



## Técnico

*El presente libro está dirigido a todos aquellos buceadores que desean iniciarse en el Buceo Técnico para realizar lo que hasta ahora era complicado y arriesgado de manera fácil y, sobre todo, segura.*

*Se trata de superar los límites pero con todas las garantías.*

*Este libro es el texto oficial de la **Especialidad de Buceo con Nitrox Técnico** recogida en el Plan de Formación de la **Federación Española de Actividades Subacuáticas (F.E.D.A.S.)**. Ha sido diseñada por la **Escuela Nacional de Buceo Deportivo (E.N.B.A.D)** de acuerdo con los estándares de las especialidades equivalentes de **Nitrox Avanzado y Extended Range** de la **Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas (C.M.A.S.)**.*

manual del alumno

# Nitrox

## Técnico

Manual realizado  
por la  
**Federación  
Española de  
Actividades  
Subacuáticas  
(F.E.D.A.S.).**  
Sistema de  
enseñanza  
homologado por la  
**Confederación  
Mundial de  
Actividades  
Subacuáticas  
(C.M.A.S.).**







***1ª edición, 2008***

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del "Copyright", bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

© **2008 FEDAS**, Federación Española de Actividades Subacuáticas

Santaló, 15, 3º - 08021 BARCELONA

Impreso en España - Printed in Spain

Imprime:

**Depósito legal:**

**ISBN:**

Documentación y textos: José María Gómez Olleta

*Instructor 3-E nivel 6, FEDAS.*

Portada: Quique Sánchez

Maquetación: Antonio Arias

Diseño Maqueta: Quique Sánchez, Antonio Arias

Gráficos: Quique Sánchez

Ilustraciones: Mamen Sánchez

Foto de portada:

Fotografías: Sergio Campillo Recio, Juan Diego Alcazar, José María Gómez Olleta.

Oscar Gonzalo Vicente, Francisco José Martínez González.

Coordinación: E.N.B.A.D. (Escuela Nacional de Buceo Deportivo)

Han colaborado en su revisión: Vicente Damián de las Heras, Alfonso Pardo Juez, Daniel Santamaría y Joan Ramón Guinjoan Esteban (Instructores FEDAS)

Con la Colaboración especial del Centro de Buceo Rivemar.

# Nitrox Técnico

# PROLOGO

Con este curso de la especialidad de Nitrox Técnico, la Federación Española de Actividades Subacuáticas (FEDAS) recoge dentro de su plan de formación una especialidad más de Buceo Técnico.

La decisión de poner en marcha esta especialidad no responde a otra razón que no sea la necesidad que tienen algunos buceadores de seguir formándose para realizar un determinado tipo de inmersiones con la máxima seguridad.

Esas inmersiones que en el manual se denominan “de alto riesgo” lo son cuando se afrontan sin los conocimientos y los medios que en este curso se proponen. Hasta ahora algunos buceadores no se atrevían a realizarlas o, lo que es peor, lo hacían de forma arriesgada. Todos conocemos algún pecio que se encuentra a más de 40 metros y que es visitado por un número considerable de buceadores deportivos que irremediamente al ascender entran en descompresión.

Si hoy nos planteamos cambiar esta situación es, también, porque contamos con la experiencia de algunos buceadores que para realizar esas inmersiones profundas o en espacios confinados se han preocupado de su seguridad y han establecido un conjunto de técnicas y procedimientos para garantizarla. Esto es lo que queremos transmitir en este curso.

No se trata, por tanto, de inducir a que todos los buceadores deportivos realicen este tipo de inmersiones con descompresión. Se trata de que aquellos buceadores que cuentan con una formación y experiencia contrastada y que han decidido realizar este tipo de inmersión, completen su formación con aquellas técnicas y procedimientos que necesitan.

Sabemos que los esfuerzos por conseguir la seguridad en las inmersiones profundas no son suficientes si no se incorpora la utilización de mezclas respiratorias como el Trimix. Por eso el siguiente paso es la especialidad de Buceo con Trimix Normóxico. Pero también sabemos de las dificultades que existen en nuestro País para poder bucear con esas mezclas. Esperemos que esas dificultades se resuelvan pronto y el buceo con Trimix se generalice. Mientras tanto el curso de Buceo con Nitrox Técnico estamos seguros que contribuirá al incremento de la seguridad de muchos buceadores.

*Xavier Duran Soler*

**Presidente de la Federación Española  
de Actividades Subacuáticas**

# Índice

## INTRODUCCIÓN

### **Un curso de Buceo Técnico**

El curso de buceo de Nitrox Técnico.....	8
¿Cuál es el objetivo de este curso?.....	8
Pero... ¿existe algún límite que no debemos superar? .....	9
La seguridad en las inmersiones con descompresión .....	10
La titulación de Buceador de Nitrox Técnico.....	11
Las partes del curso .....	12
Lo que necesitas para comenzar .....	12

## CAPÍTULO 1

### **Elaboración de los planes de ascenso**

Elaboración de los planes de ascenso.....	16
Los cambios que se introducen en el Buceo Técnico.....	16
La utilidad de las mezclas de aire enriquecido con oxígeno (EAN) en la descompresión: La ventana de oxígeno.....	17
¿Es peligroso la utilización de mezclas oxigenadas hasta el 100% durante la descompresión? .....	19
Algo más sobre la hiperoxia de altas presiones.....	20
Otro cambio: La introducción de paradas de descompresión profundas .....	22
El método Pyle.....	23
El final de la descompresión y el ascenso a superficie.....	25
Recordemos algunas cuestiones sobre la enfermedad descompresiva.....	26
La elaboración de los planes de ascenso .....	28
Utilizando un programa PC .....	29
Utilizando un ordenador de Buceo.....	32
Utilizando Tablas .....	33

## CAPÍTULO 2

### **Precauciones especiales en una inmersión de alto riesgo**

Las inmersiones de alto riesgo.....	46
-------------------------------------	----



Previsión de gases .....	50
<i>Cálculo de las cantidades mínimas de los gases que debemos llevar</i> .....	53
<i>Sobre los coeficientes de seguridad</i> .....	56
<i>Qué equipo necesitamos para transportar ese gas</i> .....	60
<i>La gestión de los gases durante la inmersión</i> .....	61
Mejoras y adaptaciones del equipo .....	64
<i>No nos puede faltar</i> .....	65
<i>Las botellas de etapa</i> .....	66
<i>Autosuficiencia</i> .....	68
<i>La configuración del equipo</i> .....	68
Otras complicaciones que hay que prevenir.....	71
<i>Intoxicación por CO2</i> .....	71
<i>Para evitar la hipotermia</i> .....	73
<i>Esa mala consejera que nos encontramos en el fondo: la narcosis</i> .....	74
<i>Recordemos sus causas</i> .....	75
<i>¿Que podemos hacer para evitar la narcosis?</i> .....	77
Control de la inmersión y autocontrol .....	78
<i>La responsabilidad de los buceadores</i> .....	78
<i>La angustia, otra mala compañera</i> .....	79
La descompresión.....	80
<i>Cómo hacer DECO</i> .....	80
<i>Dónde hacerlas</i> .....	81
<i>El apoyo logístico en superficie</i> .....	82
<i>Descompresiones omitidas</i> .....	83

## APENDICES

### Para saber más

Apéndice 1 .....	90
<i>Para saber más sobre la intoxicación de oxígeno (efecto Lorrain Smith)</i>	
Apéndice 2 .....	92
<i>Para saber más sobre los modelos de cálculo de las descompresiones</i>	
Apéndice 3 .....	102
<i>La respiración y el consumo</i>	
Apéndice 4.....	104
<i>Ejemplo de previsión y gestión de consumos en el caso de una inmersión con retorno obligado</i>	

# *Introducción*

*Un curso de Buceo Técnico...*

## *Vamos a conocer*

- 1. El objetivo de este curso*
- 2. Los límites del Nitrox Técnico*
- 3. La seguridad en las inmersiones con descompresión*
- 4. La titulación de Buceador de Nitrox Técnico*
- 5. Las partes del curso*

### *¿Cuál es el objetivo de este curso?*

Hasta ahora, debido a tu titulación como buceador nitrox, podías utilizar en tus inmersiones mezclas de aire enriquecido con porcentajes de oxígeno de hasta un 40 % como máximo y cuando superes este curso, podrás utilizar mezclas con concentraciones de hasta el 100 % de oxígeno. Las mezclas con una concentración superior al 40 % tienen interés no como mezclas de fondo sino como mezclas de descompresión, por lo tanto, para lo que te vas a preparar en realidad en este curso es para utilizar una mezcla mejor para tus descompresiones.

Desde tu curso de B2E has recibido información sobre cómo se deben realizar las inmersiones con descompresión, que medios se necesitan y como se planifican pero siempre los instructores hemos insistido en que no son inmersiones recomendables en el buceo deportivo y que, a pesar de que sepas cómo realizarlas, se deben evitar.

