

MANUAL DE BUCEO RECREATIVO SALVAMENTO Y RESCATE

XI EDICION 2003



GONZALO CONCHA

CENTRO DE TECNOLOGÍA Y SEGURIDAD
ACUÁTICA



15 Años

Cursos de buceo y Natación

Instructor: Gonzalo Concha

Instructor  No. 10932

Instructor  No. 8959

Practicas: Club de la Ribera - Aguacatal

E-mail: gonzaloconcha@telesat.com.co

Pagina Web: <http://apnea2000.tripod.com.co>

Teléfonos:

Club: (57 2) 8934186

Residencia: (57 2) 5501200

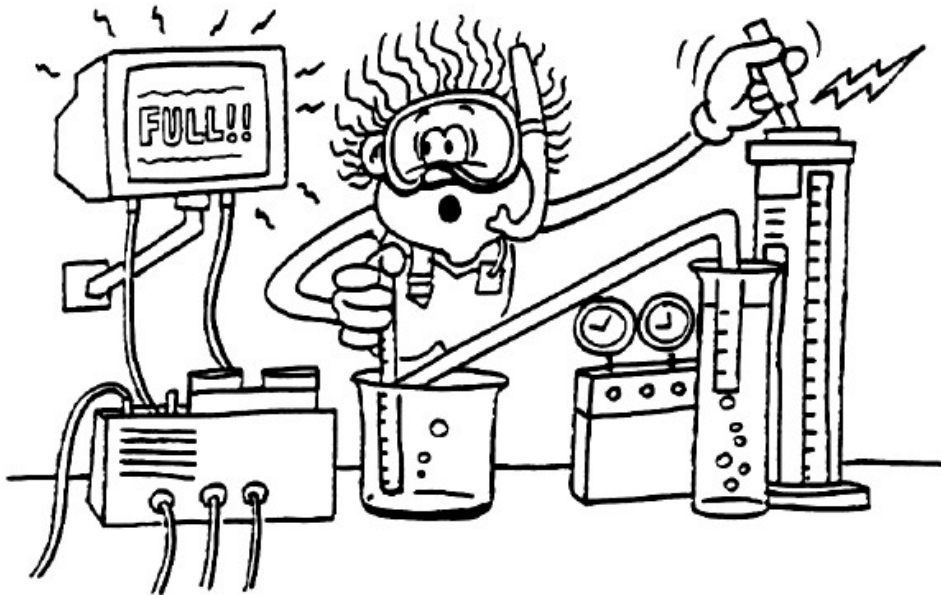
Celular: 315-5123457

Santiago de Cali - Valle del Cauca
Republica de Colombia – Sur América

Capítulo III

Física

III. LA FÍSICA DEL BUCEO



Aunque no lo notemos, vivimos sobre la tierra "sumergidos en un mar de aire". El observador desprevenido no percibe la existencia de la presión atmosférica o presión del aire, ni dispone usualmente de pruebas de que el aire pesa, porque el peso específico del aire es muy pequeño comparado con la mayoría de las sustancias.

III. 1. ATMÓSFERA Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA. AGUA Y PRESIÓN ACUÁTICA

Como el agua y el aire son los dos (2) medios fundamentales donde interactuamos los seres humanos, debemos destacar sus diferencias fundamentales.

El aire es una mezcla gaseosa que contiene 80% de nitrógeno y 20% de oxígeno. Su densidad es de 0.003159 gramos/centímetro cúbico

El agua, está formada exclusivamente por la molécula H₂O. La densidad del agua pura H₂O es de 1.0 g/cm³ y, en el mismo sistema de unidades, el agua de mar tiene una densidad de 1.025 gramos/centímetro cúbico.

