



Para los fines prácticos sólo nos interesa: a) el oxígeno, puesto que es el combustible indispensable para mantener nuestra vida; b) el  $\text{CO}_2$  y el vapor de agua, ya que siempre se les encuentra en el aire exhalado y en cantidad constante fuese cual fuere la altura a la que se vuele (hay pequeñas variaciones con alguna significación fisiopatológica, pero en otro sentido del que ahora nos ocupa).

Estudiemos los factores más importantes que intervienen en la producción de déficit de oxígeno, o hipoxia por altura.

### 1º) FACTOR PRESION ATMOSFERICA:

A nivel del mar a una presión barométrica de 760 mm. de Hg., la presión parcial del oxígeno, del  $\text{CO}_2$  y del nitrógeno serán, en números redondos y en el medio ambiente, como sigue:

#### Aire a la Presión Barométrica de 760 mm. de Hg.

Oxígeno 21% de 760 = 159 mm. de Hg. de Presión Parcial. Nitrógeno, 79% de 760 = 600,4 mm. de Hg. de Presión Parcial.  $\text{CO}_2$ , valor mínimo depreciable.

Pero, en el interior del alvéolo pulmonar (unidad funcional del pulmón) y a nivel del mar, la presión Parcial del oxígeno no será de 159/ mm. de Hg. sino menor: 104 mm. de Hg. Esto es debido a la ocupación de espacio por dos nuevos elementos, productos del metabolismo humano: el  $\text{CO}_2$  y el vapor de agua. Entonces, en el alvéolo (vale para todo el pulmón) las presiones parciales de los distintos gases que intervienen en el fenómeno de la respiración serán los siguientes. (2).

#### Presión Parcial de los Gases en el Alvéolo Pulmonar a nivel del mar

Vapor de agua	= 47 mm. Hg. de Presión Parcial (factor invariable);
$\text{CO}_2$	= 40 mm. Hg. de Presión Parcial (poco variable);
Nitrógeno	= 569 mm. Hg. de Presión Parcial (factor variable gas inerte);
Oxígeno	= 104 mm. Hg. de Presión Parcial (factor variable gas vital);
<hr/> Total gases	<hr/> = 760 mm. Hg.

Tenemos ya en mano la primera información básica para entender el problema del comportamiento del piloto a gran altura: = La Presión Parcial del oxígeno en los pulmones es de 104 mm. Hg. a nivel del mar.

Pero, como ya lo hemos anotado, el contenido en  $\text{CO}_2$  y vapor de agua cambia muy poca cosa con la altura, o sea que son valores que permanecen constantes frente a los otros dos, el del oxígeno y el nitrógeno que sí descienden, y motivan que estos dos últimos decaigan en forma no lineal, más bien pseudologarítmica. Para comprenderlo mejor analicemos de nuevo la Presión Parcial de los gases en el alvéolo pulmonar, pero a una altura de 10.000 metros (33.000 pies, aproximadamente). (2).

## Presión Parcial de los gases en el alvéolo y a 10.000 metros

Vapor de agua	= 47 mm.	de Hg. de Presión Parcial (misma que a nivel del mar);
CO <sub>2</sub>	= 24 mm.	de Hg. de Presión Parcial (poco menos que a nivel del mar, debido esto a la hiperventilación);
Nitrógeno	= 134 mm.	de Hg. de Presión Parcial (gas inerte);
Oxígeno	= 21 mm.	de Hg. de Presión Parcial (factor variable adverso);
<hr/>		
Total de gases	= 226 mm.	de Hg.

Ahora poseemos la segunda información de importancia para entender el problema de la hipoxia por altura: = durante el ascenso, la presión parcial del oxígeno no cae linealmente sino en forma pseudo-logarítmica. Sobre todo si se toma en cuenta el factor que a continuación comentamos, la hemoglobina.

