

INSTRUMENTOS DE VUELO Y DE MOTOR

INTRODUCCIÓN

Para el alumno que comienza el aprendizaje de la técnica de vuelo, uno de los aspectos más extraños que encuentra al subir a una cabina, son los instrumentos.

Un conjunto de indicadores diferentes, a los que normalmente no está acostumbrado, y que en apariencia presentan una gran complicación. Parece difícil entender su significado y prestar una atención continua y simultánea a todos ellos.

El piloto debe aprender cómo volar haciendo uso de sus informaciones, su significado y posibilidades, así como la relación que los une, y cómo el fallo de algunos puede limitar el vuelo. Debe reconocer su mal funcionamiento, y la utilización parcial en el caso de que la falla no sea completa.

En la actualidad, la operación segura y económica de un avión depende en gran parte de su instrumental.

Clasificación de los instrumentos

Los instrumentos se dividen en dos grupos bien diferenciados:

1. Instrumentos de vuelo
2. Instrumentos de motor

Instrumentos de vuelo:

Son todos aquellos que indican parámetros relacionados con las condiciones de vuelo del avión. Dentro de este grupo debemos diferenciar a los instrumentos que funcionan mediante el sistema pitot-estática (anemómetro, altímetro, variómetro), y los que funcionan por medio de giróscopo (horizonte artificial, giro direccional, indicador de viraje y ladeo)

Instrumentos del motor:

Este grupo incluye todos los instrumentos que indican parámetros relacionados con la planta de poder; taquímetro, presión y temperatura de aceite y combustible, torque, presión del múltiple de admisión, temperatura de cabeza de cilindro y gases de escape, e indicadores de cantidad y flujo de combustible.

Presentación de las lecturas

La función de un instrumento es presentar al piloto una información precisa de un parámetro, del estado de un sistema ó de una condición de vuelo; tal información debe ser obtenida e interpretada con un mínimo de esfuerzo mental para poder asimilar la información y reaccionar rápidamente.

Las formas más comunes de presentación de datos utilizadas son:

- **Cualitativa:** la información se presenta en forma gráfica ó simbólica.
- **Cuantitativa:** el parámetro a medir se presenta en forma de valor numérico mediante la posición relativa de una aguja con respecto a una escala graduada

Presentaciones cualitativas

En estas presentaciones la información sólo se presenta en forma simbólica ó gráfica para mostrar el estado de un sistema, el movimiento de una superficie, ó una desviación de actitud con respecto al nivel de vuelo deseado.

Dentro de las presentaciones **cuantitativas**, encontramos dos métodos principales de medición:

- Escala circular, que es la más utilizada
- Escala digital o contador,

Escala Circular

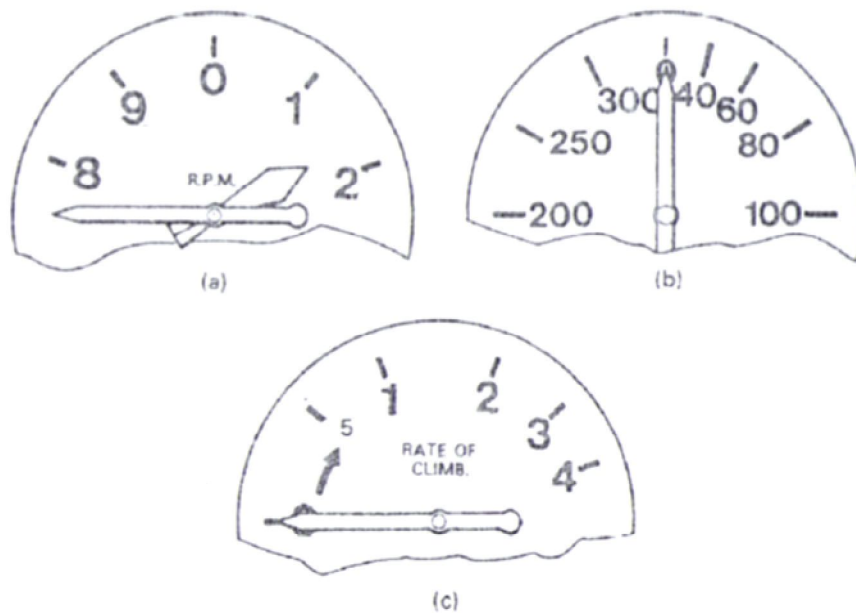
Es el método típico de presentación de información, sobre la cartilla encontramos la base de la escala que es una línea trazada de un extremo al otro. En algunos instrumentos esta línea no está dibujada. Las marcas de la escala que indican el valor numérico son mas largas y anchas, y las intermedias son todas de la misma longitud



Presentación circular típica

La separación de las marcas de la escala puede ser lineal ó no lineal; esta separación depende de la variable a medir. Podemos ver tres ejemplos típicos:

- (a) Escala lineal, aplicada en un taquímetro
- (b) Escala según ley cuadrática aplicada en un velocímetro
- (c) Escala logarítmica aplicada en un variómetro



Presentación digital ó contador

Este tipo de escala se utiliza casi siempre en combinación con una escala circular, en el caso de un altímetro servoaccionado, tenemos dos contadores; uno denominado contador estático que indica milibares ó pulgadas de mercurio y es accionado mediante una perilla, y el otro se denomina contador dinámico y presenta automáticamente la altitud en miles, cientos y decenas de pies. También se utiliza esta configuración en indicadores ITT de temperatura de turbina, y en algunos flujómetros.

Instrumentos indicadores de presión

En el helicóptero encontramos fluidos y gases de los cuales es indispensable estar informado sobre sus parámetros, uno de ellos es la presión de trabajo.

Podemos dividir los indicadores en dos categorías principales:

- De lectura directa: Van conectados directamente a la fuente de presión mediante una cañería o tubo flexible.
- De indicación a distancia: La presión es recibida por un elemento transmisor que permite enviar la información al instrumento en forma de señales eléctricas.

La presión se define como la fuerza aplicada sobre una determinada superficie. Hay dos términos importantes relacionados con la medición de presión:

Presión absoluta:

Es la diferencia entre la presión de un fluido y el valor cero de presión (el valor cero es el que se encuentra en el vacío absoluto. Por lo tanto la presión absoluta de un fluido será la que nos señale el indicador mas la presión atmosférica.

Presión del indicador:

Es la que miden casi todos los indicadores; la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica. El indicador puede señalarnos presiones positivas o negativas dependiendo de que su valor esté por encima o por debajo de la presión atmosférica.

Elementos para medir la presión

Aunque existen diversos métodos para medir la presión, en los instrumentos del helicóptero por conveniencia se utilizan elementos elásticos de detección de presión; tubo Bourdon, diafragmas y cápsulas.

El tubo Bourdon

Este sistema de medición basa su funcionamiento en un tubo de bronce cuya sección es elíptica y está doblado en forma de C. Un extremo del tubo está tapado y el otro conectado a la fuente de presión, fijado a la carcasa del instrumento. Cuando la presión ingresa al tubo este intenta enderezarse y el extremo libre producirá un pequeño movimiento, que se transmite mecánicamente a la aguja para dar la indicación en la cartilla del instrumento. Se utilizan para medir presión de aceite o presión de torque.

Diafragmas

Se utilizan principalmente para medir bajos valores de presión. Están compuestos por un disco metálico ondulado; una de sus caras está en contacto con la presión y la otra transmite la presión ejercida a un mecanismo de palanca y engranajes que se comunican con la aguja indicadora. Miden generalmente presión de combustible.

Cápsulas

Son dos discos similares a diafragmas unidos en su periferia y puede estar conectada o no a la fuente de presión. Son muy sensibles a las presiones pequeñas, y se utilizan para indicadores de presión de admisión ó indicadores de succión para instrumentos giroscópicos.

Con respecto a los indicadores de lectura directa, para su funcionamiento es necesario que el fluido a medir se haga llegar hasta la cabina mediante tuberías lo que es relativamente peligroso en el caso de combustible y aceite.

Los de indicación remota, en cambio, poseen un transmisor ubicado directamente en el motor ó en algún punto conveniente de la cañería. Por lo general los transmisores son del tipo resistivo, es decir que varían su resistencia al variar la presión. Esta señal se convierte electrónicamente en el instrumento indicador para lograr el movimiento de la aguja.

Medidor de presión del colector de admisión(manifold pressure)

El medidor de presión de admisión es sensible a la presión absoluta en el colector de admisión del motor, y la muestra en un indicador que esta normalmente calibrado entre 10 y 35 pulgadas de mercurio (InHg) Los aparatos bimotores poseen un solo instrumento, pero con dos agujas superpuestas.

La potencia desarrollada es proporcional a la cantidad de gasolina quemada, la cual esta basada en la masa de aire que entra a los cilindros. El flujo de aire es difícil de medir, de modo que se usa la presión absoluta de admisión como método de medida. Esta se mide justo en el punto anterior a la válvula de admisión.

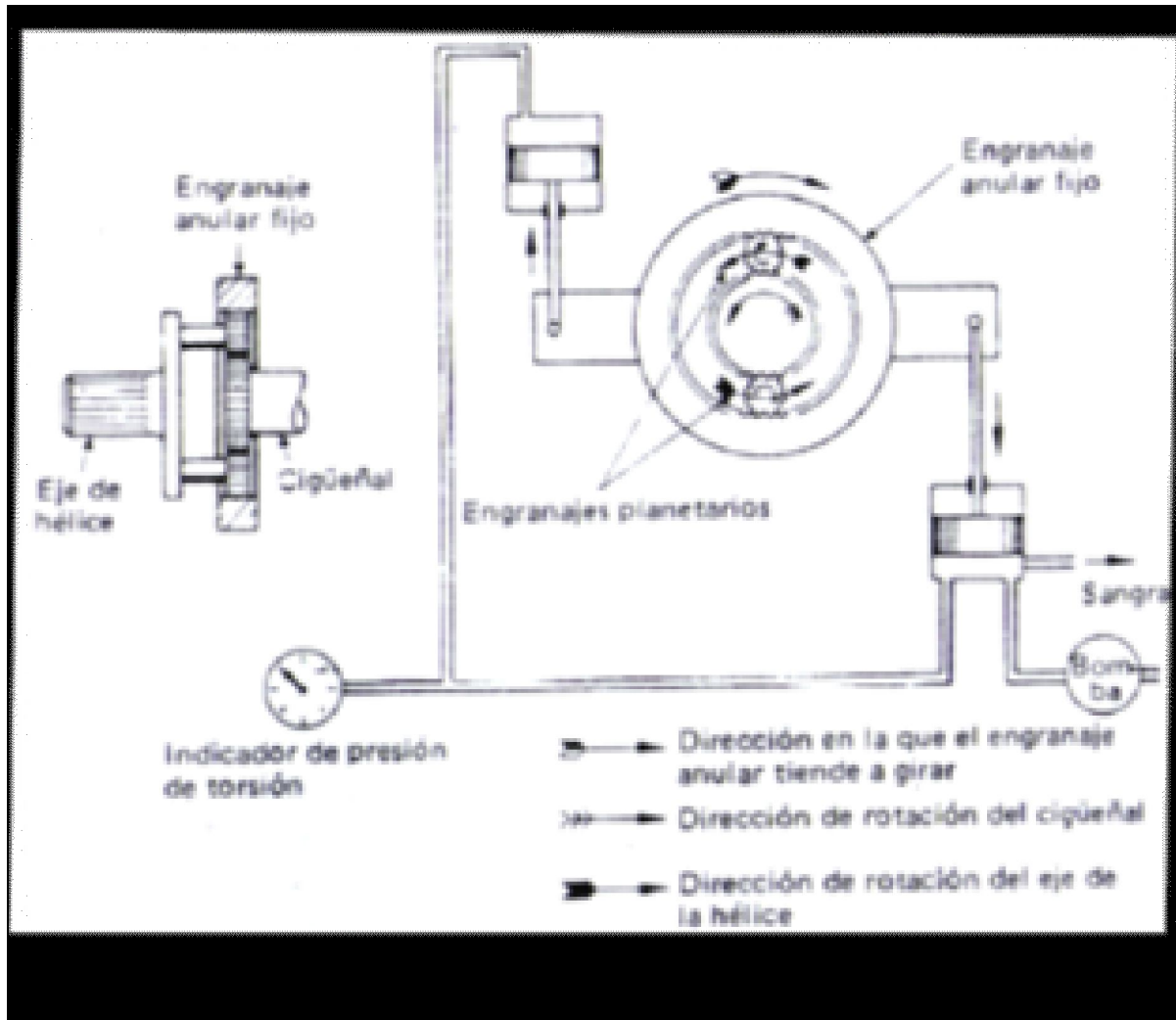
En ocasiones, los indicadores de presión de admisión muestran un comportamiento errático debida a la condensación de la humedad en los conductos del sensor. Para resolver este problema se coloca una válvula de purga entre el conducto de admisión y la atmósfera.

