento, de dirección variable, mientras se están formando los cumulonimbus. A continuación hay un período de calma, a menudo opresivo o agobiante. En el momento en que caen las primeras gotas grandes de lluvia, el viento empieza a fluir a ráfagas, durando lo que la tormenta propiamente dicha esté en plena actividad. Luego, hacia la fase final, cuando sólo quedan relámpagos, sobreviene una calma progresiva.

Durante la tormenta, las ráfagas pueden alcanzar de 40 a 60 nudos, originándose con frecuencia bruscos cambios en la dirección del viento. El piloto de un avión que está a punto de aterrizar, puede ser peligrosamente sorprendido por estos cambios y entrar en pérdida de velocidad repentinamente, por causa de una ráfaga inesperada de viento de cola. Aunque la aproximación la hace con viento de frente, puede encontrar, en un momento en que aterriza, viento de cola o cruzado, que puede ser causa de un aterrizaje demasiado largo.

Los cambios de dirección del viento, en el curso de una tormenta térmica, son difíciles de prever, pues el viento en tierra fluye de modo que cierra el ciclo de la circulación convectiva del aire entre las zonas de descendencia y ascendencia.

En las tormentas de tipo frontal, los fenómenos son más simples. Sobre la línea frontal se produce un brusco cambio de dirección del viento, el cual gira siempre hacia la derecha en el hemisferio norte. Un estudio sobre sucesivas observaciones meteorológicas (sobre todo las de radar), permite dibujar sobre un mapa las posiciones sucesivamente ocupadas por la línea frontal y prever la hora para la que existe el riesgo de un cambio brusco en la dirección del viento, sobre

un aeropuerto determinado. En las tormentas de frentes fríos, es donde se producen las ráfagas de viento más violentas.

### LOS TRES ESTADOS DE VIDA DE UNA CÉLULA TORMENTOSA

La convección se organiza en diversas células, de las que algunas pueden proseguir su desarrollo hasta originar nubes de tormenta, es decir cumulonimbus. Las investigaciones sistemáticas llevadas a cabo en los EUA sobre la naturaleza y la estructura de las tormentas, ha puesto en evidencia que una célula pasa por tres estados de desarrollo característicos. Ver figura 40.

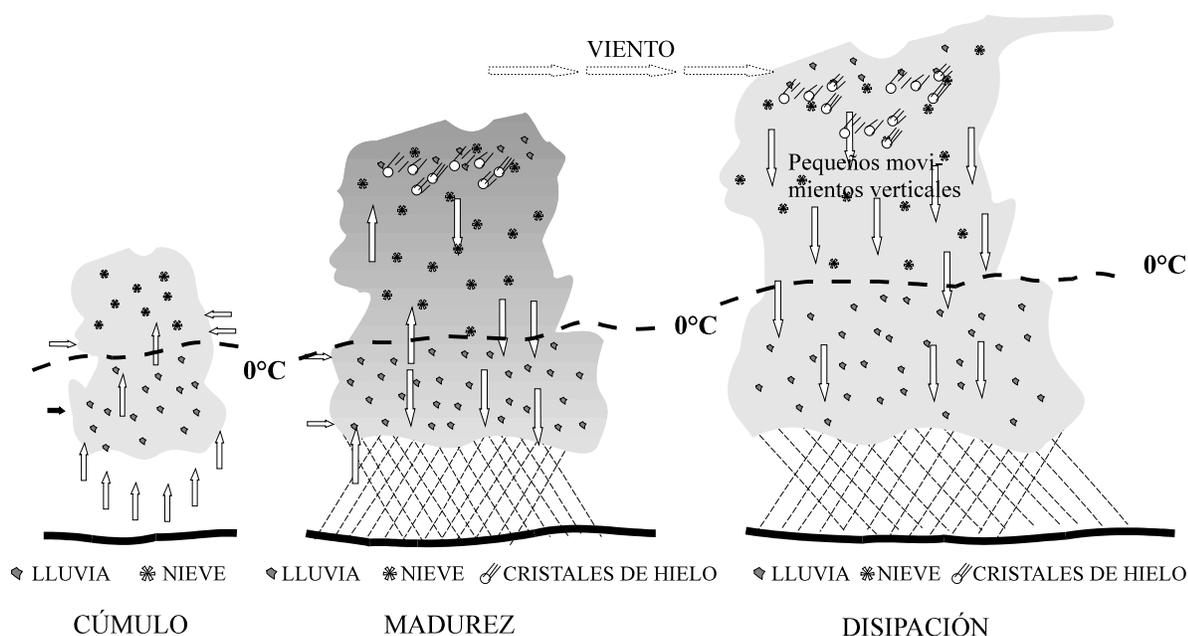


Fig. 40. Esquema de los estados de desarrollo de una nube tormentosa.

