



Altimetría

1.- Introducción:

Hay en aviación una noción básica: conocer la distancia vertical que nos separa de otras aeronaves, obstáculos y de la superficie de la tierra. Pero ¿Cómo obtenemos este valor, esta distancia... con la tecnología disponible a principios del siglo XX?

La solución está en la atmósfera y lo que sabemos de ella.

La atmósfera

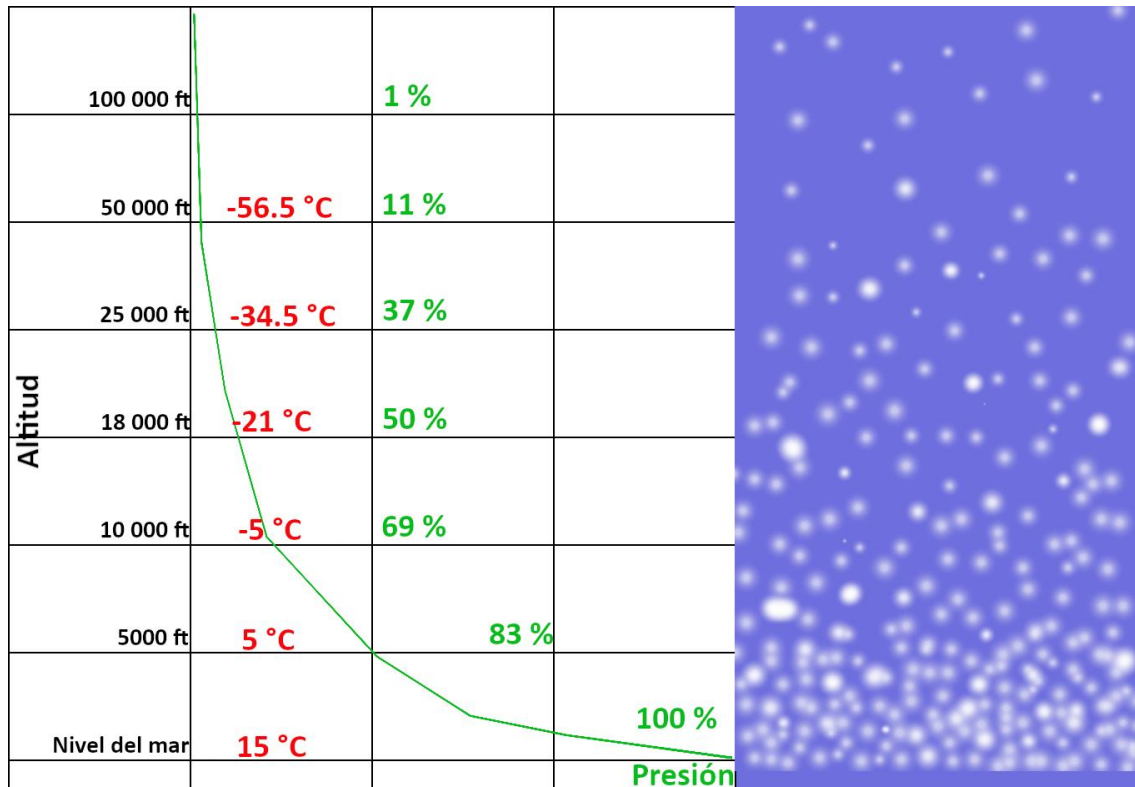
Como sabemos, la atmósfera es la capa de gas que recubre nuestro planeta. Los gases (Principalmente nitrógeno y oxígeno) son atraídos y se mantienen pegados a la tierra debido a la gravedad. Esta ejerce una fuerza que atrae cada pequeña partícula de gas hacia la superficie. Como dos moléculas no pueden ocupar un mismo lugar, y todas se ven empujadas hacia la superficie, se produce un amontonamiento de partículas por el que aquellas partículas que están pegadas a la superficie, no solo experimentan la fuerza con la que la gravedad las atrae, sino que también son empujadas por la fuerza con que la gravedad estira de todas esas otras partículas que están por encima de ella e intentando ocupar su lugar.