Indicador de presión de torque

Estos indicadores complementan las indicaciones de potencia obtenibles de los taquímetros y los indicadores de presión de admisión midiendo las presiones creadas por un sistema de torquímetro, interpretándose dicha lectura como potencia disponible en el eje del rotor.

El sistema forma parte de motor mismo y suele estar integrado con el conjunto de engranaje de reducción entre el cigüeñal ó turboeje y el rotor. En la mayoría de los casos la operación se basa en los mismos principios; la tendencia a girar de alguna parte del engranaje de reducción sufre la oposición de los émbolos que funcionan en cilindros hidráulicos sujetos a la caja de engranajes.

Los cilindros reciben aceite del motor a través de una bomba especial de torquímetro, que absorbe las cargas debidas al movimiento de los émbolos. Por lo tanto el aceite está sujeto a presiones que son proporcionales a las cargas o torsiones aplicadas que se transmiten al sistema de indicación de presión de torsión.

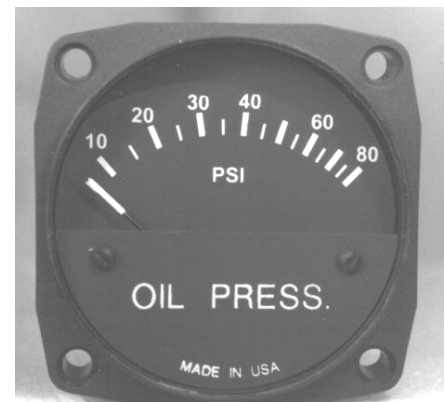


Principio del torquímetro

Medidor de presión de aceite:

La presión de aceite, indicada en libras por pulgada cuadrada (PSI), se mide a la salida de la bomba de aceite, movida por el motor. Como el medidor de temperatura de aceite, generalmente el de presión también dos líneas rojas para indicar las presiones máxima y mínima admisibles, un arco verde muestra el rango de operación normal, otro amarillo que indica una zona de precaución debido al peligro de una sobrepresión en arranque en frío y baja presión con motor en ralentí.

Una indicación de baja presión de aceite en vuelo puede deberse a varias razones, las frecuentes pueden ser, una



cantidad insuficiente de aceite, excesivas fugas de aire a través de los segmentos del motor, y perdidas de aceite. Como estos instrumentos son básicamente fiables, cualquier indicación de presión cero debe ser tomada muy en serio e inducir a un **aterrizaje inmediato**.

Escalas de presión

Las unidades de presión normalmente utilizadas son

- PSI (libra sobre pulgada cuadrada)
- Kg/cm² (kilogramo sobre centímetro cuadrado)
- InHg (pulgadas de mercurio)
- Mb (milibares)

Conversión de unidades

PARA CONVERTIR	A	MULTIPLICAR POR
PSI	Kg/cm²	0,0703
InHg		2,03596
Mb		68,9476

PARA CONVERTIR	A	MULTIPLICAR POR
Kg/cm²	PSI	14,223
	InHg	28,96

PARA CONVERTIR	A	MULTIPLICAR POR
InHg	PSI	0,4912
	Kg/cm²	0,03453
	Mb	33,8639

Indicadores de temperatura

La medición de temperatura se utiliza en el helicóptero principalmente para monitorear condiciones del motor, y para medir la temperatura del aire. La mayoría de los instrumentos basa su funcionamiento en el cambio de las propiedades de algunas sustancias con la temperatura. Algunos de los métodos utilizados son los siguientes:

1. Casi todos los materiales se dilatan cuando aumenta su temperatura, por lo que podemos medir la variación de la temperatura en función de dilatación.
2. Utilizando fluidos ó gases refrigerantes que experimentan grandes cambios de presión al ser sometidos a diferentes temperaturas.
3. La resistencia eléctrica de ciertos materiales cambia con la temperatura, utilizando un circuito eléctrico adecuado es posible medir esta variación de resistencia y expresarla en unidades de temperatura.
4. Si dos conductores de diferente material son unidos en un extremo y se calienta la unión, entre los extremos libres se genera una pequeña corriente eléctrica que aumenta al incrementarse la temperatura de la unión. La pequeña tensión generada puede utilizarse para alimentar un instrumento. Este es el principio básico de la termocupla ó termopar.

Conceptos de calor y temperatura

El calor es una forma de energía que posee una sustancia y está asociado con el movimiento de las moléculas de la sustancia. La cantidad de calor que posee una sustancia depende de la temperatura, de la masa, y de las características del material.

La temperatura es una manera de medir el calor ó la cantidad de calor que posee una sustancia.

La medición de la temperatura es en realidad la comparación de las diferencias de temperatura con respecto a un intervalo fundamental y una escala.

Punto de fusión y de ebullición

En las sustancias puras hay dos puntos de equilibrio que pueden reproducirse siempre bajo las mismas condiciones de presión, y son:

Punto de Fusión: Es la temperatura a la cual el sólido y el líquido pueden estar en equilibrio.

Punto de Ebullición: Es la temperatura a la cual el líquido y el vapor pueden estar en equilibrio.

Intervalo fundamental y puntos fijos

El intervalo fundamental es la gama de temperatura entre dos puntos fijos: fusión del hielo (0°C) en el cual existe equilibrio entre el hielo y el aire saturado de vapor a una presión de 760 mm. de Hg, y el punto de vaporización (100°C) en el que existe equilibrio entre el agua líquida y su vapor a 760 mm. Hg

Escalas de temperatura

El intervalo fundamental se divide en varias partes iguales o grados; la división se realiza de acuerdo con dos notaciones de escalas: Celsius (centígrado) y Fahrenheit.

En la escala Celsius el intervalo fundamental se divide en 100 grados, como punto de fusión del hielo se toma 0°C y como punto de vaporización 100°C . Así, un grado Celsius es $1/100$ del intervalo fundamental.

En la escala Fahrenheit, el intervalo fundamental se divide en 180 y en este caso el punto de fusión del hielo y el de vaporización se encuentran en 32°F y 212°F respectivamente. Entonces, un grado Fahrenheit es $1/180$ del intervalo fundamental.

Si se extrajera todo el calor de un cuerpo su temperatura sería lo más baja posible. Esta temperatura es $-273,15^{\circ}\text{C}$ ó $273,15^{\circ}\text{C}$ por debajo del punto de congelación, y se denomina cero absoluto ó cero en la escala Kelvin;

$$0^{\circ}\text{K} = -273,15^{\circ}\text{C}, \quad 0^{\circ}\text{C} = 273,15^{\circ}\text{K}$$

El cero absoluto en la escala Fahrenheit es $-459,67^{\circ}\text{F}$, ó 0°R en la escala Rankine:

$$0^{\circ}\text{R} = -459,67^{\circ}\text{F}, \quad 32^{\circ}\text{F} = 491,67^{\circ}\text{R}$$

Conversión de unidades

Para convertir de $^{\circ}\text{C}$ a $^{\circ}\text{F}$ utilizaremos:

$$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32$$

y para convertir de $^{\circ}\text{F}$ a $^{\circ}\text{C}$:

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)/1,8$$

Para convertir °C y °F en grados absolutos sólo hace falta sumar 273 ó 460 respectivamente.

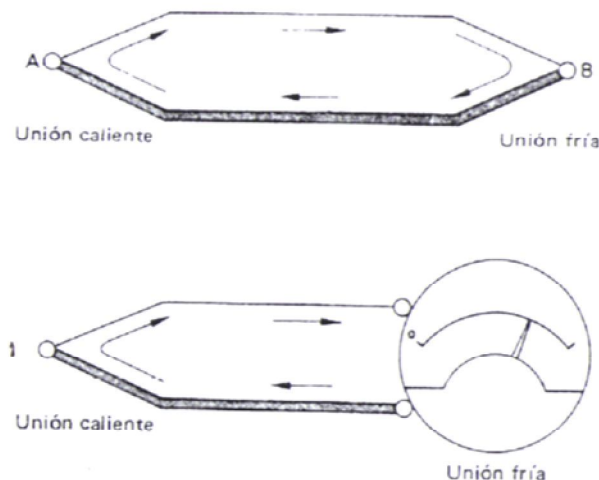
Termocupla

Este elemento es de gran utilidad para medir temperaturas críticas en los motores, ya sean alternativos ó turboeje. Un sistema de indicación de temperatura por termocupla consta de los siguientes elementos:

-El bulbo medidor: En el se encuentra la denominada "unión caliente" que es donde se unen los dos hilos del termopar. En un indicador de temperatura de cabeza de cilindro este bulbo toma la forma de una arandela que se sujeta con la bujía del cilindro que toma mayor temperatura. En un indicador de temperatura de gases de escape el bulbo es una pequeña sonda que se introduce por una perforación del colector de gases y está en contacto con el flujo de gases del motor.

-La línea de termocupla: Es un par de cables de baja resistencia que conduce la tensión de la termocupla hasta el indicador en cabina.

El instrumento indicador: Generalmente es un indicador del tipo de bobina móvil. La indicación del instrumento puede ser absoluta (indica valores reales de temperatura) ó relativa (sólo indica referencias de temperatura)



Principio básico de un indicador por termocupla

Indicadores de temperatura de gases de escape (EGT):

La cantidad de calor producida por la reacción química de la combustión varía con la relación combustible / aire. Si se mide adecuadamente, el calor de la combustión es una herramienta importante de diagnóstico para el piloto. Por consiguiente se desarrollo la idea de utilizar la temperatura de gases de escape (EGT: Exhaust Gas Temperature) como ayuda para el control preciso de la mezcla.

Un motor alternativo puede operar en un amplio rango de mezclas aire / gasolina. La combustión tiene lugar a la máxima EGT, que es también cuando el máximo numero de átomos de O₂ y moléculas de combustible se combinan, produciendo la condición de crucero más eficiente. La operación del motor con ajustes de mezclas más pobres que el de EGT máxima puede conducir a sobrecalentamiento del cilindro y del pistón, a daños y finalmente a fallos catastróficos.

La técnica correcta para ajustar la mezcla es la siguiente:

Comenzando en totalmente rica, el piloto debe empobrecer lentamente la mezcla mientras vigila el indicador de EGT. Cuando la mezcla se empobrece, la EGT aumenta hasta que el indicador llega al máximo, y después disminuye. En este punto, el piloto debe enriquecer la mezcla hasta que d nuevo se alcance el máximo, parándose en 100 °F del lado de mezcla rica.