¿Qué ha pasado para que hoy nos centremos en un curso cuyo objetivo es la realización de esas inmersiones “desaconsejadas”?

Seguramente que el ánimo de superación que tienes como deportista de permanecer más tiempo bajo el agua, explorar nuevos fondos o visitar un pecio a más de 40 metros de profundidad se ha combinado con la formación y experiencia adquiridas y te han empujado para que des un paso más en tu preparación e introducirte en el buceo técnico.

Al finalizar el curso vas a plantearte inmersiones que por sus condiciones objetivas (profundidad, tiempo de inmersión, visibilidad, frío, corrientes, estado de la mar...) son de las no aconsejables hasta ahora pero si aplicas en todos esos casos los conocimientos que vas a adquirir en este curso, serás capaz de reducir los riesgos al mínimo, tanto con una buena planificación estableciendo las condiciones, medios y previsiones imprescindibles, como con tu correcta actuación durante la inmersión.

En el buceo técnico no se trata de superar los límites de profundidad o permanencia para batir un récord, convertirse en "súper buceadores" o hacer demostraciones de valor. El buceo técnico no es una aventura en el sentido de acometer algo con un final incierto. De lo que se trata con el buceo técnico es de transformar lo que parecía difícil y arriesgado en algo fácil y, sobre todo, seguro; superar esos límites con garantías.

Conseguirlo no es sencillo y requiere que vayas aumentando tus conocimientos, perfeccionando tus habilidades, manteniendo una condición física apropiada, eligiendo bien los materiales que necesitas y siendo consciente de que aunque el riesgo sea menor el peligro siempre existe. De eso trata este curso.



*Figura 1.- Las mezclas de aire enriquecido con porcentajes superiores al 40 % de oxígeno son idóneas para las descompresiones.*

### ***Pero... ¿existe algún límite que no debemos superar?***

Sí, utilizando aire como mezcla de fondo el límite está en los 54 m de profundidad. Allí se alcanza al valor de 1,4 atm de  $P_p(O_2)$  que como ya sabemos, es el máximo valor al que debemos exponernos en el fondo para reducir, razonablemente, la probabilidad de sufrir la hiperoxia de las altas presiones (HAP).

Existe otro límite que debemos tener en cuenta: Si superamos los 40 m de profundidad respirando aire los efectos de la narcosis empiezan a aparecer casi siempre en mayor o menor medida. Incluso puede que aparezcan antes: a partir de los 30 m.

No superar los 40 m de profundidad tiene otra ventaja y es que como estudiamos en el curso de Nitrox, en las inmersiones a menos de 40 m podemos llevar como mezcla de fondo aire enriquecido, por ejemplo EAN28, que reduce tanto la probabilidad de sufrir narcosis como los tiempos de descompresión.

Lo ideal sería no superar los 40 m, sin embargo, en algunas ocasiones no elegimos nosotros la profundidad; elegimos, por ejemplo, explorar un pecio y si ese pecio se encuentra a 52 m de profundidad, entonces, o nos olvidamos de él o nos preparamos para superar la barrera de los 40 m de la forma más segura.

La utilización de una mezcla respiratoria que produzca menos narcosis sustituyendo parte del nitrógeno por el helio, es decir, utilizar Timix es la mejor solución.

Hasta que realices el curso de Trimix y puedas utilizar esa mezcla, buceando con aire tienes que vigilar sistemáticamente tu estado de narcosis.

Ya sabemos que no es posible predecir la narcosis ni el grado de intensidad con que se va a producir cuando aparece, sólo podemos vigilar para detectarla a tiempo.

## **No debemos olvidar**

1. Con aire como mezcla de fondo no se deben superar los 54 m de profundidad.
2. Utilizando cualquier otra mezcla de fondo no se debe superar la  $Pp(O_2)$  de 1,4 atm.
3. Si superamos los 40 m de profundidad utilizando aire como mezcla de fondo debemos vigilar constantemente nuestro estado de narcosis y el de nuestro compañero.

### **La seguridad en las inmersiones con descompresión**

En una inmersión en la que se ha rebasado ampliamente la curva de seguridad y no desaparece la parada de descompresión de nuestro ordenador mientras que subimos, estamos atrapados bajo el agua pues existe un techo virtual que no podemos superar. Nuestra seguridad depende de que seamos capaces de finalizar durante el ascenso las paradas necesarias para evitar que la sobresaturación de nuestros tejidos sea crítica y suframos un accidente de descompresión.



Figura 2.- Viajar con las mezclas de DECO en otras botellas es una garantía para poder usarlas.

Prevenir cualquier incidente que impida finalizar la descompresión es nuestro más importante objetivo, por consiguiente debemos comprobar que:

1. El plan de ascenso elegido sea el apropiado. No debemos dudar en elegir un plan de ascenso más conservador si con ello aumentamos razonablemente la seguridad.
2. Tenemos elaborado otro plan de ascenso: el "B", por si el tiempo o la profundidad previstos se ven superados involuntariamente a lo largo de la inmersión.
3. Disponemos de la cantidad de gas necesario para realizar el ascenso con el plan A o con el plan B y también en una situación de emergencia (fig.2).
4. El lugar y la forma en que vamos a realizar la descompresión es confortable y que las inclemencias del estado de la mar no pueden obligarnos a interrumpirla.



5. Si se produce cualquier incidente que pone en peligro la finalización de la descompresión disponemos de un protocolo de emergencias que nos sugiere la forma de actuación.
6. Hemos reducido al mínimo mediante la conservación, mantenimiento y revisión de los materiales de nuestro equipo las posibilidades de que su mal funcionamiento nos impida terminar la descompresión.
7. Las parejas o equipos de buceados conocen completamente toda la planificación y se compenetran perfectamente. Garantizar la seguridad no sólo consiste en permanecer atentos a nuestro compañero de inmersión para ayudarlo si lo necesita, sino en ser autosuficientes para no tener que requerir su ayuda.
8. Nos encontramos en el estado de salud y con la forma física apropiados para la inmersión que acometemos. Y de igual manera nos encontramos en el estado psíquico, con verdaderas ganas de bucear y sin un excesivo grado de preocupación o angustia.

Y además, disponemos de un plan de evacuación eficaz para el caso de que ocurra un accidente y de todos los medios que en él se enumeran.

***No partimos de cero, eres un buceador con importantes conocimientos y experiencia, por eso a lo largo de este curso vas a completar tu formación para que puedas realizar inmersiones con descompresión comprobando que se cumplen los requisitos enumerados y, si no es así, tomes la decisión de NO realizar la inmersión.***

### **La titulación de Buceador de Nitrox Técnico...**

Este es un curso organizado por un Club o un Centro de Buceo perteneciente a una Federación Territorial de la Federación Española de Actividades Subacuáticas (FEDAS) y, por consiguiente, los objetivos, metodología y materiales son los diseñados y aprobados por la Escuela Nacional de Buceo Autónomo Deportivo.



Figura 3



Figura 4

El título obtenido mediante este curso, no sólo es reconocido en España, sino que, al pertenecer la FEDAS (fig.3) junto a otras Federaciones de otros países a la CMAS (Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas) (fig.4) es reconocido en el ámbito internacional y permite acreditarse a los buceadores de nitrox técnico de la FEDAS como tales en cualquier lugar del extranjero. En este sentido, el título de Buceador de Nitrox Técnico **es equivalente a los establecidos en los estándares de la CMAS como Nitrox Avanzado y Extended Range.**

# No debemos olvidar

1. Las inmersiones en grutas, cuevas, pecios o bajo hielo son inmersiones que requieren unas técnicas y equipos especiales, por lo que el buceador que las realice debe tener una formación especial que no se adquiere en este curso.
2. Si deseas realizar este tipo de inmersiones debes realizar los cursos de formación que existen en FEDAS al respecto. Si tienes alguna duda pregúntale a tu instructor.
3. Aunque con este curso adquieras la formación necesaria para bucear a más de 40 m con aire, la forma más segura de hacerlo es respirando Trimix. La FEDAS te recomienda que una vez que termines este curso comiences el curso de la especialidad de Trimix Normóxico para que puedas utilizarlo e incrementar tu seguridad en el buceo.

## Las partes del curso

Durante las clases teóricas de este curso aprenderás a elaborar los planes de ascenso y a preparar la inmersión determinando y seleccionando los medios necesarios. Las experiencias acumuladas en el buceo técnico (buceo profundo, espeleobuceo. etc.) han introducido algunos matices que que es necesario que conozcas para completar tus conocimientos.

Por otro lado, la incorporación a tu equipo estándar de buceador de las botellas de etapa y de otros materiales que incrementan tu seguridad (luces, carretes...) (fig.5) exige que te acostumbres a llevarlos y a manipularlos correctamente. En esto consistirá la primera parte de las prácticas pero en la segunda, junto a tu instructor, realizarás las primeras inmersiones en las que, además de vigilar tu estado de narcosis, pondrás en práctica todo lo aprendido.