Aunque la fuerza de la gravedad atraiga a cada partícula por igual, la fuerza total de ese amontonamiento dependerá de cuántas partículas haya. Y cuántas partículas hay por cada unidad de volumen es lo que se conoce como densidad, que es una propiedad de cada sustancia química pero depende de la temperatura (hace que las partículas estén más o menos agitadas y por tanto un mismo número de partículas ocupen un volumen mayor o menor respectivamente).

En términos prácticos, sobre la superficie de la tierra experimentamos sobre nuestras cabezas una fuerza igual a la suma de fuerzas con la que la gravedad atrae a todas las partículas que tenemos encima. Como no resulta práctico medir esa fuerza tan concreta, se utiliza el concepto de presión: fuerza total medida sobre una unidad de área. Por ejemplo, fuerza que ejercen todas las partículas que hay sobre una baldosa dividida entre la superficie de esa baldosa. Las unidades de medida más comunes son el Hectopascal (hPa), Milibar (mb) [1hPa = 1 mb]; la pulgada de mercurio (inHg) y el milímetro de Mercurio (mmHg).



Como podemos ver en el siguiente gráfico, y hablando de la parte de la atmósfera que nos ocupa (Hasta unos 50.000 pies) la temperatura desciende a razón de 1.98 °C por cada 1000 ft de ascenso. La presión no obstante, no cambia de forma lineal:



Algunos ejemplos del ritmo al que cambia la presión en función de la altura a la que la midamos:

- La presión baja en 1hPa cada 27ft que ascendemos al nivel del mar...
- 1hPa cada 36ft a 10000 ft
- 1hPa cada 50ft a 18000 ft
- 1hPa cada 73ft a 30000 ft
- 1hPa cada 216ft a 49000 ft

La distribución de la densidad es similar a la de la presión.

El Altímetro:

Aprovechando el conocimiento sobre la atmósfera, se crea un instrumento que teniendo en cuenta este gradiente de presión, nos permite orientarnos en lo vertical.



Un altímetro no es un instrumento que mágicamente sepa a qué altitud se encuentra. Un altímetro es simplemente un comparador. Compara de forma mecánica la presión que “siente” a su alrededor contra una cámara estanca (imaginemos un globo) que contiene la presión que encontraríamos a nivel del mar. Al igual que para medir a una persona lo comparamos con una cinta métrica. Esta resta de presiones se transmite a una aguja a través de elementos elásticos, que tienen en cuenta que el ritmo al que baja la presión varía según nos alejemos de la superficie de la tierra. El movimiento de esa aguja, proyectado sobre un dial con números, nos indica nuestra altitud. Además el altímetro cuenta con una *Ventana de Kollsman* que se puede y debe ajustar o “calar” con un valor de presión concreto. Este sistema de ajuste nos permite mover los números del fondo para alinear la aguja con el cero o cualquier otro valor en función de la referencia que vayamos a utilizar.

La complejidad de la altimetría radica en que cada altímetro puede decirnos la diferencia de presión entre la altura a la que se encuentra y la que hay a nivel del mar siempre que la atmósfera esté en condiciones uniformes y perfectamente estándar. Como esto no siempre es así, necesitamos herramientas para que nuestras mediciones de presión se conviertan en un lenguaje universal, no afectado por las condiciones cambiantes de cada día y lugar. Necesitamos que independientemente del clima y condiciones de la medición podamos utilizar esos valores para garantizar una separación vertical adecuada con otras aeronaves y obstáculos.

A este fin se crean los siguientes conceptos: un “marco” de normas que dictan cómo utilizar el altímetro y la información que este nos proporciona.



2.- Conceptos:

Atmósfera Estándar Internacional (ISA):

La atmósfera como referencia común: una serie de valores medios de temperatura, presión y densidad; así como el ritmo medio al que cambian según subimos/bajamos dentro de la atmósfera.

- Presión:

Al nivel del mar = 1013.25 hPa (Hectopascuales = milibares) ó 29.92 inHg (Pulgadas de mercurio) ó 760mmHg.