El indicador de EGT esta dividido en incrementos de 25° F, con marcas mayores cada 100; mido solamente temperatura relativas, no absolutas. Durante el prevuelo, hay que comprobar que los sensores de temperatura y las sujeciones de acero inoxidable están aproximadamente a 3 pulgadas de la pestaña del colector de gases de escape después del cilindro.

Además de la riqueza correcta, los sensores de EGT indican numerosos problemas de vuelo. Una disminución en la CHT (Medidor de temperatura en la culata de los cilindros) y en la EGT indica un probable bloqueo en el sistema de admisión, debido quizás al hielo. Una disminución de la EGT Máxima y un aumento simultaneo en la CHT indican detonación. Si aumenta rápidamente la EGT hasta salirse de la escala y aumenta la CHT, esto es un indicio de preignicion. Algunos sistemas muestran simultáneamente la EGT de todos los cilindros, permitiendo al piloto mantener una vigilancia constante.

Medidor de temperatura en la culata de los cilindros:

El medidor de CHT, un excelente indicador de cómo están funcionando el pistón, el cilindro y los segmentos, indica la temperatura instantánea de la que el fabricante piensa que es la cabeza del cilindro mas caliente. Un importante motivo de inquietud para el piloto es el sobrecalentamiento de estos elementos, lo cual, como mínimo, acortara su vida, y con el tiempo causará un fallo considerable. Temperaturas de cilindro demasiado altas pueden ser origen de detonaciones, daños

en el motor y fallos. Bajas CHT combinadas con altas potencias pueden traer daños a los segmentos, pistones y camisas de cilindros.

Las causas de una temperatura alta incluyen una mezcla demasiado pobre, inyectores de combustible sucios, un escape en el sistema de inducción, ascensos prolongados con alta potencia(especialmente a bajas velocidades), ascensos con temperaturas ambiente elevadas, pasos de refrigeración bloqueados, etc.

Medidor de temperatura de aceite:

El sensor de temperatura de aceite esta ubicado donde este entra en el motor. Tanto se mida eléctrica o mecánicamente, la temperatura se muestra en un indicador que esta dividido en cuatro zonas.

Hay dos líneas rojas que definen las Temp. Máxima y mínima permisible del lubricante, un rango de operación normal en verde y una zona de precaución en amarillo. Esta indica peligro de sobrecalentamiento, lo cual debe ser vigilado cuando se utiliza un aceite de alta viscosidad en condiciones operativas de baja temperatura.

Antes del despegue, la temperatura de aceite debe estar en la zona verde. Si la temperatura nunca entrase en esta zona, incluso después del periodo apropiado de calentamiento, probablemente se deberá a que el instrumento esta averiado. Se puede realizar el despegue, con tal de que el motor no oscile mientras esta aplicada la máxima potencia. Cualquier oscilación debe llevar a abortar el despegue.

Indicadores de temperatura del aire exterior (OAT)

La temperatura del aire es un parámetro necesario para establecer la actuación de la aeronave y los motores. Es muy útil para la medición de la velocidad verdadera (TAS), los ajustes de potencia y la relación combustible / aire de los motores de turbina.

La temperatura ideal a medir es la del aire en condiciones estáticas, y se denomina SAT. El método más sencillo y utilizado es el de un termómetro de lectura directa que se instala mediante una perforación en el parabrisas ó una ventanilla.

Cuando la velocidad de vuelo es mayor de Mach 0.2 la medición de la SAT se dificulta debido al calentamiento que se produce debido a la compresión del aire. La temperatura obtenida en tales condiciones se denomina RAT (Temperatura del aire a presión dinámica)

Taquímetros

El taquímetro es un instrumento que nos permite conocer la velocidad a la cual está girando un eje. Dicha velocidad se mide en revoluciones por minuto(RPM). En el caso de los motores alternativos se miden las RPM del cigüeñal, mientras que en turboejes se mide la velocidad de rotación del compresor y las de la hélice ó rotor.

Actualmente se utilizan dos tipos de taquímetros:

Taquímetros mecánicos

Este instrumento recibe información del motor por medio de un cable giratorio flexible, que en un extremo se conecta a la caja de accesorios del motor y en el otro al instrumento. En este encontramos un imán que gira acoplado al cable y sobre el imán un elemento en forma de copa (normalmente se lo denomina copa de arrastre) en cuyo eje va montada la aguja y un muelle en espiral. Cuando el imán gira, induce sobre la copa corrientes parásitas, esto produce que la copa tienda a seguir el movimiento del imán. No obstante, el movimiento se ve limitado por la tensión del espiral. De esta manera, para diferentes velocidades de rotación del imán se logra un equilibrio entre las corrientes parásitas y la tensión del espiral, y la aguja indicará las RPM correspondientes en la cartilla graduada del instrumento.

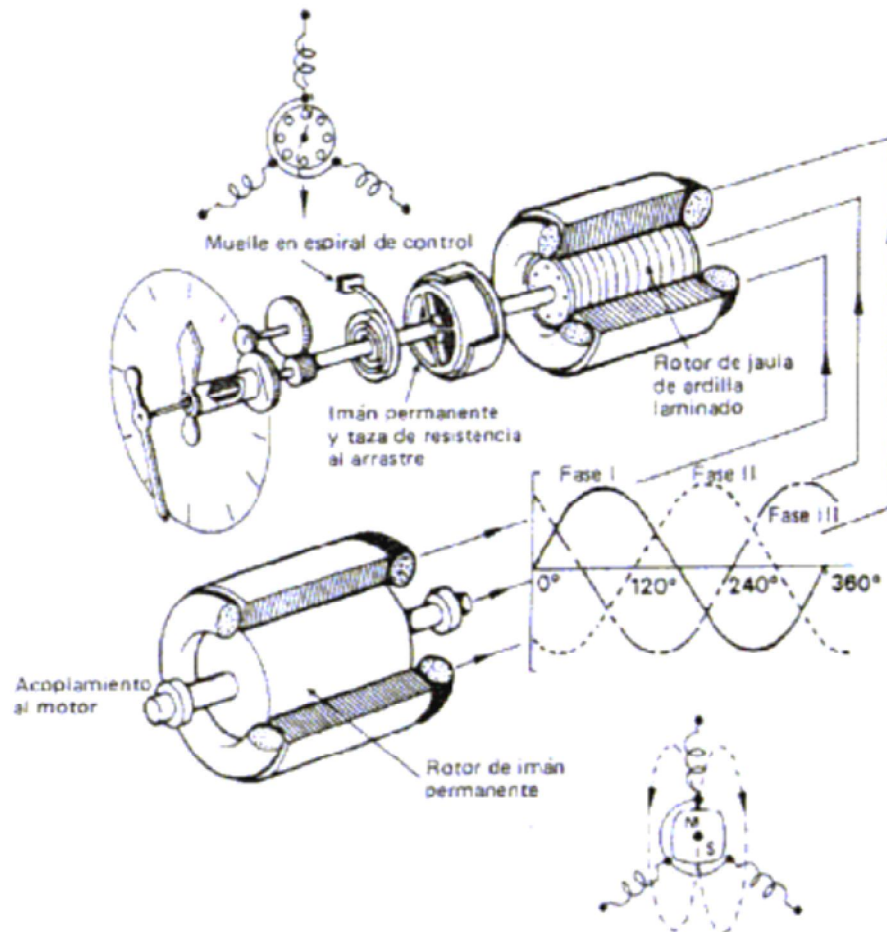
Taquímetro eléctrico

Estos taquímetros se diseñaron con la finalidad de eliminar conexiones mecánicas entre el instrumento y el motor. Este sistema consta de dos componentes, un elemento transmisor o generador, el cual va montado en el motor, y el elemento indicador en la cabina. El generador es básicamente un motor que consta de un rotor de imán permanente, y un estator bobinado en forma trifásica. El rotor va montado en ambos extremos sobre cojinetes y posee un eje estriado para su encastre en la caja de accesorios.

El elemento indicador funciona por el mismo principio del taquímetro mecánico, pero con la diferencia de que su imán permanente es accionado por un pequeño motor trifásico, alimentado por el generador. La velocidad de rotación del motor varía en función de la frecuencia producida por el generador de RPM.

Taquímetros porcentuales

Estos taquímetros son del tipo eléctrico, y no indican las RPM en términos de velocidad de rotación, sino que lo hacen en forma porcentual. La indicación se presenta en un rango de 0 a 100%, ó de 0 a 110%, con divisiones cada 10%. Además de la aguja mayor, posee una pequeña que indica incrementos del 1%.



Sistema de taquímetro generador-indicador

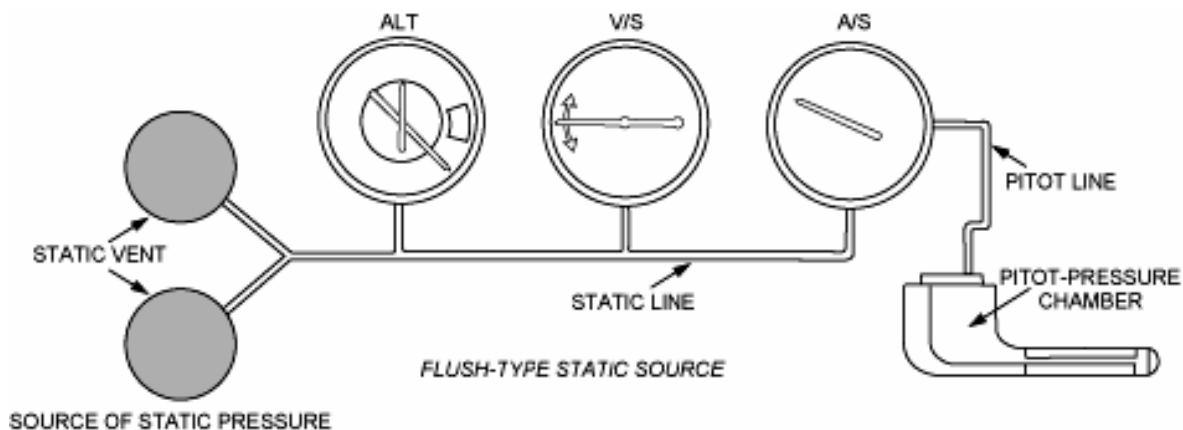
EL TUBO PITOT:

Es un elemento que se reconoce fácilmente en todas las aeronaves. Es un tubo cilíndrico construido generalmente de aluminio ó de acero inoxidable. Se sitúa siempre en una zona donde no sea afectado por corrientes de aire turbulento, con su orificio de entrada enfrentando la corriente de aire libre. El propósito del tubo pitot es detectar la presión de impacto, que es la que produce un fluido en movimiento sobre una superficie cuando se detiene contra ella. Esta presión se transmite

mediante una tubería hasta el anemómetro ó velocímetro donde es amplificada e indicada en términos de velocidad. Cuando se vuela en condiciones de formación de hielo el tubo pitot es un elemento propenso a congelarse, y si se tapara su orificio de entrada daría lugar a indicaciones de velocidad erróneas, inferiores a la real. Es por ello que se los equipa con un elemento calefactor similar a una resistencia eléctrica accionada por el piloto, que hace que las paredes del tubo adquieran cierta temperatura evitando la formación de hielo en las aberturas de entrada de aire.