## Lo que necesitas para comenzar

Para comenzar el curso debes tener tu **licencia federativa** vigente. Ya sabes que esta acreditación de deportista federado te da derecho, en el caso de sufrir una lesión o un accidente deportivo, a la



Figura 5.- Cuando los componentes del equipo del buceador aumentan también tiene que aumentar la destreza para utilizarlos.

asistencia médica, indemnizaciones y al abono de los gastos ocasionados. Y, también, debes saber que la FEDAS tiene suscrita una póliza de seguros que cubre la responsabilidad civil en la práctica del buceo de todos sus federados.

Necesitas, también, haber pasado satisfactoriamente en los últimos doce meses un **reconocimiento médico** que esté registrado en tu pasaporte de buceo. Aunque, te recomendamos que no dejes pasar más de seis meses para hacerlo.

Si tienes más de cuarenta años, debido al mayor riesgo que existe de sufrir una enfermedad coronaria, es conveniente que el reconocimiento incluya un electrocardiograma con prueba de esfuerzo y control de la presión arterial.

Este tipo de reconocimiento se debe realizar también si se tienen factores de riesgo significativos como una diabetes moderada, hipertensión o el colesterol alto.

## **Para** *saber más...*

- Si vas a bucear en el extranjero y quieres que las prestaciones de los seguros sigan siendo válidas, tienes que ponerte en contacto con tu Federación Autonómica para que las active para ti fuera de España en las fechas de tu viaje.
- En el caso de una lesión o accidente debes ponerte en contacto a través de tu Club con la Federación Territorial. Tendrás que informarles de lo que ha sucedido, las lesiones que se han producido, lugar, fecha y hora del suceso, y del resto de la información que tú creas oportuna.
- Como las prestaciones del seguro pueden cambiar consulta con tu instructor, club o con la secretaría de tu federación territorial para conocer las condiciones vigentes.

En general, para bucear es conveniente estar en la mejor forma posible, mantener la presión arterial normal, controlar la obesidad (procurando que nuestro peso no supere en un 20% el peso estándar que por edad, altura y sexo deberíamos tener), hacer ejercicio regularmente y llevar una dieta equilibrada y baja en grasas.

**Vigila tu forma física** durante el curso preparándote sobre todo para las sesiones prácticas como lo debes hacer ante cada inmersión.

Respecto al **equipo de buceo** verás en el capítulo 2 lo que se necesita y sus características pero consulta con tu instructor. Él te dirá lo que vas a necesitar y revisará contigo tu equipo actual por si tienes que sustituir o adquirir algún componente.





# Capítulo 1



## *Elaboración de los planes de ascenso*

*Con mezclas que contengan más del 40% de Oxígeno,  
realizando paradas profundas, elaborando  
el "run time" de los planes A y B...*

## Vamos a conocer

1. *Cómo aceleran las mezclas oxigenadas la descompresión*
3. *Cuáles son las razones que justifican la realización de las paradas profundas en la descompresión*
3. *Cómo utilizar un programa informático, una tabla de descompresión con mezclas oxigenadas o un ordenador de buceo que permita utilizar varias mezclas para elaborar el plan de ascenso*
4. *Cómo realizar el final de la descompresión y el ascenso a superficie*

### Los cambios que se introducen en el Buceo Técnico

Desde que se comenzó a utilizar mezclas diferentes al aire en el buceo deportivo (en el militar ya se hacía antes), hace casi treinta años, se han llevado a cabo infinidad de inmersiones con descompresión por parte de los que hoy llamamos buceadores técnicos. Esas inmersiones profundas, en cuevas, bajo el hielo, etc. han producido una acumulación de experiencias que, al ponerlas en común, se han materializado en unos procedimientos para elaborar los planes de ascenso que la mayoría de los buceadores técnicos siguen.

Dentro de estos procedimientos para la elaboración de los planes de ascenso utilizando mezclas enriquecidas con oxígeno se encuentran:

- A. La elaboración del plan de ascenso utilizando tablas diseñadas para unas mezclas enriquecidas con oxígeno concretas que se van a utilizar en la descompresión como, por ejemplo, las MT92 que están diseñadas para la utilización de oxígeno en la última parada de descompresión.
- B. La elaboración del plan de ascenso con un software informático. Se basan dichos programas en modelos de descompresión basados en la teoría de los compartimentos de Haldane (en concreto en el modelo ZH-L16 de Bühlmann) o en nuevos modelos que tienen en cuenta el papel de las microburbujas. La ventaja que nos ofrecen estos programas es que con ellos podemos planificar las inmersiones con los datos concretos de la inmersión y calcular la descompresión (DECO) según las mezclas de gases de que dispongamos.

C. La utilización de ordenadores que permiten cuando cambiamos de mezcla respiratoria en la inmersión, introducir ese dato para cambiar los cálculos del plan de ascenso.

### La utilidad de las mezclas de aire enriquecido con oxígeno (EAN) en la descompresión: La ventana de oxígeno.

La utilidad de estas mezclas consiste en que con ellas disminuye el tiempo de descompresión lo que supone para el buceador mayor seguridad, mayor comodidad y menor cantidad de gas necesario.

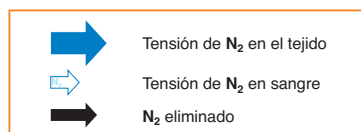
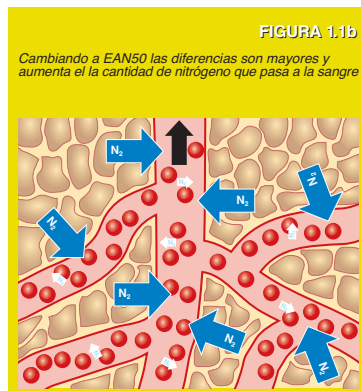
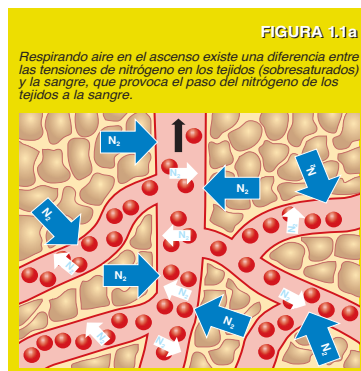
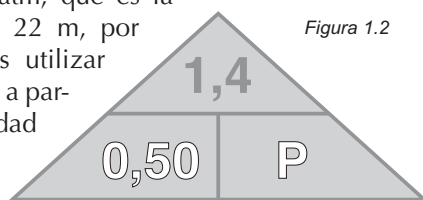
Al ascender la tensión en la sangre del gas inerte, el nitrógeno, **se hace mucho menor** que la tensión de ese gas en el resto de los tejidos del buceador y se produce un paso muy rápido del nitrógeno al torrente sanguíneo y a los pulmones.

El nitrógeno pasa siempre del lugar de mayor al de menor tensión y con una velocidad que es proporcional a esa diferencia de tensiones. Cuanto más pequeña sea la tensión del nitrógeno en la sangre más cantidad de nitrógeno por unidad de tiempo cederán los tejidos al torrente sanguíneo, cantidad que será transportada a los pulmones siendo eliminado el nitrógeno mediante la respiración mucho antes (Fig. 1.1).

Para que se reduzca la tensión del nitrógeno en la sangre durante el ascenso lo que tenemos que hacer es sustituir la mezcla de fondo por una mezcla enriquecida con oxígeno, es decir, con menos nitrógeno. Entonces, la reducción de la presión parcial de nitrógeno en los pulmones provoca su paso desde la sangre al aire de los pulmones y como consecuencia de lo cual cae la tensión de nitrógeno en la sangre.

Veamos un ejemplo. En una inmersión vamos a utilizar EAN50 en la DECO. Primero calculemos, aplicando la Ley de Dalton, cuál es su profundidad operativa máxima (POM) para una  $P_p(O_2)$  de 1,6 atm y, de esta forma, saber desde que profundidades podemos utilizar esta mezcla.

Recordemos la regla nemotécnica del triángulo (Fig. 1.2) para calcular la presión externa. La presión absoluta será  $1,6/0,50 = 3,2$  atm, que es la presión que existe a 22 m, por tanto, sólo podremos utilizar esa mezcla de EAN50 a partir de esa profundidad hacia arriba.



La presión parcial de nitrógeno sería:  $0,5 \times 3,2 = 1,6$  atm (lógicamente como la de oxígeno al ser la mezcla al 50 %) y la profundidad equivalente con aire (PEA) a la que estaríamos respirando con una  $P_p(N_2)$  de 1,6 sería  $1,6/0,79 = 2,02$  atm, redondeando, a 10 m de profundidad. O sea, si respiramos el EAN50 a 22 m eliminamos nitrógeno como si estuviéramos a 10m pero **con la seguridad de que lo hacemos a una presión ambiente de 3,2 atm sobre el organismo del buceador y, por tanto, sobre cualquier burbuja que en él se forme.**

**¿Qué mezcla será la mejor?** Pues aquella que tenga la menor  $P_p(N_2)$  y que provoque la menor tensión de nitrógeno en la sangre arterial. Es decir, la que tenga mayor  $P_p(O_2)$ , recordemos que la suma de las dos presiones parciales es la presión absoluta. Y para conseguir una mayor  $P_p(O_2)$  podemos aumentar la presión externa y/o la concentración de oxígeno.