**El estado cúmulo** es la fase inicial, que se caracteriza de ascenciones generalizadas en toda la célula tormentosa. La ascensión no es uniforme, sino que generalmente está formada por un cierto número de burbujas de aire cálido distintas. El aire en el interior de la nube es, naturalmente, más cálido que el aire de los alrededores. La nube está formada por gotitas de agua cuyo número y dimensiones crece a medida que la nube se desarrolla. Se encuentra agua muy por encima de la isoterma de 0° C, a menudo en forma de gotas de lluvia mezcladas con cristales de nieve; cuanto más se asciende en la nube, más aumenta la proporción de nieve.

**El estado de madurez** suele aparecer de 10 a 15 minutos después de que el cúmulo haya atravesado, en su crecimiento, la isoterma 0° C. En ese momento, las gotas de agua o las partículas de hielo se han hecho demasiado pesadas para poder mantenerse en suspensión dentro de la corriente ascendente, y comienzan a caer en una parte de la nube. Es el comienzo de las precipitaciones, que indica que la nube ha pasado al estado de madurez. Se establece entonces un

cambio de circulación, formándose una corriente descendente en la zona de precipitación, mientras que la ascendencia continúa en el resto de la nube. Las ascencias más fuertes existen al principio del estado de madurez; aumentan de intensidad con la altitud y sobrepasan a menudo los 30m/seg en algunos lugares.

Las corrientes descendentes, al encontrarse con el suelo, provocan ráfagas que son características de la zona de precipitación y sus inmediatas proximidades. La yuxtaposición de zonas de ascendencia y zonas de descendencia intensas provocan una **turbulencia muy fuerte**. Es durante el estado de madurez cuándo se forma el granizo.

**El estado de disipación** se alcanza cuando las descendencias se generalizan a toda la nube; las gotas de lluvia cesan de formarse, y las precipitaciones y la actividad tormentosa disminuyen rápidamente. El viento en tierra cesa, igualmente, la nube termina por desaparecer.

## ACONTECIMIENTOS IMPORTANTES EN METEOROLOGÍA

- 400 A.C. Hipócrates escribe acerca de la influencia del clima sobre la salud
- 350 A.C. Aristóteles escribe sobre la ciencia del tiempo.
- 300 A.C. Teofrasto escribe sobre los vientos.
- 1593 Galileo inventa el termómetro.
- 1643 Torricelli inventa el Barómetro.
- 1661 Boyle enuncia su ley sobre los gases.
- 1664 Empiezan las observaciones formales del tiempo en París, Francia.
- 1668 Edmund Halley traza el primer mapa de los alisios.
- 1714 Se introduce la escala Fahrenheit.
- 1735 Tratado de George Halley acerca del efecto de la rotación de la Tierra sobre los vientos
- 1736 Se introduce la escala Centígrada.
- 1779 Empiezan las observaciones formales sobre el tiempo en New Haven, Connecticut.
- 1783 Se inventa el higrómetro de pelo.
- 1802 Lamark y Howard proponen el esquema de clasificación de nubes.
- 1817 Humbolt traza el primer mapa de temperaturas medias anuales del mundo.
- 1825 August inventa el psicrómetro.
- 1827 Dove desarrolla las leyes de las tormentas.
- 1831 Redfield realiza el primer mapa meteorológico de Estados Unidos.
- 1837 Se inventa el pirheliómetro.
- 1841 Espy desarrolla la teoría sobre el movimiento de las tormentas.
- 1844 Coriolis describe el “Efecto Coriolis”.
- 1845 Berghaus traza el primer mapa del mundo sobre precipitaciones.
- 1848 Dove publica los primeros mapas de temperaturas medias mensuales.
- 1862 Renou traza el primer mapa mostrando la presión media de Europa.
- 1879 Supan publica mapas de la distribución de temperaturas en el mundo.
- 1892 Comienza el uso sistemático de globos meteorológicos.
- 1902 Se descubre la estratósfera.
- 1913 Se descubre la capa de Ozono.
- 1918 Bjerknes desarrolla su teoría del frente polar.
- 1925 Empieza la recopilación sistemática de datos por aviones.
- 1928 Se utilizan por primera vez radiosondas con globos meteorológicos.
- 1940 Investigación sobre la naturaleza de las corrientes de chorro.
- 1960 Los Estados Unidos lanzan Tiros 1, el primer satélite meteorológico.