Las "tomas estáticas" son unos orificios situados en zonas del helicóptero donde el aire está en remanso, o muy poco afectado por la velocidad relativa. Su objetivo es detectar la presión del aire en condiciones estáticas, esta presión permite el funcionamiento del altímetro y el variómetro. Normalmente, puede llevar dos tomas, una a cada lado del fuselaje. Estas tomas pueden obturarse por suciedad, polvo o por cualquier objeto extraño. Su comprobación formará parte de la inspección de prevuelo. En aeronaves capaces de volar en zonas de la atmósfera de muy baja temperatura, también llevan una calefacción eléctrica.

En el caso de que la toma de presión estática quedara obturada, no sería posible obtener indicaciones reales de los instrumentos de presión. No obstante casi siempre existe una toma estática alternativa comandada desde cabina.

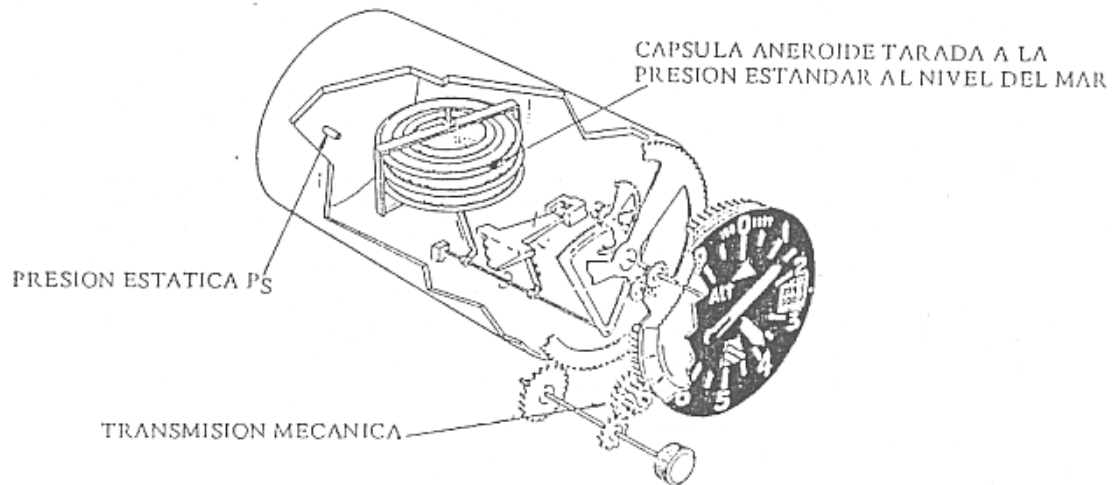


EL ALTÍMETRO:

La presión del aire en condiciones estáticas disminuye al aumentar la altura; en la tabla de la atmósfera estándar se encuentran los valores de presión y altura correspondientes. Por lo tanto, un barómetro, que indica diferencias de presión, puede también indicarnos altura si lo graduamos con la escala adecuada. Este es el principio de funcionamiento del altímetro. Básicamente un altímetro consta de una cápsula de metal en cuyo interior la presión es casi cero. Cuando la presión

atmosférica desciende(aumento de altitud) la presión que tiende a aplastar la cápsula es menor, por lo tanto la cápsula se expandirá hasta que exista un nuevo estado de equilibrio. El movimiento de la cápsula puede ser muy pequeño, pero se amplifica mediante engranajes y se transforma en movimiento de rotación de la aguja.

El instrumento mide la presión atmosférica permanente, a través de las tomas estáticas.



COMO LEER UN ALTÍMETRO:

Muchos pilotos encuentran problemas de interpretación del altímetro. Normalmente, tiene tres agujas indicadoras, de distinto tamaño, montada sobre un círculo dividido en cientos y miles de pies. Debe siempre leerse el altímetro comenzando por la aguja más pequeña y continuando en orden creciente de tamaño. El error de interpretación ha sido, en muchas situaciones, causa de accidentes muy graves, aún en pilotos experimentados.

INDICACIONES DEL ALTÍMETRO, SEGÚN LA PRESIÓN DE REFERENCIA:

El altímetro mide siempre la diferencia de presión entre el interior de la cápsula barométrica y la presión exterior. Cuando el avión sube, la presión atmosférica decrece, y por lo tanto, la cápsula barométrica se expande. Este movimiento es transmitido a las agujas indicadoras.

La presión de referencia al nivel del mar, en atmósfera standard, es de 29,92 pulgadas de mercurio ó 1013 milibares, a 15°C. El altímetro, por construcción, está calibrado a esta presión.

Cualquier cambio que exista en estas condiciones, debe ser corregido por el piloto, usando el selector de presiones para introducir la presión real sobre la que el instrumento debe tomar referencias. La presión tomada como referencia aparece indicada en la ventanilla de ajuste de altímetro. Según la señal de presión utilizada, o ajuste, el altímetro puede indicar distintas altitudes.

Altitud indicada.

Cuando el ajuste del altímetro utilizado es la presión barométrica de un punto, corregida al nivel del mar.

Altitud real.

Altitud sobre el nivel del mar.

Altitud absoluta.

Altitud sobre el suelo.

Altitud de presión.

La indicada cuando el ajuste del altímetro utilizado es de 1013 milibares ó 29,92 pulgadas.

Cuando se usa este ajuste, se dice que el avión vuela en un NIVEL DE VUELO.



Altitud de densidad.

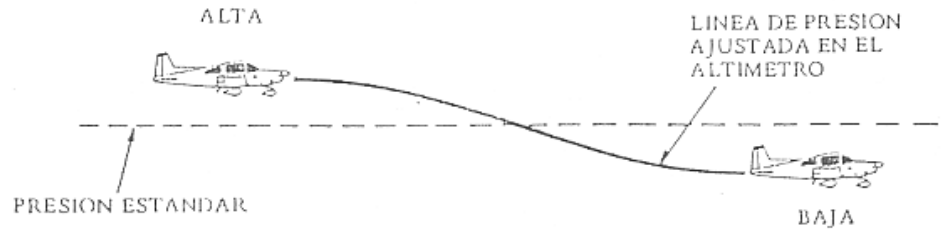
Altitud de presión corregida por temperatura. Para hallar esta indicación, debe utilizarse un computador de vuelo o unas tablas de conversión. El conocer esta altitud es fundamental para calcular el comportamiento de un avión en un momento comprometido, como el despegue.

ERRORES DE ALTÍMETRO:

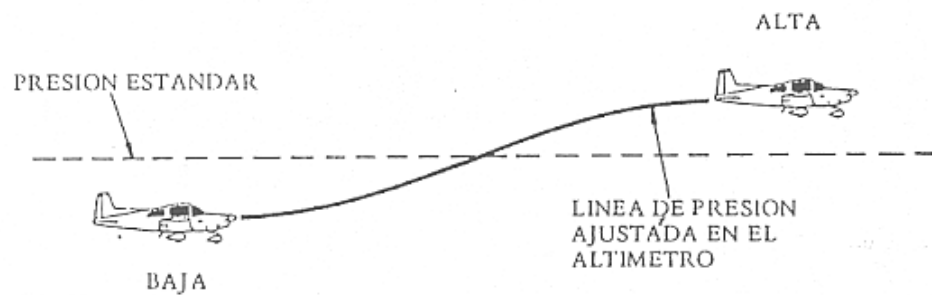
Puesto que el altímetro es el más importante de los instrumentos del grupo de presión, conviene analizarlo con mayor detalle.

Errores debidos al cambio de presión:

Cuando se vuela desde una zona de altas presiones a una de bajas, el avión va descendiendo, aunque la lectura del nivel de vuelo sea la misma.



Lo contrario sucedería si el avión volara desde una zona de bajas presiones a una de altas.



Por lo tanto, CUANDO VUELA EN UNA BAJA, ESTA MAS BAJO (BB = BAJA-BAJO)
CUANDO VUELA EN UNA ALTA, ESTA MAS ALTO (AA = ALTA-ALTO)

La situación comprometida es el vuelo desde una alta presión a una baja.

Errores debidos al cambio de temperatura:

La presión atmosférica es proporcional al cambio de temperatura. Cualquier variación en la temperatura ambiente sobre la standard, supuesto que no hubiese variación en la densidad, modifica la presión y, en consecuencia, la altura indicada.

En un día frío, el avión está mas bajo de lo que indica el altímetro. En un día cálido, el avión está mas alto de lo que indica el altímetro.

Los errores debidos a la temperatura - para eso llevan los aviones termómetros indicadores de temperatura exterior - pueden ser conocidos usando un computador o una tabla de conversión.

USO DEL ALTÍMETRO:

Al piloto le interesa como usar prácticamente su altímetro. A continuación se indica un procedimiento standard.

En el estacionamiento, al establecer contacto con la torre de control, el piloto pedirá el QNH, o medición de presión del campo en ese momento corregida a nivel del mar. Recibido el dato, ajustará el altímetro. LA LECTURA EN ESE MOMENTO DEBE SER EXACTAMENTE LA ELEVACIÓN DEL CAMPO, lo cual puede ser corroborado en la carta o ficha del aeródromo. En el caso de que no fuera así, el altímetro tendrá un error que conviene anotar para futuros ajustes, ya que este error de instrumento se arrastrará en todas las lecturas.

Otro procedimiento de comprobar el error de altímetro sería pedir el QFE, o presión real que existe en el campo, con lo cual al ajustar el instrumento según ella, debería leerse altura CERO. En el caso de no ser así, la diferencia sería el error del altímetro.

Volviendo la situación de tener el instrumento ajustado según el QNH, de esta manera debe efectuarse el despegue.

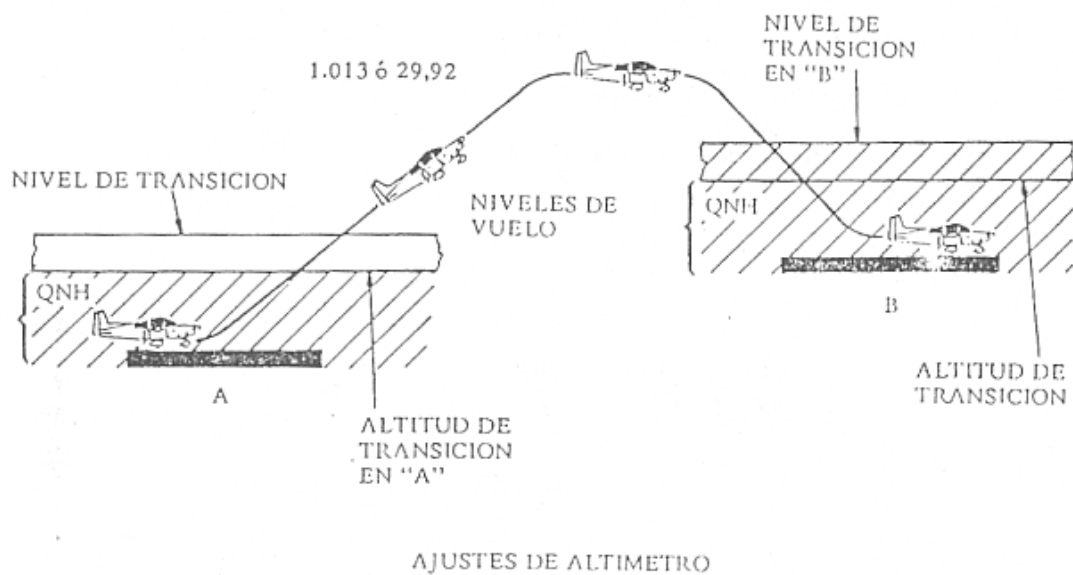
En el caso de que el avión permanezca en circuito de tránsito, o en las proximidades del aeródromo por debajo de la altitud de transición, el altímetro debe permanecer ajustado con el QNH. La información de altura se dará en ALTITUDES. Por ejemplo: 3500 pies de altitud. Cada aeródromo tiene establecida una altitud de transición.