Figura 1.3 Regulador en servicio de oxígeno preparado para utilizarlo.

Aumentar la presión externa nos conducirá a utilizar la mezcla lo más profundo posible con la limitación de la POM pero aumentar el % de oxígeno reduce la POM, por tanto, no existirá una sola mezcla ideal sino una para cada parada de DECO.

El oxígeno puro es la mezcla más eficaz porque en ella el gas inerte tiene una presión parcial igual a cero atmósferas independientemente de la profundidad. La diferencia entre utilizar oxígeno puro y EAN 90 en la parada a 3 m es que con el EAN90 la  $P_p(N_2) = 0,1 \times 1,3 = 0,13$  atm y con el oxígeno es cero como hemos dicho.

Se ha comprobado que respirar oxígeno al 100% reduce también la sobresaturación de la sangre venosa además de producir otros beneficios fisiológicos que han hecho de este gas la medida terapéutica imprescindible para el tratamiento de la enfermedad descompresiva.

Debemos tener en cuenta que según la legislación española el oxígeno puro sólo lo podremos respirar a 1,3 atm de presión, o sea, a 3 m de profundidad en la última parada. Y que debemos respirarlo con un sistema de fijación de la boquilla del regulador para que en caso de que ocurra una crisis convulsiva no se nos caiga de la boca (Fig. 1.3).

Como no podemos disponer de todas las mezclas idóneas para cada parada de DECO, normalmente se eligen dos mezclas, además de la de fondo que se puede utilizar también en las primeras paradas, una como el EAN50 que pueda ser utilizada en casi todas las paradas y oxígeno para la última. El EAN40 también se utiliza mucho porque, aunque es menos eficaz que el EAN50, no es necesario que la botella y el regulador estén en servicio de oxígeno y puede utilizarse a más profundidad.

## ¿Es peligroso la utilización de mezclas oxigenadas hasta el 100% durante la descompresión?

En el curso de Buceo con Nitrox estudiamos como el oxígeno era tóxico en determinadas circunstancias, ¿podría ocurrir que al utilizar mezclas mas oxigenadas en la DECO incrementáramos de manera significativa los riesgos de que se produzca una intoxicación aguda o crónica de oxígeno?

En principio el hecho de respirar mezclas con una Pp(O<sub>2</sub>) mayor supone que en cada inmersión el % del tiempo de máxima exposición (TME) sera mayor y el número de unidades de tolerancia al oxígeno (OTU) también. Pero vamos a ver con un ejemplo como siguen teniendo valores poco significativos.

Exponemos en la Tabla 1.1 los resultados de los cálculos del % de TME y de las OTUs (\*) para dos ascensos diferentes de la misma inmersión, profundidad máxima 40 m y tiempo en el fondo de 20 min. El primer ascenso se realiza con aire y el segundo con EAN50 y O<sub>2</sub>, calculándose las descompresiones en base a los gases utilizados.

Tabla 1.1.

Prof (m)	DECO con aire					DECO con EAN 50 y Oxígeno				
	Tiempo (min)	Gas	Pp(O <sub>2</sub> )	% TME	OTu	Tiempo (min)	Gas	Pp(O <sub>2</sub> )	% TME	OTu
40	20	Aire	1.05	7		20	Aire	1.05	7	
	DECO					DECO				
21	1	Aire	0.65	0.2		1	EAN50	1.55	1.2	
18	1	Aire	0.59	0.1		1	EAN50	1.40	0.7	
15	1	Aire	0.53	0.1		1	EAN50	1.25	0.5	
12	1	Aire	0.46	0		1	EAN50	1.10	0.4	
9	1	Aire	0.40	0		1	EAN50	0.95	0.3	
6	4	Aire	0.34	0		1	O <sub>2</sub>	1.60	2.2	
3	10	Aire	0.27	0		3	O <sub>2</sub>	1.30	1.7	
			<b>Total</b>	<b>8.1</b>	<b>22.7</b>			<b>Total</b>	<b>15.9</b>	<b>38.3</b>

En el primer ascenso el tiempo total sería de 23 min contando los 19 min de estancia en las paradas y los 4 min de ascenso entre ellas. Las cantidades de %TME y las OTU son de 8,1 y 22,7 respectivamente.

En el segundo ascenso el tiempo total de ascenso sería 13 min contando con 9 min de estancia en las paradas y 4 min de ascenso entre ellas. Diez minutos menos que en el ascenso con aire, ésta es la “aceleración” de la descompresión que han provocado las mezclas de EAN50 y O<sub>2</sub>.

Las cantidades de %TME y las OTU han subido hasta los valores de 15,9 y 38,3 respectivamente, pero quedan todavía muy lejos del 80 % del TME y de las 850 OTU diarias.

Como el aumento más significativo, en cuanto a sus límites, es el del % de TME que está relacionado con la intoxicación aguda de oxígeno vamos a repasar algunos conceptos sobre este efecto también denominado de Paul Bert.

(\*) Los cálculos de las OTUs se han realizado como se indica en el apéndice 1

### Algo más sobre la hiperoxia de altas presiones

En el curso anterior de Buceador Nitrox conociste en qué consistía y cuándo se podía producir. Recordemos algunas cuestiones.

En las actividades de buceo con escafandra autónoma, la NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) establece que la presión parcial de oxígeno debe encontrarse entre 0,16 y 1.6 atm para evitar tanto la hipoxia como la hiperoxia del Sistema Nervioso Central.

La hipoxia puede ser consecuencia de que el % de oxígeno de la mezcla respiratoria sea menor de lo previsto por culpa bien de la oxidación del interior de la botella cuando se almacenan durante cierto tiempo o por una carga incorrecta de la botella, lo cual es poco probable si utilizamos aire o nitrox como mezcla de fondo (sobre todo utilizando nitrox porque tenemos que analizar la mezcla antes de utilizarla).

Para evitar la hiperoxia la NOAA estableció los tiempos máximos de exposición que se pueden pasar a cada presión parcial de oxígeno expuestos en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2.

#### NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

#### Límites de tiempo de exposición en función de la presión parcial de oxígeno para inmersiones con mezclas de oxígeno y nitrógeno

Pp (O <sub>2</sub> ) en atm	Exposición única		Exposición diaria	
	(min)	(h:min)	(min)	(h:min)
1.6	45	0:45	150	2:30
1.5	120	2:00	180	3:00
1.4	150	2:30	180	3:00
1.3	180	3:00	210	3:30
1.2	210	3:30	240	4:00
1.1	240	4:00	270	4:30
1.0	300	5:00	300	5:00
0.9	360	6:00	360	6:00
0.8	450	7:30	450	7:30
0.7	570	9:30	570	9:30
0.6	720	12:00	720	12:00



Además, en el buceo deportivo, para reducir el riesgo que la realización de grandes esfuerzos o pérdidas térmicas puedan añadir, limitamos en el fondo la Pp(O<sub>2</sub>) a un máximo de 1,4 atm, en lugar de a 1,6 atm.

Los efectos fisiológicos derivados de la presencia del oxígeno como consecuencia de respirarlo durante un tiempo a altas presiones, son muy complejos y contradictorios. Por un lado, la saturación de la hemoglobina con el oxígeno hace que aumente el oxígeno disuelto en la sangre y que se produzca una vasoconstricción pero, por otro, provoca que se reduzca la capacidad de la hemoglobina de combinarse con el dióxido de carbono que éste se disuelva en la sangre y se haga más ácida. Sin embargo, los efectos más peligrosos son el bloqueo de la conducción eléctrica entre músculos y fibras nerviosas (convulsiones), la inhibición de enzimas vitales para el metabolismo celular y los daños en las membranas celulares.

La gravedad de estos efectos, incrementada por su aparición durante la inmersión, nos obliga a ser rigurosos no superando el 80 % del tiempo máximo de exposición ni la Pp(O<sub>2</sub>) de 1,4 atm, en el fondo, así como, evitando los factores de riesgo como la fatiga, el cansancio, la ansiedad o el frío durante la inmersión, y la utilización de medicamentos.

En exposiciones largas al oxígeno es conveniente introducir períodos de descanso volviendo a respirar aire. Por ejemplo, en algunas descompresiones después de respirar 20 min con oxígeno se respiran 5 min con aire.