III. 2. PESO ESPECÍFICO

El peso específico se define como el peso de la unidad de volumen de una sustancia.

$$\text{PESO ESPECÍFICO} = \frac{\text{PESO DE UN CUERPO}}{\text{VOLUMEN DEL CUERPO}}$$

Pesos específicos relativos de algunos materiales a temperatura ambiente:

Nitrógeno	0,001250	gramos/centímetro cúbico
Oxígeno	0,001424	gramos/centímetro cúbico
Aire Atmosférico	0,003159	gramos/centímetro cúbico

Hielo	0,92	gramos/centímetro cúbico
Gasolina	0,66	gramos/centímetro cúbico
Agua de Ma	1,025	gramos/centímetro cúbico
Bronce	8,8	gramos/centímetro cúbico
Cobre	8,9	gramos/centímetro cúbico
Plomo	11,35	gramos/centímetro cúbico
Mercurio	13,596	gramos/centímetro cúbico

Como el peso varía de un lugar a otro, el peso específico también cambia, pero la densidad no se modifica. Ejemplo: En la superficie de la luna, la densidad del agua es todavía 1 gramo/centímetro cúbico, pero el peso específico sólo vale 0,17gramos/centímetro cúbico, aproximadamente una sexta parte (1/6) de lo que vale en la tierra.

III. 3. RESEÑA HISTÓRICA

Evangelista Torricelli (1608-1647), Físico, Matemático, de nacionalidad italiana, discípulo del Astrónomo también italiano Galileo Galilei, en 1644, para demostrar la existencia de la presión atmosférica tomó un tubo cerrado por un extremo, de una longitud aproximada de un (1) metro y lo llenó con el líquido más pesado que encontró: el mercurio, cuyo peso específico es de 13,596 gramos/centímetro cúbico. Luego llenó una cubeta con el mismo líquido, se ubicó a nivel del mar y colocó en posición invertida el tubo sobre la superficie de la cubeta, observando que la columna de mercurio comenzaba a descender hasta que se detuvo a la altura de los setecientos sesenta (760) milímetros. Fue así como se encontró que la atmósfera tenía un peso equivalente a setecientos sesenta (760) milímetros de mercurio, medición que llevada a otros sistemas de medida equivale a:

1 (Una) Atmósfera	760	Milímetros de Mercurio
1 (Una) Atmósfera	14,7	Libras/pulgada cuadrada
1 (Una) Atmósfera	1,013	Bares
1 (Una) Atmósfera	1,033	Kilogramos/centímetro cuadrado
1 (Una) Atmósfera	10,33	Una columna de agua de mar de 10,33 metros.

Esta última equivalencia se puede comprobar matemáticamente al multiplicar los setenta y seis (76) centímetros de la columna por 13,596 gramos/centímetro cúbico, valor del peso específico del mercurio.

$$13,596 \times 76 = 1,033 \text{ centímetros}$$

$$(10,33 \text{ metros}) = 10,07804 \text{ metros.}$$

III 4. LA PRESIÓN.

La tierra está completamente rodeada por un océano gaseoso llamado atmósfera, cuya altura se estima en unos ochenta (80) a cien (100) kilómetros. Si imaginamos la atmósfera descompuesta en capas horizontales, encontraremos que cualquiera de ellas recibe peso de las superiores y lo transmite, junto con el suyo, a la capa inmediatamente inferior.

La presión recibida de las capas superiores es, por consiguiente, tanto mayor cuanto más baja es la capa considerada. Al final, la superficie terrestre

recibe peso de todas las capas, eso es debido a la presión atmosférica, la cual se propaga en todos los sentidos.

El aire de las capas atmosféricas superiores se halla sometido a una presión muy débil y se encuentra por lo tanto muy dilatado. El aire más comprimido es el que está junto al suelo registrándose su mayor presión a nivel del mar. La presión es igual a una fuerza ejercida por unidad de área.

$$\text{PRESION} = \frac{\text{FUERZA}}{\text{AREA}}$$

III. 4.1. PRESIÓN ABSOLUTA

Para los efectos del buceo, siempre debemos tener en cuenta la presión como la suma de la presión atmosférica más la suma de la presión hidrostática o presión del agua, a este resultado se denomina presión absoluta.

$$\begin{aligned} &+ \text{PRESION ATMOSFERICA} \\ &\quad \underline{\text{PRESION HIDROSTATICA}} \\ &= \text{PRESIÓN ABSOLUTA} \end{aligned}$$

III.4.2. PRESIÓN ATMOSFÉRICA O PRESIÓN BAROMÉTRICA

Se denomina así a la presión que hacen todos los gases que componen la atmósfera sobre el nivel del mar (cero metros).

A la presión de la atmósfera también se le denomina presión barométrica, puesto que la podemos medir con barómetros.

La atmósfera está compuesta por gases como: oxígeno, neón, helio etc. Estos gases son compresibles y ejercen su máximo peso sobre los puntos más bajos de la tierra.