Cada día, el servicio meteorológico proporciona información para poder establecer el nivel de transición. Esta definición queda establecida por las oficinas de Control de Aproximación, o por la torre del aeródromo, según el QNH y la presión al nivel medio del mar. El nivel de transición será el nivel de vuelo más bajo a utilizar por encima de la altitud de transición establecida, respecto al aeródromo. En el caso de que el avión ascendiera por encima de la altitud de transición, el ajuste de altímetro se hará a 1013 milibares ó 29,92 pulgadas, al cruzar la altitud de transición. A partir de ese momento, las referencias de altitud se darán en niveles de vuelo. El vuelo se desarrollará siguiendo los niveles, según el rumbo de la ruta a seguir, según se trate de VFR ó IFR.

Durante el descenso, el altímetro continuará ajustado con 1013 milibares ó 29,92 pulgadas, y por lo tanto, referido a niveles de vuelo, hasta cruzar el nivel de transición del aeródromo de destino, debiendo entonces ajustarse nuevamente con el QNH dado por este último. Si durante el despegue se detectó error del instrumento, debe corregirse en ese momento.

El altímetro deberá indicar la elevación del aeródromo de destino al aterrizar. En algunos aeropuertos, se le proporciona al piloto el QFE.

En ese caso, recordar que el altímetro estará midiendo alturas sobre el nivel del aeródromo, y al aterrizar marcará cero. La información se proporciona en alturas; por ejemplo: 3000 pies de altura.



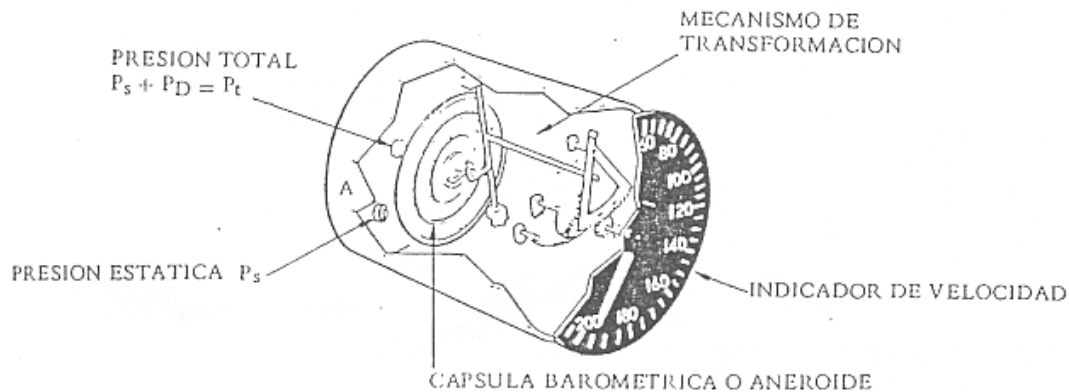
EL VELOCÍMETRO O INDICADOR DE VELOCIDAD:

Es un medidor de presión diferencial; mide constantemente la diferencia entre las presiones dinámica y estática detectadas por el tubo pitot y las tomas estáticas.

Mecánicamente el instrumento está compuesto por una cápsula conectada a la presión dinámica, que se expande cuando esta presión aumenta. La pequeña deflexión de la cápsula es transmitida a la aguja mediante engranajes, y se aplican dispositivos de corrección para reducir el efecto de la ley cuadrática en las lecturas del instrumento.

El sistema utiliza las tomas estáticas para medir P_s ; el sistema pitot para medir $P_s + P_d$ (presión total) Su funcionamiento es como sigue:

Dentro de la cápsula barométrica, el sistema pitot introduce la presión total ($P_s + P_d$) Por el orificio A, se hace llegar la presión estática P_s . La cápsula se dilata exclusivamente por efecto de P_d (presión dinámica), ya que las presiones estáticas se anulan al estar dentro y fuera de la cápsula.



Los instrumentos de bajo rango de medición son calibrados sin tener en cuenta los efectos de compresibilidad del aire, la ecuación para calcular la presión de impacto sólo tiene en cuenta la densidad y la velocidad del aire, y es la conocida como ley cuadrática:

$$P = 1/2 \rho V^2$$

El factor $1/2$ supone que el fluido es ideal y no tiene en cuenta el hecho de que la forma de un cuerpo sujeto a circulación de fluido puede no poner en reposo el fluido en el punto de remanso. No obstante este valor ha sido determinado empíricamente y para sondas pitot-estática su valor corresponde casi exactamente al teórico.

Por lo tanto, la dilatación de la cápsula está midiendo el valor de $1/2 \rho V^2$ permanentemente. Es importante notar que son dos los factores que influyen en la medición: densidad y velocidad del aire.

Una indicación de 150 nudos, por ejemplo, puede ser consecuencia de una alta velocidad y baja densidad, o de baja velocidad y alta densidad en la proporción suficiente para que $1/2 \rho V^2$ valga 150 nudos. De allí la importancia de conocer en ciertos casos la temperatura del aire para efectuar las correcciones por diferencia de densidad.

Distintas velocidades indicadas por el velocímetro:

El piloto debe saber que está marcando el velocímetro, ya que en muchas ocasiones la posesión de la aguja indicadora no refleja la velocidad de las partículas de aire que rodean al avión, o movimiento relativo aire-avión.

IAS - (Indicated Air Speed), o velocidad indicada:

Es la velocidad leída directamente en el instrumento.

CAS - (Calibrated Air Speed), o velocidad calibrada.

Algunos sistemas anemométricos presentan un error controlado, por construcción o por otras causas, entre la indicación directa y la real. Son errores de calibración, o tara del instrumento.

Su valor no suele ser muy grande, 1 ó 2 nudos, y es posible conocerlo consultando las tablas de correcciones. El piloto no cometerá un gran error considerando las IAS como CAS, en el caso de no disponer de una tabla de comprobación.

TAS - (True Air Speed), o velocidad verdadera.

El significado de esta velocidad a veces causa problemas de comprensión a los alumnos.

Recordemos que la cápsula barométrica mide, con sus dilataciones, el valor de presión dinámica, como la mitad del producto de la densidad del aire por la velocidad al cuadrado. Esta dilatación se transmite a un sistema mecánico que transforma la presión en unidades de velocidad. Dicho sistema está ajustado para anular el efecto de la densidad del aire a nivel del mar. Por lo tanto, cualquier medición que se realice a una altitud distinta, por ejemplo 10000 pies, introduce el ERROR DE DENSIDAD.

La TAS será la velocidad IAS o CAS, CORREGIDA POR ERROR DE DENSIDAD.

Esta diferencia puede llegar a ser muy grande. Por ejemplo, una IAS de 150 KTS indicados a nivel del mar, en una atmósfera standard, son 150 KTS TAS.

Sin embargo, los mismos 150 KTS IAS indicados a 10000 pies de altura son 175 KTS TAS. El cálculo de TAS debe hacerse con el computador de vuelo, partiendo de la IAS, midiendo la

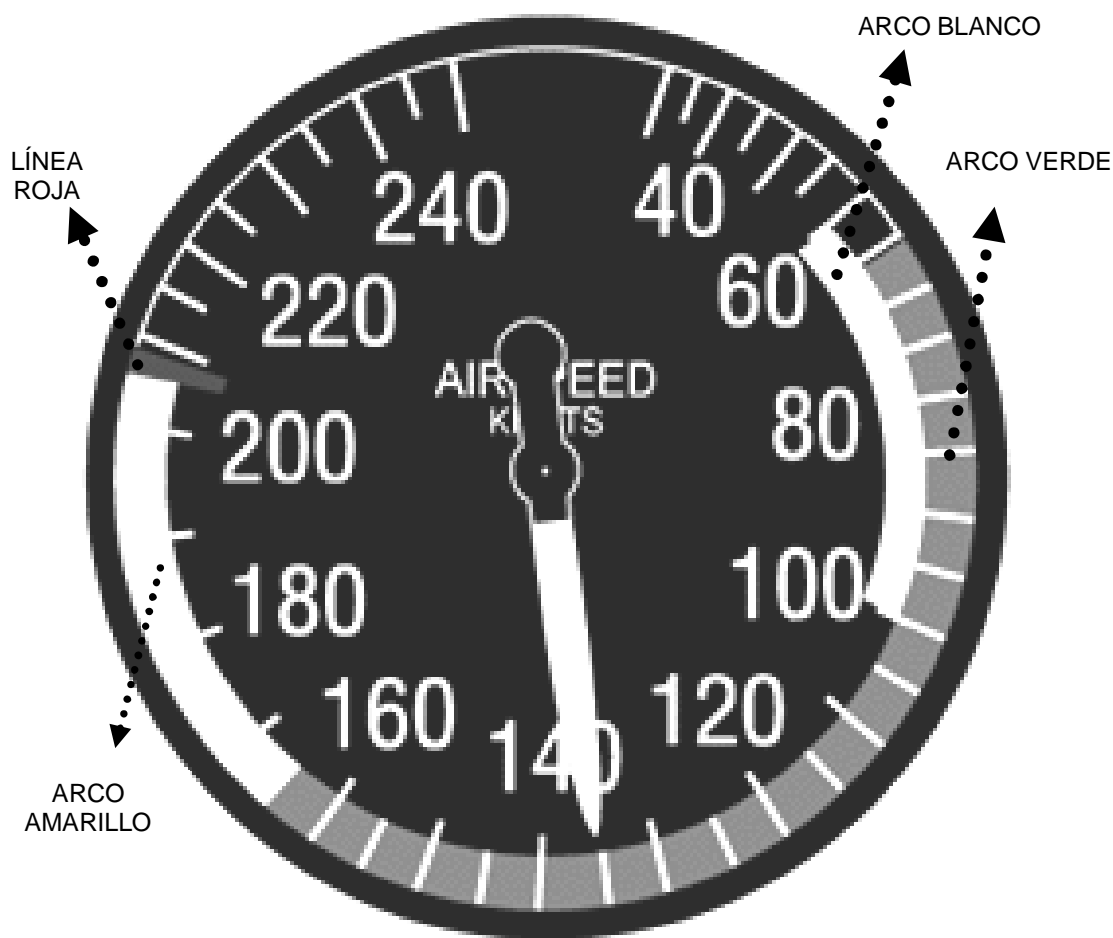
temperatura exterior y corrigiendo el error de densidad, debido a la altura y a la temperatura. Algunos anemómetros llevan incorporado un pequeño calculador en el mismo indicador, que permite medir la TAS, tomando como base la IAS, la altitud de vuelo y la temperatura exterior.

EAS - (Equivalent Air Speed), o velocidad equivalente.

Cuando el avión vuela muy rápido, aparece un nuevo error de medición, debido al efecto de la compresibilidad del aire. Este error no es importante a velocidades inferiores a 250 nudos, o por debajo de 10000 pies de altura.

Significado de las marcas y colores en el velocímetro:

Los anemómetros tienen señaladas algunas velocidades o márgenes de velocidades, con un código de colores cuyo significado el piloto debe conocer.



Línea roja

Indica la VNE o velocidad que no debe sobrepasarse en ningún caso (VNE significa "Never exceed" en inglés)

Arco amarillo

Margen de precaución. La aeronave podría dañarse estructuralmente, en caso de encontrar ráfagas o turbulencias fuertes. En caso de estar éstas presentes, no es conveniente volar dentro de este arco. El arco amarillo tiene como límite superior la VNE, e inferior la VNO, o velocidad máxima estructural en vuelo de crucero. (VNO significa "Normal operating")

Arco verde

Margen normal de operación. Su límite superior es la VNO y el inferior la velocidad a la cual el avión entraría en pérdida en la condición de: peso máximo, flaps retraídos, tren de aterrizaje arriba y sin motor (normalmente el tren de aterrizaje no tiene efectos sensibles sobre la velocidad de pérdida). Esta velocidad se llama VS1. En este margen el avión no tendrá problemas estructurales en caso de vuelo en turbulencia moderada (rachas verticales de hasta 30 pies por segundo)

Arco blanco

Este arco lo encontramos normalmente en los velocímetros de avión, no obstante también es interesante conocer su significado.