## **No** debemos olvidar

- 1. El oxígeno sólo se debe utilizar en la última parada a 6 ó 3 m.*
- 2. En las inmersiones sucesivas que se realizan durante varios días vigilar que el % del TME y los OTU no crezcan demasiado.*
- 3. Si en una inmersión llegamos al 80% del TME para una única inmersión, no es conveniente realizar una segunda inmersión y, como mínimo, debemos dejar pasar 2 horas (el TME se reducirá a la mitad).*
- 4. Si realizando varias inmersiones al cabo del día alcanzamos el 80% del TME diario no es conveniente bucear al día siguiente o, como mínimo, dejar pasar 12 horas.*
- 5. Si se tiene que realizar una larga descompresión con oxígeno al 100% hay que realizar interrupciones, volviendo a respirar aire, por períodos de 5 min.*



## Otro cambio: La introducción de paradas de descompresión profundas

La experiencia recogida en las inmersiones de buceo técnico ha demostrado que los planes de ascenso que responden a los modelos clásicos de descompresión no impiden que se produzcan accidentes de descompresión "injustificados", es decir, que se producen sin que se omita ningún paso del plan de ascenso previsto. Pronto se empezó a sospechar que las responsables de esos accidentes podían ser las microburbujas que con el "medidor Doppler" se apreciaban en la sangre de los buceadores.

Hoy sabemos que el perfil de la inmersión, la velocidad de descenso y ascenso condicionan el número de microburbujas que aparecen en los tejidos del buceador y que cuando existe un número elevado de éstas se pueden fusionar y producir las macroburbujas que desencadenaban la enfermedad descompresiva (ED), independientemente del estado de sobresaturación de los tejidos.

La presencia de estas microburbujas ha sido la razón de que se haya ido reduciendo la velocidad de ascenso, tanto en las tablas como en los ordenadores, para favorecer su eliminación con la respiración durante la subida.

También, se ha comprobado que la realización de paradas durante el ascenso, a profundidades mayores que las paradas estándar de descompresión, reducen drásticamente la presencia de las microburbujas por lo que se ha convertido en una práctica habitual hacerlo en el buceo técnico.



Figura 1.4 Se ha comprobado que la realización de paradas más profundas durante el ascenso reduce el número de microburbujas.

El único inconveniente es que **ese tiempo de parada hay que considerarlo como tiempo en el fondo para los cálculos de la DECO** ya que no subiríamos a la velocidad constante de 9 m/min y esto nos obligaría a volver a calcular la descompresión (los tejidos más lentos pueden seguir cargándose con el retraso en el ascenso).

Los modelos clásicos utilizados para los cálculos de la descompresión realizan una serie de aproximaciones a la realidad para establecer los planes de ascenso y no tienen en cuenta para esos cálculos la existencia de las microburbujas, su número y tamaño. Es más, ni siquiera pueden explicar su presencia. Para conocer en que consisten esas aproximaciones puedes leer el apéndice 2 al final del libro.

Al principio se propusieron soluciones producto de la observación y de la experimentación. Así surgió el método de ascenso propuesto por Richard L. Pyle que explicaremos a continuación.

Luego se modificaron los modelos de descompresión clásicos como, por ejemplo, el de Bühlmann para empezar a realizar paradas más profundas manteniendo el algoritmo clásico, lo que se ha denominado como procedimiento de los gradientes. Con este procedimiento se trata de aplicar los cálculos de siempre pero a un perfil de inmersión que incluye en el tiempo de fondo el de las paradas profundas que según esos modelos no eran necesarias.

Sin embargo, hoy en día ya han aparecido nuevos modelos teóricos, como el RGBM (Modelo de Gradiente Reducido de Burbujas), que explican el comportamiento de la microburbujas y que permiten realizar los cálculos de los planes de ascenso teniéndolo en cuenta. En el apéndice 2 puedes encontrar la explicación de cómo se forman las microburbujas que es la clave para poder evaluar, conociendo el perfil de la inmersión, su número y tamaño.

De todas formas, seguimos sin tener un modelo de descompresión fiable al 100 %, todos son aproximaciones a una situación que es difícil de conocer debido a la complejidad de los fenómenos físicos, bioquímicos y fisiológicos que suceden, la variabilidad fisiológica de cada buceador y la infinidad de situaciones ambientales que se pueden presentar.

En los programas de ordenador que se utilizan para calcular los planes de ascenso podemos probar y elegir el modelo de descompresión que creamos más conveniente para introducir las paradas profundas: los nuevos o los clásicos con las modificaciones correspondientes.

## El método Pyle

El biólogo americano Richard L. Pyle descubrió experimentalmente que cuando ascendía parando a profundidades inferiores a las establecidas por las tablas, debido a que llevaba algún ejemplar de pez que le obligaba a detenerse para extraer el aire de su vejiga natatoria, no le aparecían los ligeros síntomas de ED que notaba cuando no hacía esas paradas.

Para sistematizar un ascenso más lento estableció un método que consiste en ascender por etapas, realizando paradas de un minuto (o dos en la última parada) a profundidades mayores que las marcadas durante la descompresión. Las profundidades se obtienen haciendo en cada etapa la media entre la profundidad a la que estamos y la de la primera parada de descompresión obligatoria.

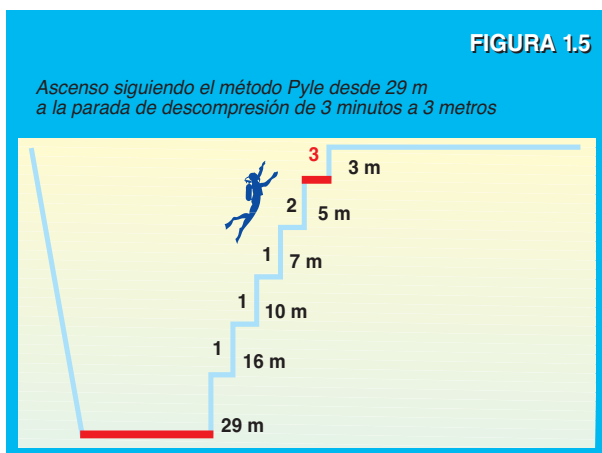


Figura 1.5 Ascenso siguiendo el método Pyle desde 29 m a la parada de descompresión de 3 minutos a 3 metros

Veamos como se hace con un ejemplo. Supongamos que descendemos y permanecemos en un fondo de 29 m durante 30 minutos. Según las tablas US-NAVY 93 tendríamos que realizar una parada de DECO de tres minutos a los 3 m.

Entonces, el ascenso lo realizaríamos en las siguientes etapas:

**Primera etapa** (Fig 1.5), en el fondo, estamos a 29 m y queremos subir a 3 m, la media de 29 y 3 es  $(29+3)/2 = 16$ , entonces, subiríamos a 16 m y esperaríamos un minuto.

**Segunda etapa**, estamos a 16 m, la media  $(16+3)/2$  es de 9,5 m, luego subiríamos a 10 m y esperaríamos un minuto.

**Tercera etapa**, estamos a 10 m, la media  $(10+3)/2$  es de 6,5 m, luego subiríamos a 7 m y esperaríamos un minuto.

**Cuarta etapa**, estamos a 7 m, la media  $(7+3)/2$  es de 5 m, luego subiríamos a 5 m y esperaríamos dos minutos.

¿Por qué dos minutos? Pyle estableció que la última parada debía ser de dos minutos, a no ser que la parada de DECO fuera de dos o un minuto, en cuyo caso sólo se hacía de un minuto. Se considera la última parada aquella que se encuentra a menos de 3 m de la cota de descompresión.

Durante los ascensos entre parada y parada la velocidad deberá ser igual a 9 m/min.

Este método tiene a su favor la sencillez. El cálculo de las paradas es sencillo y se puede planificar o ir haciendo en el ascenso. El único inconveniente es que debemos hacer la previsión del tiempo en que vamos a excedernos en el ascenso porque hay que añadirse al tiempo en el fondo.

En nuestro ejemplo el tiempo en las paradas profundas ha sido de 5 minutos (1+1+1+2). Entonces, lo que debemos hacer como el tiempo en el fondo según las tablas es de 30 min, es no permanecer allí más de 25 minutos. De esta forma el tiempo en el fondo seguirá siendo de 30 minutos y el plan de ascenso solo requerirá de una parada de 2 min a 3 m como estaba previsto.

Tabla 1.3.

Subiendo...	Paramos 1 min. a...				Δt total
Desde 40 a 6 metros	23m	15m	10m	8m	4 ó 5
Desde 40 a 3 metros	22m	12m	8m	5m	4 ó 5
Desde 35 a 6 metros	21m	13m	10m	8m	4 ó 5
Desde 35 a 3 metros	19m	11m	7m	5m	4 ó 5
Desde 30 a 6 metros	18m	12m	9m	8m	4 ó 5
Desde 30 a 3 metros	17m	10m	6m	5m	4 ó 5
Desde 25 a 6 metros	16m	11m	9m	8m	4 ó 5
Desde 25 a 3 metros	14m	9m	6m		3 ó 4
Desde 20 a 6 metros	13m	10m	8m		3 ó 4
Desde 20 a 3 metros	12m	7m	5m		3 ó 4

Observando la tabla 1.3 donde se han realizado los cálculos para ascensos desde diferentes cotas, comprobaremos que los tiempos que se consumen en las paradas profundas oscilan entre 3 y 5 minutos (depende si en la última parada son 1 ó 2 minutos), por tanto, son cinco minutos como máximo lo que tendríamos que reducir el tiempo en el fondo. Un precio razonable para incrementar nuestra seguridad en este tipo de inmersiones.