III.4.3. PRESIÓN HIDROSTÁTICA O MANOMÉTRICA

PROFUNDIDAD	VOLUMEN
0.....METROS.....	100 %
10.....METROS.....	50 % 1/2
20.....METROS.....	30 % 1/3
30.....METROS.....	25 % 1/4

Se denomina así a la presión ejercida por la columna de agua, pudiéndose medir con manómetros.

Sí bien los líquidos son prácticamente incompresibles y que cada 10.33 metros hay una nueva atmósfera, es entonces muy importante su estudio y manejo, por cuanto los cambios que se presentan a diez (10) metros no dejan de ser bruscos para una anatomía y fisiología acostumbrada a funcionar a una (1) atmósfera.

Para entender mejor el porqué se dice que cada diez (10) metros de agua son iguales a una (1) atmósfera, basta con preguntarnos : ¿Qué hubiera pasado si Torricelly en lugar de utilizar mercurio, que tiene un peso específico de 13.6 gramos/centímetro cúbico, hubiera utilizado agua de mar, que tiene un peso

específico de 1.025 gramos/centímetro cúbico, con la altura de su columna?.
Sí hacemos la analogía matemática, el resultado nos dará diez (10) metros.

III. 5. LA DENSIDAD

La densidad se define como la masa por unidad de volumen de una sustancia.

$$\text{DENSIDAD} = \frac{\text{MASA DE UN CUERPO}}{\text{VOLUMEN DEL CUERPO}}$$

Sí el agua es ochocientos (800) veces más densa que el aire, bien vale la pena resaltar que la densidad del aire es de un (1) gramo/centímetro cúbico. Aunque son numéricamente iguales al peso específico, el peso puede llegar a variar de un lugar a otro pero la densidad no se modifica.

La gran diferencia de densidad entre el aire y el agua se refleja en puntos como : transmisión de la luz, el sonido y el calor, afectándonos en la forma de desplazarnos dentro del agua, la visión, la audición, la respiración y la sorprendente pérdida de calor, entre otras consecuencias.

III. 6. PRESIÓN Y PORCENTAJE

Así como la densidad del aire a nivel del mar es numéricamente igual al peso específico, el valor de la presión del aire y su porcentaje a nivel del mar dificulta muchas veces su manejo.

PRESION DEL AIRE A NIVEL DEL MAR:

0.20 **Atmósfera de Oxígeno**
0.80 **Atmósfera de Nitrógeno**
1.00 **Presión Atmosférica.**

III. 6.1. PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DE LOS GASES A NIVEL DEL MAR:

20% **Oxígeno**
+ 80% Nitrógeno
100% **Aire Atmosférico**

III.6.2. PRESIÓN DEL AIRE A 4.300 METROS DE ALTURA (435 MMHG)

$$\frac{760 \times 0.20}{435} = 0.11 \text{ **Atmósfera Oxígeno**}$$

+

$$\frac{760 \times 0.80}{435} = 0.45 \text{ **Atmósfera Nitrógeno**}$$

0.56 **Atmósfera Presión Atmosférica a 4.300 Metros**

III. 6.3. PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DE LOS GASES PRESENTES EN EL AIRE A 4.300 METROS DE ALTURA:

- 20% Oxígeno
- + 80% Nitrógeno
- 100% Aire Atmosférico a 4.300 Metros

Como puede analizarse, los porcentajes de participación de los componentes del aire no varían como sí lo hacen las presiones parciales de estos gases, en la medida en la que ascendemos sobre el nivel del mar.

III. 7. LEY DE BOYLE Y MARIOTTE



Para entender mejor el comportamiento del volumen de un gas con respecto a la presión (burbujas que crecen cuando ascienden a la superficie), bien vale la pena analizar la Ley de Boyle y Mariotte.

En 1662, el Físico Químico, de origen irlandés Robert Boyle (1627-1691) y, en 1667 el Físico de origen francés Abbé Edme Mariotte (1620-1684) habían llegado a iguales conclusiones sobre el comportamiento físico del volumen de los gases frente a los cambios de presión.

Posteriormente, estas conclusiones científicas se reconocieron como una nueva Ley de Física, bautizándola con los apellidos de los dos (2) personajes.