Indica el margen normal de operación con los flaps extendidos. Su límite superior es la máxima velocidad de operación con los flaps completamente extendidos, normalmente conocida como VF (velocidad de flaps) El límite inferior es la velocidad de pérdida en la situación de: peso máximo, flaps completamente extendidos, tren de aterrizaje fuera, y sin motor. Esta velocidad se conoce como VSO.

IMPORTANTE: Hemos hablado antes de que el velocímetro puede indicar distintas velocidades: IAS, CAS, TAS y EAS. El piloto se preguntará ¿cuál es la indicada por los códigos de marcas y colores?

ESTAS MARCAS TOMAN SIEMPRE COMO REFERENCIA

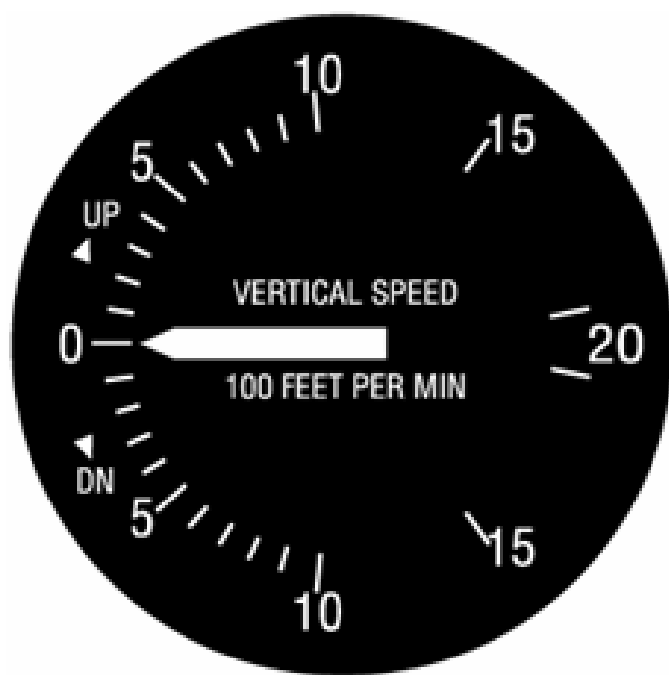
LAS VELOCIDADES INDICADAS IAS.

EL VARIÓMETRO O INDICADOR DE VELOCIDAD VERTICAL:

Igual que el altímetro, el variómetro tiene una cápsula barométrica, pero ésta mide el régimen de cambio de presión en lugar de la variación absoluta. La cápsula tiene una conexión al sistema medidor de presión estática. Esto significa que dentro de la misma hay una presión igual a la de la atmósfera que rodea al avión. Está colocada dentro de un receptáculo que, a través de un tubo capilar, también está conectado a la toma de presión estática.

De esta forma, la cápsula recibe la misma presión por el interior y el exterior, pero esta última más lentamente, ya que su entrada se produce por un tubo capilar. Esta diferencia o retardo en la igualación de presiones es acusada y medida por la cápsula, transmitiéndose su movimiento a través de unos engranajes al indicador de velocidad vertical.

El variómetro indica, por lo tanto, el régimen de cambio de altura, en ascensos o descensos, en pies por minuto generalmente.



La presentación de la cartilla es tal que el cero se encuentra en la posición de las 9 de las agujas del reloj; por lo tanto la aguja estará horizontal en un vuelo recto y nivelado, se desplazará hacia abajo en un descenso, y hacia arriba en ascenso. La escala del variómetro generalmente se calibra de manera que se indica el logaritmo del régimen de cambio de presión. Esto permite que la escala esté mas abierta cerca de la marca cero y proporciona así una mejor legibilidad para pequeñas variaciones con respecto al vuelo horizontal.

Es importante interpretar una lectura combinada del altímetro y el variómetro; si no hay variación de altitud el variómetro debe permanecer indicando cero. Es posible también verificar el funcionamiento del variómetro utilizando en forma combinada el altímetro y un cronómetro.

Variómetro con eliminador de inercia

Son los más utilizados en helicópteros; estos indicadores poseen los mismos elementos básicos que los convencionales, e incorporan un acelerómetro, dispositivo que permite crear un efecto mas rápido de diferencia de presión, principalmente en la iniciación de una subida ó descenso.

El acelerómetro consta de dos cilindros pequeños ó amortiguadores, que contienen émbolos ó pistones mantenidos en equilibrio por resortes y por su propia masa. Los cilindros están conectados en el tubo capilar que conduce a la cápsula, por lo tanto detectan también la presión estática. Cuando se produce un cambio de aceleración vertical, los émbolos responden con movimiento, esto crea un cambio de presión inmediato en la cápsula y un movimiento instantáneo de la aguja del indicador. El efecto del acelerómetro decae luego de unos segundos, entonces el variómetro sigue funcionando como una unidad convencional.

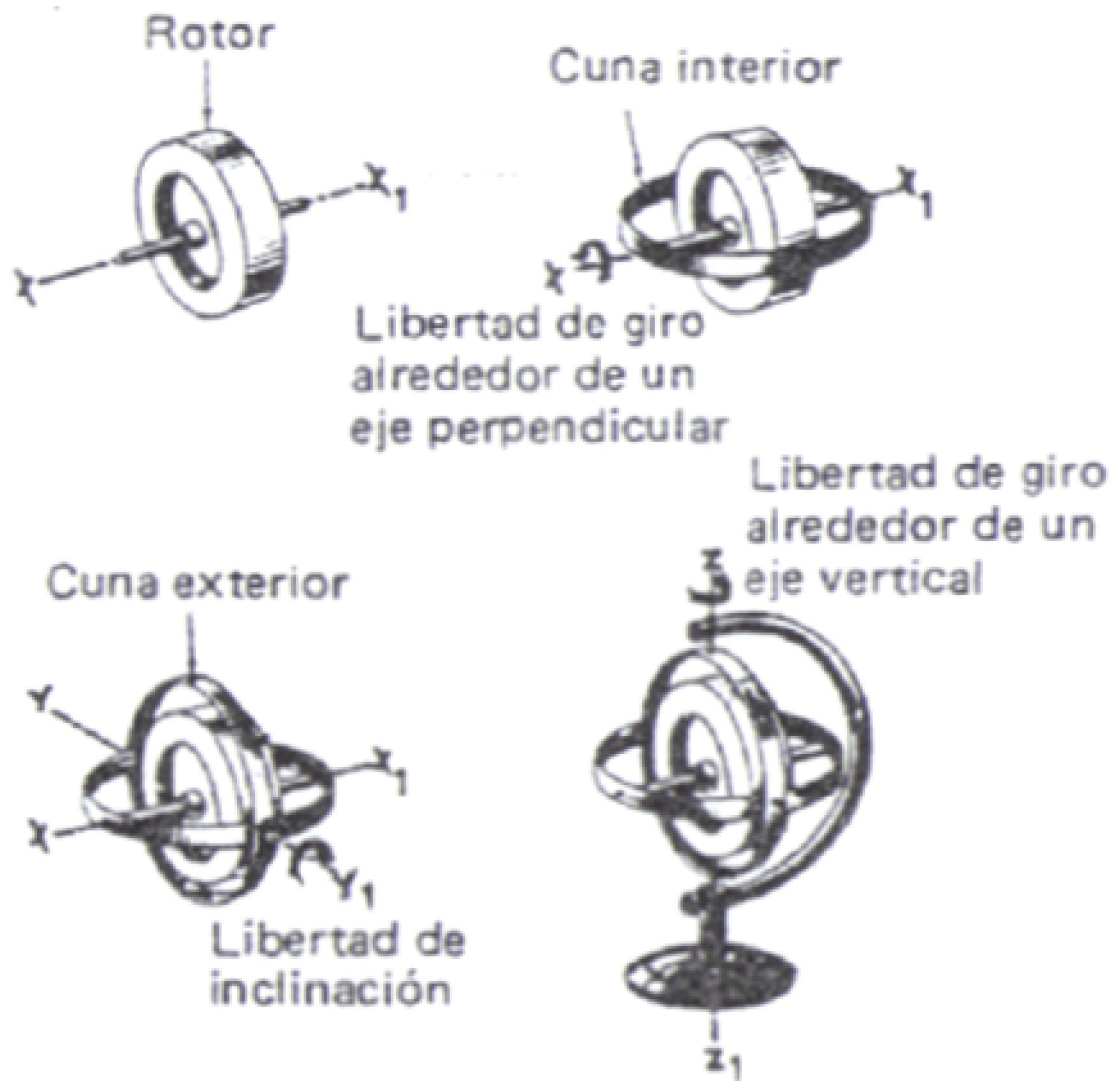
El variómetro debe marcar cero cuando el avión está en el suelo. Cualquier desviación de esta indicación debe ser corregida con un destornillador o con el botón de ajuste, si lo posee.

INSTRUMENTOS GIROSCÓPICOS

Los instrumentos que dependen de principios giroscópicos son tres: el horizonte artificial, el giróscopo direccional, y el indicador de viraje y ladeo.

Para comprender el funcionamiento y las limitaciones de estos instrumentos es necesario estudiar las características y propiedades del giróscopo.

Físicamente el giróscopo básico esta compuesto por una rueda de metal ó rotor, que debe montarse de manera que tenga tres grados de libertad: (1) Libertad de giro alrededor de su centro, (2) Libertad de inclinación alrededor de un eje horizontal en ángulo recto al eje de giro, (3) Libertad de giro alrededor de un eje vertical perpendicular a los dos anteriores.



Gir6scopo libre 6 espacial

Esta libertad de movimiento se consigue montando el rotor en dos anillos pivotados conc6ntricamente, denominados cuna interior y exterior.

Cuando se hace girar el rotor a gran velocidad es cuando aparecen las dos propiedades fundamentales del gir6scopo:

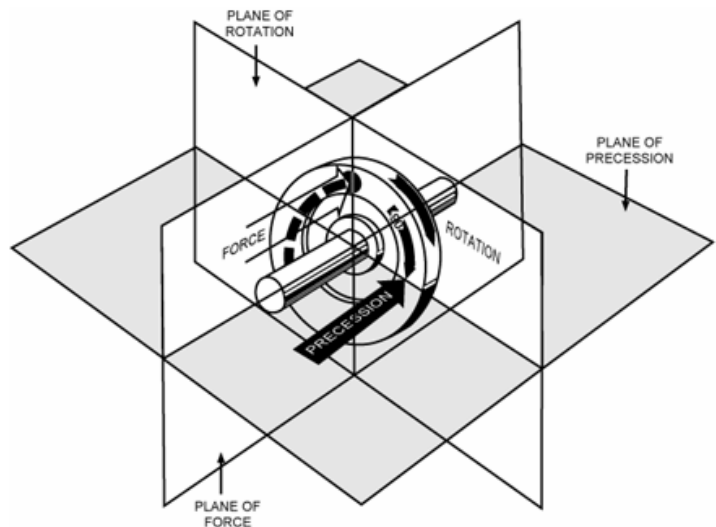
Rigidez: Es la propiedad del giróscopo de resistir a cualquier fuerza que tiende a cambiar el plano de rotación de su rotor. Esta propiedad depende de tres factores: (a) La masa del rotor, (b) La velocidad de rotación, (c) La distancia en la que la masa actúa desde el centro (radio de giro)

Precesión: Es el cambio angular de dirección del plano de rotación bajo la influencia de una fuerza aplicada. El cambio de dirección no se produce en línea con la fuerza aplicada, sino en un punto separado 90° en la dirección de rotación. El régimen de precesión depende también de tres factores: (a) La fuerza y dirección de la fuerza aplicada, (b) el movimiento de inercia del rotor, (c) la velocidad angular del rotor.