Este método es el apropiado para inmersiones con poca descompresión de perfil cuadrado y en las que no vayamos a utilizar otra mezcla que no sea aire.



Figura 1.6 No siempre disponemos de la comodidad de un ascensor para subir al barco.

## **No** debemos olvidar

1. Desde la última parada hasta la superficie es aconsejable subir con una velocidad como máximo de 3 m/min.
2. Es conveniente mantener la respiración en superficie con la mezcla de descompresión hasta que estemos en el barco sentados y seguir respirando con ella unos cinco minutos más.
3. Es aconsejable desprenderse del equipo y subir al barco sin realizar grandes esfuerzos físicos.
4. Es muy conveniente rehidratarnos bebiendo agua después de la inmersión.

### **El final de la descompresión y el ascenso a superficie**

Es una práctica muy extendida entre los buceadores técnicos realizar la última parada de DECO a 6 m en lugar de a 3 m ya que al respirar oxígeno la eliminación del nitrógeno se hace a la misma velocidad pero aumenta la seguridad al estar a una presión ambiente mayor.

Al ascender desde la última parada hasta la superficie, además del cambio rápido de presión ambiente de 1,3 a 1 atm se producen otros tres cambios:

- Primero: Bruscamente dejamos de respirar oxígeno a 3 m, con una presión parcial de oxígeno de 1,3 atm, para respirar el aire de la superficie, con una presión parcial de oxígeno de 0,21 atm. El oxígeno inspirado a presión parcial elevada produce un efecto vasoconstrictor que no desaparece instantáneamente cuando cambia la presión parcial. Entonces, en ese momento llegará menos oxígeno a los tejidos produciéndose una hipoxia en los tejidos que hubiesen reducido antes su riego.
- Segundo: El paso de una situación de relajación muscular que hemos mantenido durante la descompresión a una actividad notoria para nadar por superficie, salir del agua con el equipo, movernos equipados por el barco, etc.
- Tercero: La gravedad que puede afectar a la distribución de la sangre. Después de períodos de tiempo de ingravidez al incorporarnos se desplaza la sangre de la parte central del cuerpo hacia las extremidades inferiores.

Por eso, aunque no existen datos que permitan establecer una relación directa entre estos factores y la aparición de síntomas de la Enfermedad Descompresiva la experiencia nos indica que:

Con todas estas medidas reduciremos el impacto que supone para nuestro organismo salir del agua después de una descompresión.

### ***Recordemos algunas cuestiones sobre la enfermedad descompresiva***

Todos los procedimientos que estamos aplicando del buceo técnico tienen como objeto evitar la enfermedad descompresiva. Sólo nos queda recordar los síntomas y signos de esta enfermedad, los factores que la favorecen y que, por tanto, debemos evitar, y cómo debemos reaccionar en caso de que surja.

Pero, antes, recordemos que existe un estudio de la U.S. Navy sobre signos y síntomas evidentes del accidente de descompresión donde se recoge que:

- El 42 % aparecieron dentro de la primera hora.
- El 18 % aparecieron pasada la primera hora, dentro de la segunda y tercera hora
- El 23 % aparecieron pasada la tercera y hasta la octava hora.
- El 9 % aparecieron pasada la octava hora y hasta las veinticuatro horas.

Lo que nos sugiere que debemos seguir vigilantes una vez finalizada la inmersión durante esas 24 horas posteriores.

Existen dos categorías de accidentes de descompresión según los síntomas, es decir, los órganos y sistemas afectados: El accidente de descompresión tipo I, bends de sólo dolor, que afecta a las articulaciones, músculo y piel, y el de Tipo II, neurológico, que afecta al sistema nervioso central, al respiratorio y al circulatorio. Aunque pueden ocurrir los dos tipos simultáneamente, algunos accidentes se manifiestan al principio como tipo I y, luego, derivan al segundo tipo más grave.

### **Síntomas y signos de la Enfermedad descompresiva de Tipo I.**

- Dolor articular, leve o fuerte, en hombros, codos, muñecas y rodillas.
- Picor, más o menos intenso, aparición de pequeñas manchas rojizas o azul oscuro.

### **Síntomas y signos de la Enfermedad descompresiva de Tipo II.**

- Neurológicos: Entumecimiento, hormigueo, debilidad, parálisis, vértigo, mareo, zumbidos en los oídos.
- Cardiorespiratorios: Dificultad respiratoria, inhalación dolorosa y ritmo respiratorio acelerado.

La resistencia por parte del buceador a reconocer que está sufriendo un accidente de descompresión puede ser un problema. En este caso, debemos insistir y aconsejar al buceador que acuda a un centro hiperbárico de tratamiento.

Ya sabemos que el tratamiento debe realizarse sin demora, que comienza con la hidratación del accidentado y sigue con la administración de oxígeno normobárico al 100% durante el traslado a la cámara hiperbárica.

Por último, si queremos reducir los riesgos de sufrir la ED:

## **No debemos olvidar**

- 1. Es más seguro elegir planes de ascenso conservadores.*
- 2. No debemos superar la velocidad de ascenso y controlar correctamente el tiempo de las paradas de descompresión.*
- 3. Hay que vigilar en todo momento para no superar la profundidad máxima y el tiempo de fondo previstos.*
- 4. Debemos protegernos del frío y, en el caso de que se pase durante la inmersión, tomar un tiempo superior en la tabla.*
- 5. Hay que bucear en buenas condiciones físicas y de salud.*
- 6. Hay que bucear bien hidratado.*



## La elaboración de los planes de ascenso

Una vez que sabemos la profundidad de la inmersión, las mezclas de gases de que disponemos y una estimación del tiempo que queremos permanecer en el fondo nos planteamos elaborar el plan de ascenso.

Lo podemos realizar utilizando unas tablas diseñadas para las mezclas que tenemos, mediante un programa informático o con el planificador de un ordenador de buceo preparado para utilizar varias mezclas.

Independientemente del método que elijamos debemos elaborar el plan de ascenso para el perfil de inmersión previsto y otro, el plan B, para una situación excepcional que se pudiese presentar. Por ejemplo, para el caso de que superásemos el tiempo previsto en el fondo. Esa situación excepcional dependerá de las características particulares de la inmersión y será en cada caso la más probable (cambio de profundidad, frío, etc.)

El objetivo de tener ese plan B es el de realizar posteriormente la previsión de consumos para realizarlo y disponer de los gases necesarios.

Cada plan de ascenso contará con las paradas que tenemos que realizar, los tiempos que debemos permanecer en ellas y la velocidad de ascenso.

Esto lo debemos llevar anotado en una pizarra (tanto el plan A como el plan B) para consultarlo durante el ascenso.

Tabla 1.4.

Prof.	t	RUN TIME	
0-48	3.2	Prof.	00:00
48-48	21.8	48	00:25
48-24	2.6		
24-24	1	24	00:29
24-21	0.3		
21-21	1	21	00:30
21-18	0.33		
18-18	1	18	00:31
18-15	0.33		
15-15	2	15	00:33
15-12	0.33		
12-12	2	12	00:36
12-9	0.33		
9-9	2	9	00:38
9-6	0.33		
6-6	5	6	00:43
6-3	0.33		
3-3	4	3	00:48
3-0	1	0	00:49

Una forma cómoda de llevar anotado el plan de ascenso es hacerlo de la forma que se denomina "run time". Consiste en anotar las profundidades y al lado el minuto del tiempo total de inmersión en el que debemos abandonarla. Por ejemplo, calculamos la DECO para una inmersión a 48 m con tiempo en el fondo de 25 min y obtenemos los resultados de las columnas 1 y 2 de la tabla 1.4 .

Empezamos a colocar en la columna 4 el minuto en el que hay que salir de las profundidades de la columna 3. De los 48 m no hay duda, hay que salir de allí a los 25 minutos. De los 24 m deberíamos salir a los 28,6 min y ponemos que salimos a los 29.

Subimos a 9 m/min hasta la siguiente parada de 21 m y salimos de ella en el momento en que nos correspondería: a los 30 min.

Subimos a 9 m/min hasta la siguiente parada de 18 m, deberíamos salir de ella a los 31,3 min, redondeamos y salimos a los 31 min (llevamos un adelanto de 0,3 min).

Subimos a 9 m/min hasta la siguiente parada de 15 m, deberíamos salir de ella a los 33,6 min, redondeamos y salimos a los 33 min (llevamos un adelanto de 0,6 min).

Subimos a 9 m/min hasta la siguiente parada de 12 m y salimos de ella en el momento en que nos correspondería: a los 36 min (ya no vamos adelantados ni retrasados).

Subimos a 9 m/min hasta la siguiente parada de 9 m, deberíamos salir de ella a los 38,3 min, redondeamos y salimos a los 38 min (llevamos un adelanto de 0,3 min).