La Ley dice:

“Al someter a cambios de presión el volumen de un gas, contenido en un recipiente de paredes elásticas a temperatura constante, el volumen de este gas se comportará inversamente proporcional a la presión a la cual se someta y las densidades serán directamente proporcionales a las presiones respectivas”.

- A Mayor Presión Menor Volumen.
- A Mayor Presión Mayor Densidad

Esta Ley más adelante nos ilustrará sobre las consecuencias de retener el aire comprimido durante un ascenso.

III.8. PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Este geómetra y Físico de origen griego (284-212 A.C.), con su Principio, nos aclaró la razón por la cual todos los cuerpos al estar sumergidos se hacen menos pesados.

Abbé Edme Mariotte (1620-1684) habían llegado a iguales conclusiones sobre el comportamiento físico del volumen de los gases frente a los cambios de presión.

Posteriormente, estas conclusiones científicas se reconocieron como una nueva Ley de Física, bautizándola con los apellidos de los dos (2) personajes.

La Ley dice:

“Al someter a cambios de presión el volumen de un gas, contenido en un recipiente de paredes elásticas a temperatura constante, el volumen de este gas se comportará inversamente proporcional a la presión a la cual se someta y las densidades serán directamente proporcionales a las presiones respectivas”.

- A Mayor Presión Menor Volumen.
- A Mayor Presión Mayor Densidad

Esta Ley más adelante nos ilustrará sobre las consecuencias de retener el aire comprimido durante un ascenso.

III.8. PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Este geómetra y Físico de origen griego (284-212 A.C.), con su Principio, nos aclaró la razón por la cual todos los cuerpos al estar sumergidos se hacen menos pesados.



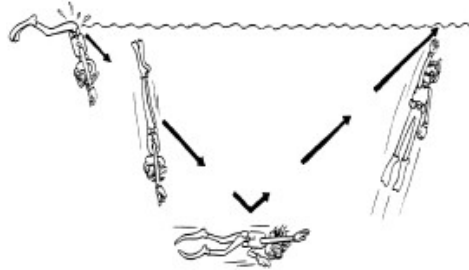
El Principio dice:

“Todo cuerpo en contacto con un fluido total o parcialmente, experimenta una fuerza vertical hacia arriba llamada empuje, igual al peso del volumen del líquido desalojado”

III.8.1 CONSECUENCIAS

- A). Cuando el peso real de un cuerpo es mayor que el empuje, el cuerpo se hunde: **Flotabilidad Negativa**.
- B). Cuando el peso real de un cuerpo es igual al empuje, el cuerpo quedará suspendido a media agua: **Flotabilidad Neutra**.
- C). Cuando el peso real de un cuerpo es menor que el empuje, el cuerpo flotará: **Flotabilidad Positiva**.

Este Principio nos demuestra la razón de la Maniobra Marcante y la importancia del uso del lastre.



III. 9. LEY DE DALTON

John Dalton (1766-1844), Físico, Químico y Naturalista, de origen inglés, considerado como el creador de la Teoría Atómica, estudió la alteración del sentido de los colores (Daltonismo), las propiedades de los vapores, la dilatación de los gases y la presión, siendo esta ley de gran importancia para el buceo.

La Ley dice:

“En una mezcla de gases sometida a presión, cada uno de los gases que componen la mezcla se comportará como si estuviera sólo, haciendo su propia presión (presión parcial) y, la suma de estas presiones será igual a la presión absoluta a la que hemos sometido la mezcla”.

Profundidad	Presión Parcial Oxígeno <i>Pp O2</i>	Presión Parcial Nitrógeno <i>Pp N2</i>
0 Metros	0.2	0.81 = Atm.
10 Metros	0.4	1.62 = Atm.
20 Metros	0.6	2.43 = Atm.

Vale la pena diferenciar las presiones parciales de los gases, expresadas en atmósferas y, los porcentajes con los que éstos participan. Los porcentajes siempre serán los mismos, mientras que las presiones se aumentarán con la profundidad y disminuirán con la altura.

Esta Ley nos explica cómo el responsable de la hipoxia es sólo la baja presión parcial del oxígeno, mientras que el resultado de los Bends es responsabilidad de la sobresaturación de nitrógeno.

III. 10. LEY DE HENRY

William Henry (1774-1836), Físico, de origen inglés.