El giróscopo que estamos estudiando es el denominado giróscopo libre ó espacial.

Para que el giróscopo sea aplicable en aviación, deben ser corregidas ciertas limitaciones, como ser:

Desviación aparente: El giróscopo en rotación establece una referencia en el espacio. La Tierra gira alrededor de su eje a una velocidad de 15° por hora. Por lo tanto, si observamos un giróscopo libre durante un periodo de tiempo, parecerá que el mismo se desvió o cambio de dirección. Esta desviación depende de la latitud en la que se sitúe el giróscopo.



Cambio de dirección del eje del giróscopo por Transporte: Es similar a la precesión aparente: al observar el giróscopo en movimiento sobre el plano de la Tierra parecerá que su plano de rotación se desplaza.

Desviación real: Es causada por las imperfecciones constructivas del giróscopo, como ser fricción en los cojinetes, y desequilibrio de las cunas. Esto causa precesión no deseada que debe minimizarse construyendo al conjunto con la mayor precisión posible.

Conociendo las tres limitaciones podemos observar que de no ser corregidas el giróscopo no sería útil como referencia de posición con respecto a la Tierra. El giróscopo debe ser convertido a lo que se denomina un giróscopo terrestre, para que mantenga el plano de giro con respecto a la Tierra. La corrección se logra aplicando deliberadamente fuerzas que hacen precesar al giróscopo forzándolo

a mantener siempre un plano de referencia, mediante dispositivos que son sensibles a la gravedad y detectan la desviación del giróscopo para aplicar la fuerza requerida.

Métodos de accionamiento de los giróscopos

Para accionar los rotores hay dos métodos principales: neumático y eléctrico.

Neumático: La alimentación proviene de una bomba de vacío accionada por el motor, o un tubo venturi instalado exteriormente y afectado por el torbellino de la hélice. El vacío es regulado mediante una válvula a la presión de 4,8-5,2 pulgadas de mercurio. El instrumento posee dos conexiones; la de vacío y la de entrada de aire exterior filtrado. Al aplicarse vacío a la caja del instrumento, se reduce la presión e ingresa por el otro conducto aire a presión que impacta en las ranuras del rotor y lo hace girar a mas de 22.000 RPM.

Eléctrico: Estos giróscopos se idearon con el fin de eliminar cañerías en el helicóptero, crear un sistema mas limpio y en ciertos casos para disponer de una alternativa en caso de falla de una fuente de vacío (horizonte stand-by)

Los rotores son generalmente un motor de corriente alterna trifásica del tipo de inducción, alimentados por 115 Volts 400 Hz o 28 Vdc.

Horizonte Giroscópico

Este instrumento nos indica la posición de cabeceo y alabeo del helicóptero con respecto a la vertical; el eje de su giróscopo se mantiene en posición vertical.

Las indicaciones son representadas por la posición relativa de una barra y cursor solidarios al conjunto giroscópico, con respecto a un avión en miniatura y una escala de inclinación graduada.

La posición relativa de la barra con respecto al avión en miniatura nos indicará ángulos de cabeceo, en tanto que el cursor y la escala graduada nos indicarán alabeo.

En operación el sistema giroscópico está estabilizado para que sus tres ejes estén en ángulo recto.

El horizonte artificial contiene una información que el piloto debe conocer perfectamente.

- Línea de horizonte:

Es una línea recta que transmite la posición del giróscopo y representa artificialmente al horizonte real.

- Avión miniatura:

Representa al avión. Su posición con relación a la línea del horizonte indica exactamente la posición del avión, con relación al horizonte real, tanto en profundidad como en inclinación.

- Ajuste del avión miniatura:

Es un mando que permite ajustarlo verticalmente.

- Marcas de viraje:

En el semicírculo superior, aparecen indicadas unas marcas de viraje. Son fijas e indican la inclinación. Están marcadas con trazo fuerte 0° - 30° - 60° - 90° . Los primeros 30° están, además, señalados de 10° en 10° .

- Índice de viraje:

Es móvil, e indica exactamente el grado de inclinación alcanzado. El tipo de viraje normal es de 3° por segundo, siendo necesaria una inclinación distinta según la velocidad del avión.

Una buena norma para conocer con bastante aproximación el grado de inclinación requerido para un viraje standard es: dividir la velocidad en millas por hora por 10; y sumarle 5. El ángulo de inclinación resultante será el que proporcione un viraje standard.

Por ejemplo: Velocidad = 150 mph

$$150/10 + 5 = 15 + 5 = 20^\circ \text{ de inclinación.}$$

Esta regla es muy precisa para velocidades comprendidas entre 100 y 200 millas por hora. Si el velocímetro estuviera indicado en nudos, la regla sería dividir por 10 y añadir la mitad del resultado. Por ejemplo: Velocidad 150 mph = 130 kts



$130/10 = 13$; $13 + 13/2 = 13 + 6,5 = 19,5^\circ \sim 20^\circ$ de inclinación.



Level Flight



Climb



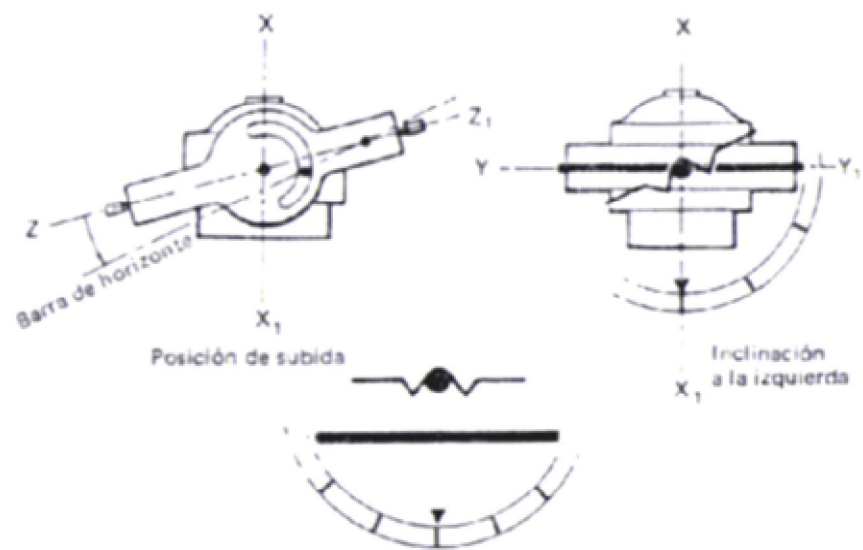
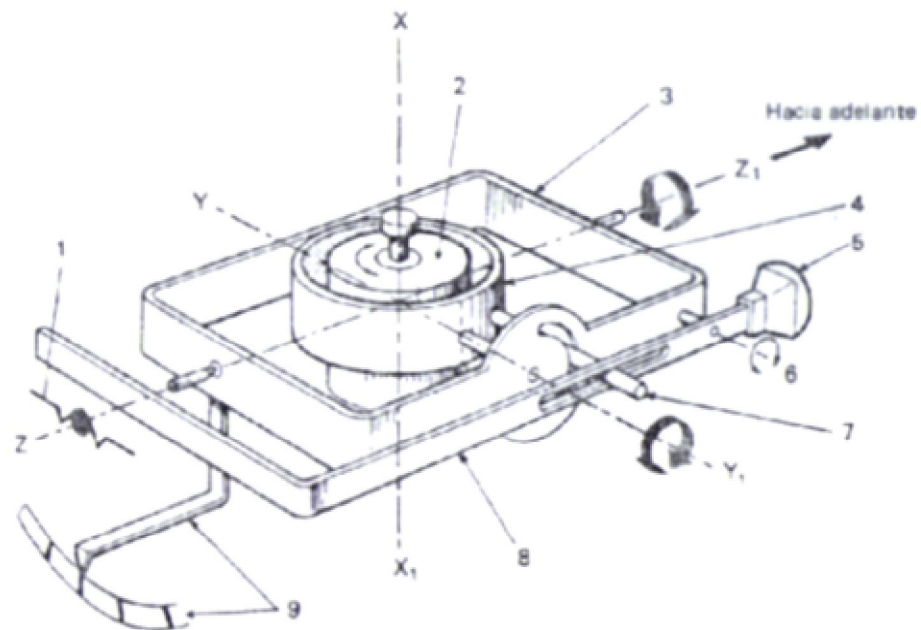
Descending Left Turn

- Marcas de profundidad:

Permiten conocer la posición vertical del avión, con relación al horizonte real. Se utilizarán para ascensos y descensos controlados, situando en la marca deseada el avión miniatura.

- Bloqueo:

Permite fijar el giróscopo en una posición para evitar que se mueva. Es necesario hacerlo en aquellas maniobras en las que se vayan a forzar los límites del aparato. En algunos casos, este bloqueo no existe porque no tiene limitaciones, pudiendo ser usado incluso en acrobacia.



Funcionamiento del horizonte artificial

EL GIRÓSCOPO DIRECCIONAL

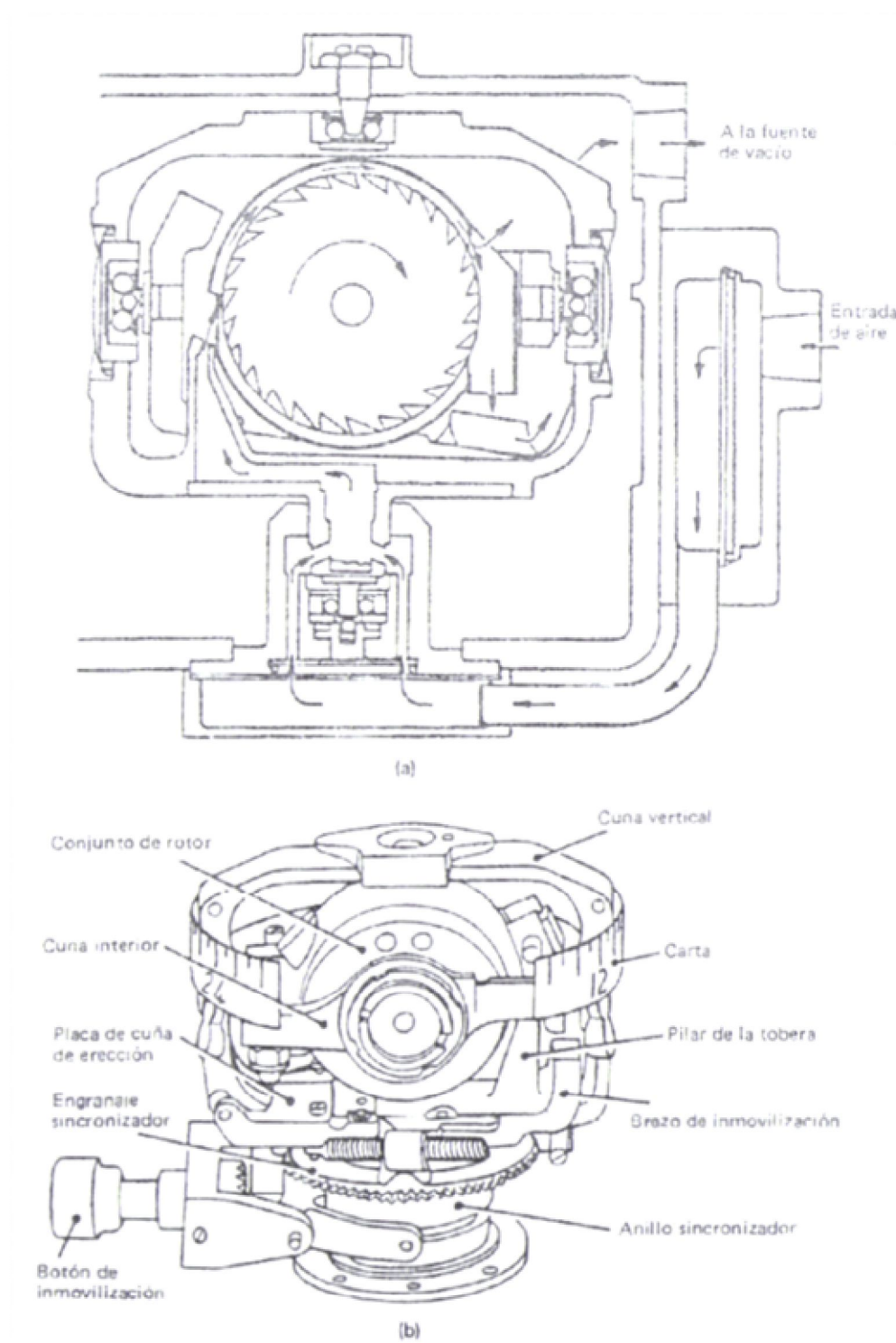
Este instrumento es un indicador de rumbo que se utiliza en conjunto con la brújula. Su principal característica es que indica los cambios de rumbo instantáneamente durante los virajes; la brújula proporciona referencia confiable en vuelo recto y nivelado, ó con ángulos de inclinación pequeños.