Subimos a 9 m/min hasta la siguiente parada de 6 m, deberíamos salir de ella a los 43,6 min, redondeamos y salimos a los 43 min (llevamos un adelanto de 0,6 min).

Subimos a 9 m/min hasta la siguiente parada de 3 m y salimos de ella en el momento en que nos correspondería: a los 48 min (ya no vamos adelantados ni retrasados).

Y, por ultimo, subiendo a 3 m/min hasta la superficie saldríamos exactamente a los 49 min.

### Utilizando un programa de PC

Los programas que se utilizan para realizar estos cálculos (planificadores) suelen ser muy similares y las diferencias importantes están en los modelos que pueden utilizar para realizar los cálculos. Una vez que tengamos claro cual es el modelo que preferimos ya podremos elegir entre los programas que lo utilicen aquel que más nos guste por su manejo o por los complementos de que disponga.

En general sus cálculos son correctos aunque para evitar responsabilidades los fabricantes siempre añaden en sus instrucciones textos como:

*“Al bajar y usar la versión de evaluación o comprar la versión final usted acepta que el arte/ciencia del procedimiento de buceo de descompresión esta basado en teorías y por tanto no garantiza resultados particulares. Esta teoría esta en constante evolución como este programa, es su responsabilidad mantenerse actualizado con los progresos. Los perfiles generados no garantizan que el usuario no sufrirá lesiones e incluso la muerte... Todos los tipos de buceo requieren entrenamiento...”*

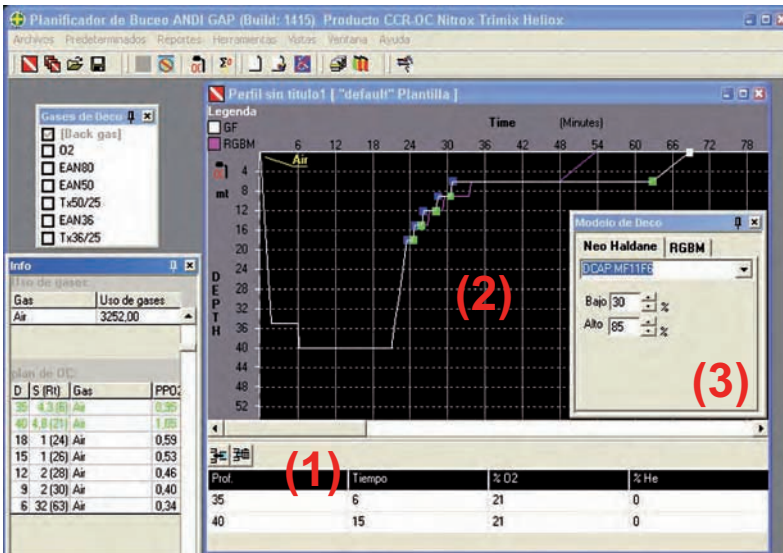


Figura 1.7



Lo mismo que en las instrucciones de nuestro ordenador de buceo. No debemos alarmarnos y confiar en que podemos planificar nuestras inmersiones con ellos con los márgenes de seguridad que nosotros mismos introduzcamos en el programa.

Vamos a ilustrar este apartado hablando de un planificador el ANDI-GAP (Fig. 1.7) que es de los más utilizados y de los más completos. Todo lo que digamos aunque no sirva para cualquier planificador puede ser útil pues lo que pretendemos es introducir unas pautas que nos permitan de manera ordenada utilizar cualquier modelo. Tampoco pretendemos con estas notas aprender a utilizar el planificador lo que se consigue solo practicando con él.

Otra razón por la que hemos elegido este programa es porque tiene una versión de DEMO gratuita que puede descargarse de la web.

Veamos los pasos que hay que dar para utilizarlo.

**1. Introducimos los datos del perfil de la inmersión** (profundidad y tiempo) manualmente en la línea de edición (1) o en la gráfica con el ratón marcando los puntos (2). Si tenemos previsto permanecer a varias cotas (pisos) también podemos introducirlo añadiendo líneas o marcando con el ratón.

**2. Seleccionamos el modelo de descompresión** (3) que queremos utilizar. Este programa permite utilizar tres modelos de descompresión Bühlmann 16B, Bühlmann 16C (para ordenadores) los dos aplican gradientes para obtener paradas más profundas y el RGBM que es un modelo basado en la permeabilidad variable de las burbujas.

**3. Fijemos los parámetros de la inmersión** mediante la edición de la *plantilla actual* (Fig. 1.8) que aparece por la combinación de teclas Ctrl-T. Los parámetros que aparecen por defecto los podemos cambiar. Si presionamos aplicar se cambiarán para esta inmersión pero si le damos a guardar se introducen los cambios en la plantilla. Fijaremos:

- Velocidades (Tasas lo llama el programa) de ascenso y de descenso. Es importante por lo que hemos explicado que la velocidad de 6 m a superficie sea como máximo de 3 m/min.

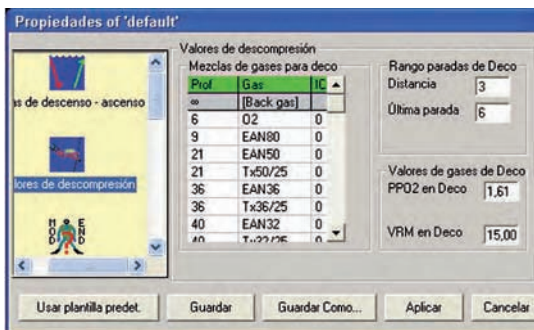


Figura 1.8



Figura 1.9 El run time hay que llevar escrito en la tablilla y no perderla.

- Valores para la descompresión de: ultima parada, distancia entre las paradas, gases que se utilizan, máxima Pp(O<sub>2</sub>), consumos.
- Ajustes de gases para el fondo: Valores de profundidad equivalente de narcosis, máxima Pp(O<sub>2</sub>), consumos.
- Mezclas disponibles, podemos quitar y poner (no tocamos ajustes del rebreather).
- Ponemos las unidades en el sistema métrico.
- Ajustamos parámetros modelos. Conviene en el modelo Bühlmann comenzar con el GF de fondo a 30% y el GF de superficie 80%. Luego a nuestro criterio podemos cambiarlo.
- Y por último los parámetros de altitud (para las inmersiones sucesivas buscamos los botones nueva inmersión e intervalo de superficie).

**4. Pulsamos el botón iniciar ascenso** (Barra de comandos o F5) y aparecerá el ascenso dibujado con dos líneas una corresponde a un modelo y otra a otro, hay que fijarse en los colores y la leyenda.

**5. Abrimos la paleta: Información** (Ctrl-F3) y vemos con detalle el ascenso. Podemos con el botón derecho del ratón llevarlo al portapapeles y luego pegarlo en un documento aparte.

**6. Cambiamos tiempo en el fondo u otros parámetros y probamos** hasta que nos cuadre con lo que queremos y podemos hacer. En este momento la previsión de consumos es importante porque su resultado nos puede orientar sobre los equipos que tenemos que llevar. Pero, ya estudiaremos esto en el próximo capítulo.

**7. Para estudiar los diferentes planes de ascenso podemos imprimir informes.** Los reportes son como el programa presenta el plan de buceo. En el reporte de contingencia podemos observar otras posibilidades alternativas al plan (salida antes de tiempo, pérdida de mezclas ...)

**8. Una vez elegido el plan A y el plan alternativo B** (por si nos pasamos de tiempo en el fondo, por ejemplo) elaboramos el *run time*.

En el *run time* establecemos el momento (empezando a contar desde que se entra al agua) en que hay que abandonar cada profundidad y pasar a la siguiente a la velocidad correspondiente. En nuestro ejemplo, estaría reflejado en las tablas 1.5 y 1.6.

Subir siguiendo el *run time*, si respetamos la velocidad de ascenso entre paradas, es una forma sencilla y cómoda. Pero es indispensable llevarlo escrito en la tablilla y no perderla.

Otras funciones interesantes del programa son:

A) El Experto en Tablas (F8) le permite rápidamente planificar planes de descompresión para muchos tiempos y profundidades usando a la vez los mismos gases de fondo y los gases de descompresión.

Tablas 1.5. y 1.6.

*El plan A esta calculado para un tiempo en el fondo de 21 minutos y el plan B para 26 minutos.*

RUN TIME PLAN A	
Prof.	Minuto
0	0
35	6
40	21
18	24
15	27
12	29
9	33
6	48
0	50

RUN TIME PLAN B	
Prof.	Minuto
0	0
35	6
40	26
21	29
18	30
15	33
12	37
9	40
6	60
0	62

Un ejemplo: queremos ir a bucear en un pecio pero no sabemos si será en el pecio 1 (a 40 m) o en el pecio 2 (a 20 m). Ambos pecios tienen más de 10 metros de altura, así que es posible que no pasemos todo el tiempo en la parte más profunda. Además, tampoco estamos seguros de cuánto tiempo vamos a bucear.