Se reduce en 1 inHg por cada 1000 pies que ascendamos o 1hPa por cada 27 pies a nivel del mar. Después: -1 hPa cada 36ft a 10000 ft; -1 hPa cada 50ft a 18000 ft...

- Temperatura:

La temperatura media a nivel del mar = 288.15 K (Kelvin) ó 15.25 °C (Grados Centígrados). Desciende a un ritmo de 1.98 °C por cada mil pies de ascenso. Podemos considerar 2 °C a efectos prácticos.

- Densidad:

Densidad del aire a nivel del mar = 1.225 Kg/m³.

Decrece de forma no lineal, como la presión.

QFE:

Abreviatura para el valor de la presión atmosférica en el aeródromo. Si calamos nuestro altímetro con el QFE, la superficie del aeródromo se convertirá en el 0 del altímetro y por lo tanto, si ascendemos siempre nos marcará la altura a la que estamos sobre esa superficie.

Nuestra altitud sería la suma de esa altura sobre el aeródromo + la elevación del AD sobre el nivel del mar.

QNH:

Es la deducción de la presión a nivel medio del mar a partir de la presión medida en el aeródromo: medimos la presión en el aeródromo y calculamos la que habría a nivel del mar de



acuerdo al ritmo de cambio ISA.

Ejemplo: Si en Trinidad medimos presión atmosférica local = 1020 hPa (Esto es el QFE); sabemos que SLTR está a 508ft AMSL; y que el gradiente a baja altura es de 1HPa por cada 27ft de ascenso.

Teniendo en cuenta que:

$$QNH = QFE - \frac{\text{Elevación}}{\text{Gradiente de presión}}$$

$$\text{Entonces: } QNH = 1020 \text{ hPa} - \frac{508\text{ft}}{27\text{ft/hPa}} = 1020 \text{ hPa} - 18,81 \text{ hPa} = 1001 \text{ hPa}.$$

El QNH en Trinidad será 1001 hPa. Obtendríamos el mismo valor si hiciéramos un agujero de 508 pies de profundidad y midiéramos la presión en el fondo del mismo.

Por tanto un altímetro calado con el QNH en la plataforma del aeródromo: marca la elevación del mismo.

Si por el motivo que fuera, no disponemos de QNH conocido, basta con ajustar el altímetro hasta que marque la elevación del AD (publicada en cartas), en ese momento, la ventana de Kollsman mostrará el QNH.

QNE:

Presión estándar ISA a nivel del mar = 1013.25 hPa.

Este valor base para el altímetro se utiliza por encima de la altitud de transición. Normalmente en la fase de crucero o de ruta en la que estamos lo suficientemente “alto” como para que variaciones locales de presión no comprometan la separación vertical con obstáculos.

Como no tendría sentido estar cambiando constantemente el ajuste del altímetro según se sobrevuelan distintas zonas de acuerdo a la cambiante presión atmosférica sobre la superficie de la tierra. Se establece que todas las aeronaves vuelen con QNE por encima del nivel de transición y de esta forma se puede establecer la separación vertical mínima entre ellas: Porque aunque ese valor de 1013 hPa no sea real en todos los lugares, como todas las aeronaves utilizan la misma referencia, todas tendrán el mismo error.



Altitud:

Distancia vertical entre el altímetro y el nivel medio del mar en atmósfera estándar (O en inglés *mean sea level* MSL).

Altura:

Distancia vertical entre el altímetro y el punto inmediatamente inferior sobre la superficie.

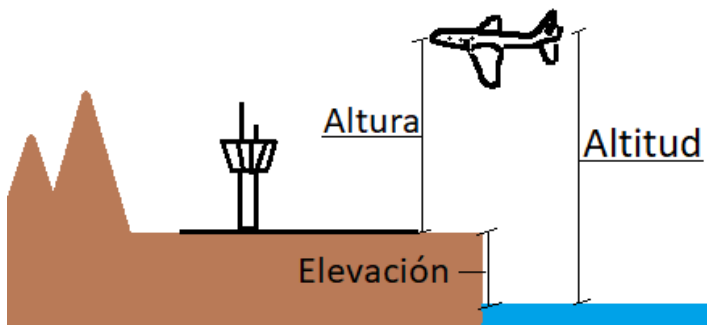
Nivel de vuelo (FL):