Además el giróscopo direccional no sufre los efectos de la inclinación magnética, y posee menor error de viraje y aceleración.

El rotor posee su eje de giro horizontal y es alimentado por vacío ó eléctricamente para desarrollar entre 12.000 y 18.000 RPM. Cuando alcanza su régimen de rotación, ya posee rigidez suficiente para mantener su posición en el espacio, y la precesión se corrige mediante un chorro de aire proveniente del mismo rotor. Durante los virajes la indicación en grados de la cartilla refleja constantemente la diferencia existente entre la posición el eje vertical del conjunto giroscópico (que mantiene su posición) y la carcasa del instrumento que está fija al avión. El giro direccional no detecta rumbos magnéticos, por lo tanto debe ser ajustado con la brújula, y en vuelo es necesario controlar periódicamente su sincronización para reajustarlo si es necesario. La precesión máxima permisible de un giro direccional es de 3° cada 15 minutos.



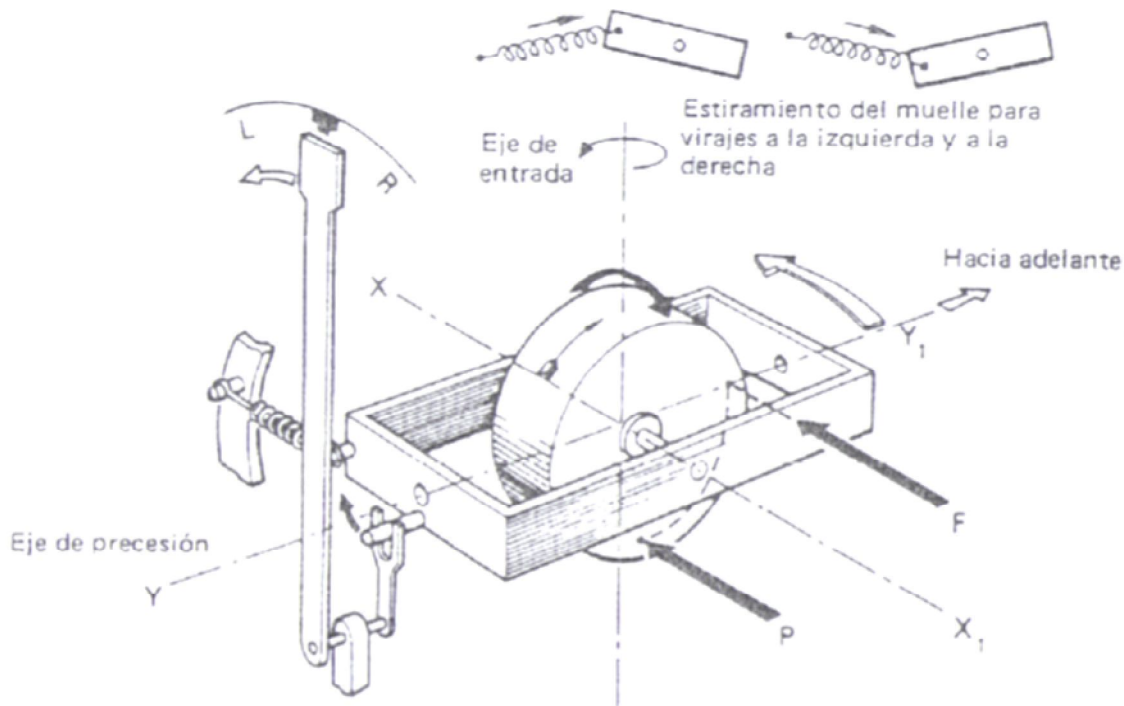
Como todo instrumento mecánico el giro direccional posee ciertos errores, uno de ellos es el denominado error cardánico. Esta condición tiene lugar cuando se dan actitudes particulares de cabeceo y alabeo, y provocan que la cuna exterior del giróscopo gire alrededor de su eje indicando un falso viraje.



Giro direccional básico

Indicador de giros y ladeos

El indicador de viraje, o comúnmente denominado “palo bolita”, consta de dos mecanismos independientes; una aguja ó índice controlada giroscópicamente, para detectar el régimen de viraje del avión, y una bola ó péndulo metálico para indicar la inclinación lateral ó resbalamiento.



La bola:

Consiste en un tubo de cristal curvado, con líquido en su interior, dentro del cual se desliza libremente una bola de ágata o de acero. La bola se desplaza siguiendo las fuerzas centrífugas que afectan al helicóptero.

Si los movimientos fueran coordinados, la bola debería permanecer centrada; en el caso de que no lo sean, la bola se desplazaría del centro, indicando un derrape o un resbale, según la fuerza que la afecte.



El bastón:

Utiliza el principio de la precesión giroscópica, e indica la dirección y el régimen aproximado de cambio de rumbo del avión.

Descripción:

El instrumento consta de un giróscopo, con libertad de movimiento en sus ejes lateral y longitudinal, pero rígido con respecto al eje vertical.

El instrumento está fijo en el panel, por cuanto si el avión se inclina, esta fuerza es transmitida al conjunto del instrumento.

El giróscopo está fijo por su eje vertical, montado en una cuna libre en su eje longitudinal, la cual transmite su movimiento al bastón.

El viraje crea una fuerza sobre el giróscopo, que se considera aplicada en el eje de entrada.

Debido a la precesión giroscópica, esta fuerza se desplaza 90° en el sentido del giro, por lo que realmente reacciona en el eje de precesión.

Se origina un desplazamiento de la varilla que está fija por un lado con un resorte. El movimiento es transmitido al indicador o bastón.

Interpretación del instrumento:

El bastón indica la dirección y el régimen del viraje. Es decir, si el bastón está caído a la izquierda, el helicóptero está cambiando de dirección a la izquierda, y lo mismo sucede a la inversa.

El régimen está indicado por cuánto está inclinado el bastón.

Los virajes standard se deben hacer a un régimen de 3° por segundo, lo que exige un tiempo de $360/3 = 120$ segundos, o 2 minutos, para cambiar el rumbo 360° .

Los tipos de indicadores más frecuentes son aquellos en que un desplazamiento de bastón indica un viraje standard, o bien aquellos que necesitan dos desplazamientos de bastón para indicar un viraje de 3°. El primero se denomina indicador de dos minutos.

El segundo se llama indicador de 4 minutos, o lo que es igual, el viraje standard exige dos desplazamientos de bastón.

Se reconoce por estar escrito en el instrumento 4 MIN TURN, y también por que el indicador tiene dos marcas en forma de caseta de perro.

Si el bastón se desplaza un solo cuerpo, el régimen de viraje es de 1,5° por segundo.

El bastón y la bola, aún cuando están montados en el mismo instrumento, no guardan relación entre sí.

Repetimos que la deflexión del bastón indica si el helicóptero está realizando un viraje standard u otro tipo de viraje, y la bola no tiene nada que informar al respecto. Si el helicóptero está girando a un régimen de 3° por segundo, éste es un viraje standard no importa cual sea la posición de la bola. Si la bola no está centrada, indica como está realizando ese viraje: derrapado o resbalando, pero eso no modifica los 3° por segundo de cambio de rumbo. No tomar nunca el bastón como un instrumento primario indicador de inclinación lateral.

En los tres casos de la figura, el avión está cambiando su rumbo a un régimen de 3° por segundo, pero el primer caso lo hace resbalando (régimen de viraje lento para el ángulo de inclinación), en el segundo lo hace coordinado, y en el tercer caso el avión derrapa (régimen de viraje muy grande para el ángulo de inclinación aplicado).

Es interesante saber que el bastón se hace menos preciso cuánto más inclinación tenga el avión. Si fuera posible realizar y mantener un giro con 90° de inclinación, el bastón teóricamente se centraría, no acusando el cambio de rumbo.



Coordinated Turn



Skid



Slip

INSTRUMENTOS DE VUELO Y DEL MOTOR

INTRODUCCIÓN	1
Clasificación de los instrumentos	1
Instrumentos de vuelo:	1
Instrumentos del motor:.....	2
Presentación de las lecturas	2
Presentaciones cualitativas	2
Escala Circular	2
Presentación digital ó contador	4
Instrumentos indicadores de presión.....	4
Presión absoluta:	4
Presión del indicador:	4
Elementos para medir la presión.....	5
El tubo Bourdon.....	5
Diafragmas.....	5
Cápsulas.....	5
Medidor de presión del colector de admisión(manifold pressure)	6
Indicador de presión de torque	6
Medidor de presión de aceite:	7
Escala de presión	8
PSI	8
Kg/cm ²	8
InHg	8
Indicadores de temperatura.....	8
Conceptos de calor y temperatura.....	9
Punto de fusión y de ebullición.....	9
Intervalo fundamental y puntos fijos.....	10
Escala de temperatura	10
Conversión de unidades	10
Termocupla.....	11
Indicadores de temperatura de gases de escape (EGT):.....	12
Medidor de temperatura en la culata de los cilindros:	12
Medidor de temperatura de aceite:.....	13
Indicadores de temperatura del aire exterior (OAT)	13
Taquímetros	14
Taquímetros mecánicos	14
Taquímetro eléctrico	14
Taquímetros porcentuales.....	15
EL TUBO PITOT:	15
EL ALTÍMETRO:.....	16
COMO LEER UN ALTÍMETRO:.....	17
INDICACIONES DEL ALTÍMETRO, SEGÚN LA PRESIÓN DE REFERENCIA:	17
Altitud indicada.	18
Altitud real.	18

Altitud absoluta.	18
Altitud de presión.	18
Altitud de densidad.	18
ERRORES DE ALTÍMETRO:	18
Errores debidos al cambio de presión:	19
Errores debidos al cambio de temperatura:	19
USO DEL ALTÍMETRO:	20