### 2º) FACTOR COMPORTAMIENTO DE LA HEMOGLOBINA.

La hemoglobina, compuesto contenido en el interior del glóbulo rojo, es la substancia encargada de apoderarse del oxígeno contenido en el aire que se respira, transportarlo por intermedio de los vasos sanguíneos y cederlo en la intimidad de los tejidos. Pero, lo importante es que la hemoglobina tiene una especial afinidad por el oxígeno y es capaz de aprovecharlo y combinarse con él en forma satisfactoria aún en atmósferas cada vez más empobrecidas de oxígeno pero, esta cualidad benéfica y conveniente se derrumba repentinamente cuando se llega a ciertos niveles críticos. La mejor manera de entender este problema es estudiando la figura Nº 1 coloreada y adaptada por nosotros y elaborada según datos promediados y obtenidos de Nieto Boqué, Handbook o Physiology y, Respiration.

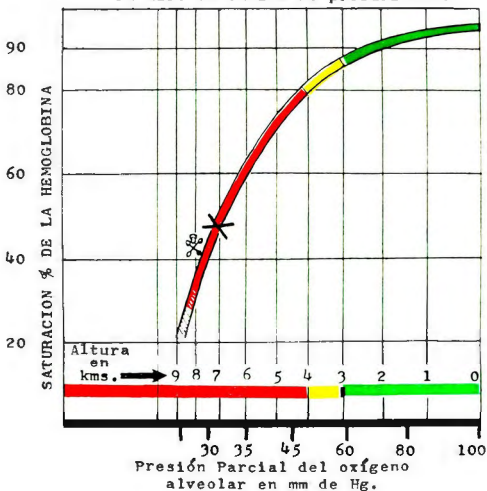
Cuando se respira oxígeno puro (máscara bien ajustada y cuando menos 6 litros por minutos, o mejor, 9 litros) las cosas suceden con la misma secuencia pero a mayor altura y la crisis es más brusca. Véase la figura No. 2; siendo la explicación la misma que para la figura No. 1, aunque con valores distintos.

- El techo absoluto (muerte) de un piloto que respira solamente aire en cabina no presurizada es de unos 23.500 pies (7.000 metros). Para sujeto promedio.
- El techo absoluto de un piloto que respira oxígeno puro en cabina no presurizada es de aproximadamente — 47.000 pies (14.000 metros). Para sujeto promedio.

Estudiando las dos figuras siguientes, cualquier piloto puede buscar, según las circunstancias en que se encuentre, la altura máxima conveniente para volar sin riesgo importante de hipoxia. Claro está que

Fig N° 1

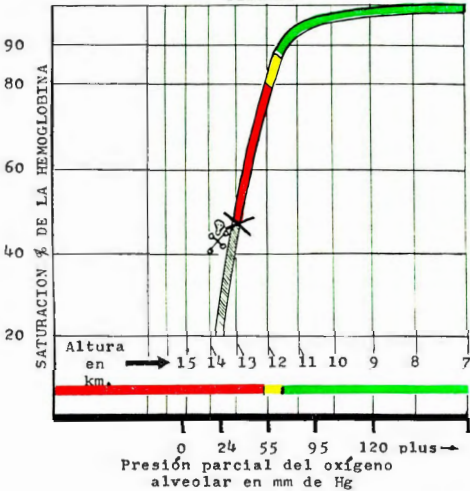
Saturación % de la hemoglobina según la altura y cuando se respira aire en cabina NO presurizada.-



La curva coloreada corresponde a la disociación de la hemoglobina y su saturación con oxígeno (ordenada) según la altura a que se esté volando (abscisa) y cuando se respira aire. La zona verde o de seguridad, alcanza de 0 hasta los 10.000 pies. La zona amarilla, o de precaución, va de los 10.000 hasta los 14.000 pies y es cuando comienzan a aparecer trastornos de conciencia de mediana importancia. La zona roja o de peligro, comienza a los 14.000 pies y podría mantenerse un defectuoso estado de conciencia con marcada pérdida de la auto-crítica hasta los 18.000 pies. A partir de los 18.000 pies el intelecto está seriamente atacado por la hipoxia y en cualquier momento puede aparecer inconciencia y estado de coma. La muerte aparece por los alrededores de los 23.000 pies (Guyton)

Fig N° 2

Saturación % de la hemoglobina según la altura y cuando se respira oxígeno puro en cabina NO presurizada.