Distancia vertical entre el altímetro y el nivel del mar. Se determina el nivel del mar en base al valor de presión estándar. Hablamos en niveles de vuelo cuando nuestro altímetro está calado a presión estándar: 1013.25 hPa o 29.92 HgIn. Los niveles de vuelo se expresan dividiendo esa distancia sobre el MSL entre 100. Por ejemplo, volando a 33 000ft sobre el nivel del mar se expresa como nivel 330. Los niveles van de 5 en 5: FL330, FL335, FL340... Y se expresan mediante tres cifras, insertando un cero delante de ser preciso.

Ejemplo: Altímetro marcando 9500ft sobre 1013 hPa = Nivel de vuelo 095.

Elevación:

Distancia vertical entre el aeródromo, o cualquier otro punto, y el nivel del mar.





Altitud de transición (TA):

Altitud a la cual, y por debajo de la cual, la posición vertical se expresa en términos de altitud. Como mínimo 3000ft sobre el aeródromo pero normalmente coincide con la altitud mínima sobre el IAF más restrictivo (Para no añadir la carga de trabajo de estar pendiente de ajustar altímetros durante la fase de aproximación).

Capa de transición:

Es como se denomina a la distancia vertical que separa la altitud de transición del nivel de transición (primer nivel de vuelo disponible). Su espesor no es constante: debe medir lo mínimo posible y se adapta en función de la presión del momento de forma que permita asegurar la separación vertical mínima IFR (1000 pies reales) entre una aeronave volando en la altitud de transición con otra que vuele en el nivel de transición.

Es por esto que en las distintas cartas solo encontraremos publicada la altitud de transición, siendo el nivel de transición determinado y proporcionado por el ATC responsable en cada momento.

Cuando se atraviesa la capa de transición, la posición en el plano vertical se expresa en términos de altitud en el descenso y en términos de nivel de vuelo en el ascenso.

Lógicamente, no es recomendable volar en la capa de transición y solo deberíamos atravesarla al ascender/descender.

Nivel de transición (TRL):

Nivel de vuelo más próximo a la superficie utilizable, por encima de la altitud de transición. En este nivel, o por encima, la posición vertical se expresa en niveles de vuelo (FL).

¿Cómo calcular el nivel de transición? La respuesta se encuentra en la próxima sección: Aplicación.



3.- Aplicación:

Partamos del siguiente ejemplo:

En Trinidad la altitud de transición publicada es de 5000 pies. Los días en que el QNH sea 1013,25 hPa claramente habrá exactamente 1000 pies entre una aeronave volando a 5000 pies y otra volando a nivel 60.

¿Pero qué ocurre si el QNH no es 1013,25?

La siguiente tabla muestra ejemplos del valor que marcará nuestro altímetro cuando a 5000 pies de altitud (Referencia: QNH) cambiemos nuestro altímetro a QNE (Referencia: 1013,25 mb) en función del QNH del día:

SLTR	QNH = 950 HPa	QNH = 970 HPa	QNH = 990 HPa	QNH = 1010 HPa	QNH = 1013 HPa	QNH = 1030 HPa	QNH = 1050 HPa
Diferencia respecto a QNE:	(1013,25 - 950) x 27ft/HPa = 1707,75 ft	(1013,25 - 970) x 27ft/HPa = 1167,75 ft	(1013,25 - 990) x 27ft/HPa = 627,75 ft	(1013,25 - 1010) x 27ft/HPa = 87,75	(1013,25 - 1013) x 27ft/HPa = 6,75 ft	(1013,25 - 1030) x 27ft/HPa = -452,25 ft	(1013,25 - 1050) x 27ft/HPa = -992,25 ft
Valor en el altímetro cuando a 5000ft QNH cambiamos a QNE:	6708 ft	6168 ft	5628 ft	5088 ft	5007 ft	4548 ft	4008 ft

Comparemos estos valores obtenidos en el altímetro de una aeronave a 5000 pies de altitud con otra aeronave volando a FL60:

SLTR	QNH = 950 HPa	QNH = 970 HPa	QNH = 990 HPa	QNH = 1010 HPa	QNH = 1013 HPa	QNH = 1030 HPa	QNH = 1050 HPa
Valor en el altímetro cuando a 5000ft QNH cambiamos a QNE:	6708 ft	6168 ft	5628 ft	5088 ft	5007 ft	4548 ft	4008 ft
Diferencia respecto a FL 60:	6000 ft - 6708 ft	6000 ft - 6168 ft	6000 ft - 5628 ft	6000 ft - 5088 ft	6000 ft - 5007 ft	6000 ft - 4548 ft	6000 ft - 4008 ft
Separación respecto a aeronave a FL60:	¡708 ft por encima!	¡168 ft por encima!	372 ft	912 ft	997 ft	1452 ft	1992 ft

Como podemos ver, en la mayoría de casos no existe una separación suficiente y por lo tanto, no podríamos utilizar FL60 como Nivel de transición. Con QNH muy altos como 1050 mb la separación es incluso excesiva ya que estaríamos desaprovechando FL55.

Calculemos por fin el primer nivel de vuelo disponible que garantice como mínimo 1000 pies de separación respecto a la TA de 5000 ft:



SLTR	QNH = 950 HPa	QNH = 970 HPa	QNH = 990 HPa	QNH = 1010 HPa	QNH = 1013 HPa	QNH = 1030 HPa	QNH = 1050 HPa
Valor en el altímetro cuando a 5000ft QNH cambiamos a QNE:	6708 ft	6168 ft	5628 ft	5088 ft	5007 ft	4548 ft	4008 ft
Sumamos 1000 ft de separación:	6708 ft + 1000 = 7708 ft	6168 ft + 1000 ft = 7168 ft	5628 ft + 1000 ft = 6628 ft	5088 ft + 1000 ft = 6088 ft	5007 ft + 1000 ft = 6007 ft	4548 ft + 1000ft = 5548 ft	4008 + 1000 ft = 5008 ft
TL = Primer FL disponible (redondeando):	FL80	FL75	FL70	FL65	FL65	FL60	FL55

Si hacemos este mismo cálculo para cada valor posible del QNH cambiando de 1hPa en 1hPa (950, 951, 952...), obtenemos una tabla en la que el TL queda en función de intervalos de QNH de la siguiente forma:

Para QNH	Hasta 977 mb	De 978 mb a 995 mb	De 996 mb a 1013 mb	De 1014 a 1031 mb	De 1032 mb a 1050 mb
TRL	FL75	FL70	FL65	FL60	FL55

Esta tabla y la siguiente serán las que utilizemos para determinar el nivel de transición en función del QNH al conectarnos a controlar en IvaO. Para facilitar la tarea de preparar la posición al conectarnos presentamos la siguiente tabla resumen utilizable en todo aeropuerto de Bolivia. Para aeropuertos de altura como La Paz, los cálculos se vuelven más complejos de los que este documento pretende cubrir ya que hay que tener en cuenta factores adicionales como densidad y temperatura en los cálculos y por lo tanto nos guiaremos por lo establecido en la siguiente tabla:



	Hasta 977 mb	De 978 mb a 995 mb	De 996 mb a 1013 mb	De 1014 a 1031 mb	De 1032 mb a 1050 mb
AD. Con TA = 4000ft : (SLTI)					
TRL	FL65	FL60	FL55	FL50	FL45
AD. Con TA = 5000ft : (como SLTR, SLCO, SLET...)					
TRL	FL75	FL70	FL65	FL60	FL55
AD. Con TA = 6000ft (SLRQ)					
TRL	FL85	FL80	FL75	FL70	FL65
AD. Con TA = 10,000ft : (SLAG)					
TRL	FL125	FL120	FL115	FL110	FL105
AD. Con TA = 16,000ft : (SLAL)					
TRL	FL175	FL170	FL170	FL170	FL170
AD. Con TA = 18,000ft : (como SLLP, SLCB, SLUY...)					
TRL	FL195	FL190	FL190	FL190	FL190