La Ley dice:

“Cuando una mezcla de gases como el aire se pone en contacto con un líquido como lo es la sangre (intercambio gaseoso a nivel alveolar), los gases que componen la mezcla se difundirán en el líquido hasta el punto de saturación, el que será proporcional a la presión del gas sobre la superficie del líquido, cuando la temperatura permanece constante”.

Esta Ley de Saturación nos aclara cómo a treinta (30) metros de profundidad, el nitrógeno (N₂) que a esa profundidad ejerce una presión parcial de 3.2 atmósferas (0.80X4), satura el torrente circulatorio a rangos de alta toxicidad, provocando la borrachera de las profundidades o narcosis.

III. 11. LUZ, VISIÓN Y SONIDO.

Para nuestro caso, este tema es de gran interés por ser la luz, la visión y el sonido partes fundamentales en nuestros propósitos subacuáticos.

En 1676 el Astrónomo, de origen danés, Ole Christensen Roemer pudo medir la velocidad de la luz en el aire y encontró el valor de 225.000 kilómetros/segundo, medición para la época muy aproximada.

En 1865, el Físico, de origen británico, James Clerk Maxwell, unificó las teorías en torno a la velocidad de la luz.

Para iniciar recordemos la velocidad de la luz, que en la atmósfera es de trescientos mil (300.000) kilómetros/segundo y al pasar a un medio de menor transparencia como lo es el agua, su velocidad se reduce a doscientos veinticinco mil (225.000) kilómetros/segundo.

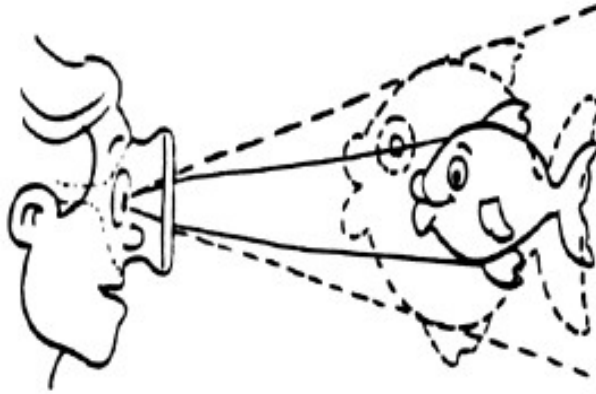
La dificultad de la luz solar al pasar al agua no es sólo debido a su velocidad, puesto que existen cuatro (4) fenómenos físicos que hacen crítica esta penetración.

III. 11. 1 REFLEXIÓN.

Se presenta cuando el rayo de luz encuentra en el camino de su propagación un obstáculo y, al chocar contra éste, el rayo rebota.

Este fenómeno es el causante de que nosotros observemos las superficies tranquilas del agua como un espejo en días soleados.

III. 11. 2. REFRACCIÓN.



Es el cambio brusco de dirección que experimenta un rayo luminoso al atravesar la superficie de separación de dos (2) medios transparentes.

Teniendo en cuenta que la velocidad de la luz en el agua (225.000 km/seg) es menor que en el aire (300.000 km/seg), el índice de refracción del agua es mayor que la unidad (1.33).

Por consiguiente, cuando la luz solar incide en el agua se refracta, formando un ángulo de refracción menor que el de incidencia; cuando sale del agua sucede lo contrario.

Este fenómeno de refracción se manifiesta en el buceo, cuando los rayos de luz provenientes del objeto se refractan al pasar del agua al aire de la careta, haciéndonos ver los objetos un 25% más cerca y un 25% más grandes de lo que realmente están y son. A estas nuevas distancias y tamaños, para nuestro caso las denominaremos Aparentes o Virtuales.

III. 11.3. ABSORCIÓN

Es el fenómeno mediante el cual la energía lumínica del sol se va perdiendo progresivamente al penetrar en el agua, transformándose en energía calórica; las ondas luminosas de mayor longitud (que también son las de menor energía) penetran escasamente hasta los diez (10) metros.

El orden en el que desaparecen los colores con la profundidad es el siguiente: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta.

Por este fenómeno físico es que observamos a treinta (30) metros de profundidad que la sangre de un pez herido se observa de color verde.

III. 11.4. DIFUSIÓN.

Este fenómeno está relacionado con la turbidez del agua, donde las partículas en suspensión (animal, vegetal y mineral) reflejan la luz en toda dirección haciendo que se pierda la nitidez de los objetos observados.