AEROCLUB - Febrero - 1968

Cuando se respira oxígeno puro, la tolerancia a la altura es como sigue: Zona verde, de seguridad, desde 0 hasta los 38.000 pies. Zona amarilla, de precaución, desde los 38.000 hasta los 40.000 pies. Zona roja, de peligro, más de 40.000 pies.

éstas son condiciones para el piloto-promedio y en buenas condiciones de salud.

### 3º) FACTOR VISION.

De las funciones del organismo que sufren con la altura, una de las más afectadas es la visión; basta con citar los siguientes datos suministrados por Guyton (2)... "La cantidad de luz que un aviador necesita para ver a su alrededor precisa ser aumentada así":

El 23 % por arriba de 1500 metros.

El 59 % a los 3.000 metros.

El 104 % a los 5.000 metros.

Por ello es recomendable usar oxígeno en vuelos nocturnos al sobrepasar la altura de 5.000 pies (1.500 metros) (2) (3).

### 4º) FACTOR GASES INTESTINALES

A medida que se asciende, la presión barométrica va descendiendo y, a una altura de 5.500 metros (18.000 pies aproximadamente) sólo tenemos  $\frac{1}{2}$  atmósfera (380 mm. de Hg.). Según la Ley de Boyle-Mariotte, los gases alcanzarán entonces el doble del volumen que tenían al nivel del mar (4). Los gases intestinales aumentarán pues, al doble, pudiendo causar cólicos, distensión abdominal con ascenso del músculo diafragma, lo que a su vez empeorará las condiciones respiratorias.

## COMENTARIOS FINALES:

El objeto de esta pequeña recopilación de datos sobre fisiopatología respiratoria es el de alertar a los pilotos de turismo que, como rutina, comienzan a volar ahora por encima de los 10.000 pies, acerca de los posibles peligros que entraña el desconocimiento de algunos factores que le inducirían a un juicio equivocado en el momento en que más lo necesitasen. Digo esto porque la característica más sobresaliente, por peligrosa, es que la hipoxia por altura casi nunca deja sentir un verdadero malestar y, peor aún, muy frecuentemente provoca euforia y pérdida de la autocrítica, (1), (2), (3). Si además de los factores ya estudiados añadimos otros que pongan al sistema nervioso central en condiciones de inferioridad (cantidades muy pequeñas de alcohol en la sangre, cualquier tipo de anemia, trastornos respiratorios por enfisema, bronquitis tabáquica, etc., o por drogas del tipo tranquilizante, barbitúricos, algunos sedantes, etc., etc.,) las cosas pueden agravarse a niveles de vuelo muy inferiores de los anteriormente señalados.

A título de información copio fracciones de la tabla de Nieto Boqué (3) sobre el lapso de conciencia "útil" cuando hay falla completa y brusca del suministro de oxígeno a distintas alturas.

## Tiempo de conciencia "útil" ante la falla del flujo de oxígeno.

Pies de altitud	Desconexión rápida de O <sub>2</sub> en reposo		Desconexión rápida con actividad moderada. Minutos
22.000	10	Minutos	5
25.000	3	"	2
28.000	1,5	"	1
30.000	1,25	"	0,75
35.000	0,75	"	0,50

De ahí la conveniencia de conocer bien el procedimiento de descenso de emergencia.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Handbook of Physiology. Vol. II. Section 3. Chapter 44. pág. 1.101. American Physiological Society Washington 1965.
- (2) GUYTON, Artur C.—"Tratado de Fisiología Médica, 3ª. Edición. Editorial Interamericana S. A. 1967. pág. 606.
- (3) NIETO BOQUE, Miguel.—"Vida Humana y Espacio". Editorial JIMS - Barcelona, España 1965. Pág. 292.
- (4) VAN SICILE, Neil D.—"Modern Airmanship" 2nd. Edition. D. Van Nostrand Co. Inc. New York 1961. Pág. 223.
- (5) ROSSIER, P. H. & BUHLMAN, A. A. & WIESINGER K.—"Respiration Physiologic Principles and their Clinical Application". The C. V. Mosby Co. 1960. St. Louis.