Este fenómeno físico se puede observar en la diferencia de visibilidad de las aguas de un lago natural y uno artificial.

III. 12. LOS SONIDOS BAJO EL AGUA.

El mundo subacuático, lejos de ser silencioso se encuentra lleno de sonidos misteriosos, interesantes y apasionantes, como en el caso del canto de las ballenas.



La propagación de las ondas sonoras que se genera a una velocidad de trescientos treinta (330) metros/segundo en el aire, alcanza en el agua los mil quinientos (1500) metros/segundo y esto, unido a los cambios en la presión hidrostática altera la fisiología normal de la percepción sonora. Los sonidos se perciben con una orientación mal definida, siendo muy difícil determinar la dirección de donde se originan.

En la práctica y salvo el uso de equipos especiales y sofisticados, únicamente utilizamos la comunicación por el sonido para llamar la atención de un compañero o para entendernos mediante consignas o claves acordadas previamente.

Este principio físico refuerza la importancia de ascender a la superficie con una mano arriba, mirando el espejo y girando a 360 grados, particularmente para evitar ser arrollado por una embarcación de la que estamos escuchando su motor en todas las direcciones.

III.13. LEY DE JACQUES CHARLES /JOSEPH GAY - LUSSAC.

Jacques Charles Alexandre Cesar (1764 - 1823), Físico, de origen francés.

Dice la ley:

“Un gas a presión constante variará su volumen directamente proporcional a la temperatura; es decir, a mayor temperatura mayor volumen.

En un gas contenido en un volumen constante (los tanques), la presión variará directamente proporcional a la temperatura absoluta; o sea, a mayor temperatura, mayor presión.

Cuando el gas está contenido en un recipiente de paredes rígidas, sí aumentamos la temperatura aumentará la presión, pero sí el recipiente es de paredes elásticas, al aumentar la temperatura aumentará el volumen”.

La presión en el interior de un tanque expuesto al calor se incrementa cerca de cinco (5) p.s.i. por cada grado Fahrenheit.

Esta Ley nos refuerza la importancia de que el llenado de los tanques se debe realizar dentro de un recipiente de agua fresca y que en igual sentido los tanques con su máxima presión de llenado no deben ser expuestos al sol, así como los botes inflables no deben ser llenados en las horas de la mañana a su máxima presión.

III. 14. LEY DE PASCAL (PARADOJA HIDROSTÁTICA).



Blaise Pascal (1623 - 1662), notable Filósofo, Físico y Geómetra, de origen francés, para demostrar que la presión dependía únicamente de la altura y que la fuerza debido a la presión es la misma en todas las direcciones en cualesquier punto del líquido, tomó un barril, lo llenó de agua, luego le modificó la altura sobreponiéndole un largo tubo, al que igualmente llenó de agua, incrementando así la presión que soportaban las paredes del barril, hasta que éste se rompió. Aquí se demostró, que la presión hidrostática depende exclusivamente de la altura.

La Ley dice:

“Toda variación de presión en un punto de un líquido en equilibrio se transmite íntegramente a todos los otros puntos del líquido”.

Este principio físico es importante en el buceo en cavernas, en las que muchas veces se encuentran capas de aire, las que a pesar de estar supuestamente en su techo, la presión de este gas será igual a la presión de la altura de la columna libre de agua.

III. 15. PASCAL Y EL BARÓMETRO.

Cuando Pascal se enteró del descubrimiento de Evangelista Torricelly, supuso que sí la columna de mercurio se debía a la presión atmosférica, al buscar mayores alturas esta debería disminuir.

Así fue como en la iglesia de Sainte-Jacques de la Boucherie en París, cuya torres mide cincuenta (50) metros, Pascal encontró que la columna descendió cinco (5) milímetros, determinando que cada diez (10) metros de altura, la columna de mercurio descendería un (1) milímetro.

Estas teorías se cumplen más o menos bien en alturas hasta seiscientos (600) metros, puesto que la densidad del aire no varía proporcionalmente con la altura (los gases son compresibles) haciendo que su disminución no sea lineal. Por este Principio físico es que toda inmersión que se realice con aire comprimido en lugares con alturas superiores a trescientos (300) metros sobre el nivel del mar, demanda un cálculo especial.