B) El mezclador de gases sirve para saber cómo se puede preparar una mezcla usando la Ley de Gases Ideales. Como no toma en consideración las diferentes compresibilidades de los distintos gases en la mezcla ni los cambios de temperatura, significa que los cálculos no son 100% precisos. Siempre hay que analizar los gases para verificar que la mezcla es correcta.

### **Utilizando un ordenador de Buceo**

Existen ordenadores que permiten durante la inmersión cambiarles el dato de la mezcla que estamos respirando (Fig. 1.10) para que consecuentemente calculen el ascenso de nuevo.

Por ejemplo, en superficie le indicamos que vamos a llevar EAN28 y EAN50 y el ordenador comenzará la inmersión realizando los cálculos con el EAN28. Al llegar a la primera parada en la que vayamos a utilizar el EAN50 le indicamos el cambio y el ordenador recalculará el plan de ascenso teniendo en cuenta la mezcla que respiramos ahora.

La utilización de un ordenador de estas características no debe impedir que realicemos una planificación del ascenso antes de sumergirnos y que tengamos previstos nuestros planes de ascenso A y B. Porque una cosa es que en el fondo el ordenador nos informe del plan de ascenso que debemos seguir y otra que podamos cumplirlo, es decir, que tengamos gases o no para acabarlo.



Figura 1.10 Cambiando de mezcla según subimos.

Dentro del grupo de ordenadores que permiten cambiar de mezcla los hay que permiten realizar una simulación previa, bien con el propio aparato o con un PC, lo cual puede servirnos para realizar la planificación. Pero esa planificación será insuficiente si no va acompañada del cálculo de consumos para que podamos elegir las botellas adecuadas (o acomodarnos a lo que tenemos) y establecer un protocolo de gestión del consumo, como veremos en el próximo capítulo.

El procedimiento más seguro es:

1. Realizar una planificación (con el ordenador subacuático o no) que permita establecer los planes de ascenso A y B con los consumos. Si elaboramos este plan con un software como el ANDI-GAP será más conservador que el plan de ascenso del ordenador subacuático y si lo elaboramos con el planificador del ordenador subacuático será más conservador que el mismo ordenador en el agua (porque él trabaja con los datos de cada tejido según la inmersión real).

2. Seguimos el *run time* del plan A y si no es posible seguimos el del B. En caso de emergencia (pérdida de una mezcla, incumplimiento accidental del B, un retraso o que abortemos la inmersión, etc.) siempre podremos intentar seguir el plan de ascenso que nos proponga el ordenador subacuático porque no lo habremos incumplido.



*Figura 1.11 Cada inmersión requiere unas mezclas de fondo y de DECO apropiadas aunque no siempre podemos disponer de ellas y hay que adaptarse lo mejor posible a lo que tenemos.*

## Utilizando Tablas

Como las mezclas de fondo y DECO pueden ser muy distintas (Fig. 1.11) es muy difícil que encontremos unas tablas publicadas que se ajusten a las mezclas que tenemos y al perfil de la inmersión. Por esta razón es muy interesante la función que poseen algunos programas informáticos para elaborar tablas.

Cuando vayamos a utilizar alguno de estos programas tenemos que elegir el modelo de DECO que queremos que utilice, sus márgenes de seguridad y los intervalos de profundidad y tiempo que nos interesan.

Tenemos que tener un criterio para la elección de las tablas y de las mezclas, independientemente de las posibilidades que tengamos de elegir, y para ir formándolo lo mejor es que comparemos y entendamos las diferencias.

Vamos a hacerlo con un ejemplo: Una inmersión a 50 m de profundidad y con un tiempo en el fondo de 15 minutos. Calculamos la descompresión con tablas que siguen diferentes modelos de cálculo y para varias mezclas de DECO.

Los resultados los hemos anotado en la tabla 1.7.

Tabla 1.7.

DECO con EAN 50 y Oxígeno		Tiempos a cada profundidad						Tiempo total	
Modelos	Mezclas	21m	18m	15m	12m	9m	6m		3m
US NAVY 93	Aire						2	5	14
BÜHLMANN 16 B	Aire						3	6	16
BÜHLMANN 16 B con GF	Aire	1	1	1	1	2	4	8	25
RGBM	Aire	1	1	2	2	3	4	6	26
BÜHLMANN 16 B con GF	Aire y O <sub>2</sub> en 6 y 3 m	1	1	1	1	2	2	4	19
RGBM	Aire y O <sub>2</sub> en 6 y 3 m	1	1	1	2	3	2	3	20
BÜHLMANN 16 B con GF	Aire, EAN50 y O <sub>2</sub> en 6 y 3 m	1	1	1	1	1	1	3	16
RGBM	Aire, EAN50 y O <sub>2</sub> en 6 y 3 m			1	1	1	2	2	14

Comparemos los resultados de las cuatro primeras filas que se corresponden con modelos que han utilizado solo aire para sus cálculos. Aparece una diferencia notable entre los dos primeros y los dos segundos. En los dos primeros no se tiene en cuenta el problema de las microburbujas y en los dos segundos si y por eso aparecen paradas profundas.

Los resultados de los dos primeros cálculos, hechos con los modelos clásicos de la US Navy y Bühlmann, son muy parecidos, apenas se diferencian en un par de minutos. Si pretendiésemos corregir estos modelos con el método Pyle tendríamos que establecer las paradas profundas y corregir la DECO pues habría que añadir ese tiempo al tiempo de fondo. El resultado sería muy parecido a la DECO que resulta en las filas tercera y cuarta.

Los resultados de la fila tercera y cuarta, producidos por el modelo Bühlmann 16 B con GFs de 30-85 (ver apéndice 2) y el modelo RGBM, también son muy parecidos en cuanto al tiempo total pero en el RGBM los minutos se reparten entre paradas mas profundas. Recordemos que éste es el único método que "sigue" matemáticamente la formación de las microburbujas.

Cuando estudiamos los resultados de las filas 5 y 6, producidos por el modelo Bühlmann 16 B con GFs de 30-85 y el modelo RGBM pero utilizando oxígeno en las dos últimas paradas, observamos en primer lugar al compararlos con los resultados anteriores que los tiempos de las dos últimas paradas se reducen a la mitad por la utilización de oxígeno. Y en segundo lugar que el modelo RGBM sigue repartiendo minutos, casi los mismos que el otro modelo, pero por paradas más profundas.

Por último, cuando estudiamos los resultados de las filas 7 y 8, producidos por el modelo Bühlmann 16 B con GFs de 30-85 y el modelo RGBM pero utilizando EAN50 en la DECO y oxígeno en las dos últimas paradas, comprobamos un descenso notable en los tiempos totales de ascenso que se colocan a la altura de los de las dos primeras filas cuando no teníamos en cuenta las microburbujas.

Entonces, ¿qué modelo es el más apropiado? Dos deberían ser los criterios que nos guiasen: seguridad y menos tiempo de DECO, aunque pueden parecer contradictorios. Los modelos que no tienen en cuenta la formación



de microburbujas, por seguridad, los descartamos. Para reducir los tiempos de DECO utilizamos EAN50 y oxígeno para la DECO.

Ya sólo nos queda decidimos entre el modelo de Bühlmann o el de RGBM. Los dos modelos nos proponen el mismo tiempo de ascenso, sin embargo, uno, el modelo RGBM, lo hace teniendo en cuenta como se forman las microburbujas durante la inmersión y el otro sin conocer su desarrollo establece paradas profundas y aumenta simplemente los márgenes de seguridad.

La elección sea cual sea no será difícil con lo que ya sabemos, además, las ligeras diferencias entre las opciones no deben preocuparnos, más inseguro es acometer esta descompresión con los modelos clásicos.

En la introducción hablábamos de que en el buceo técnico se trata de realizar lo “desaconsejable” pero con la máxima seguridad. Realizar esta inmersión utilizando mezclas para la DECO y un plan de ascenso con paradas profundas es hacerlo con un buen margen de seguridad.

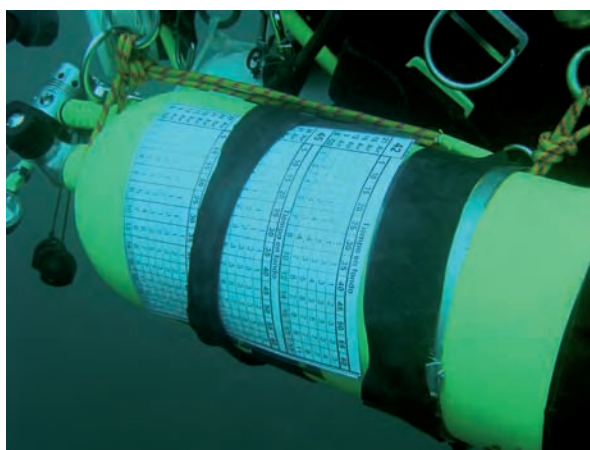
A continuación, vamos a añadir unas tablas que hemos elaborado con “el experto en tablas” del programa ANDI-GAP.

Hemos elegido como modelo el de las tablas de Bühlmann ZH16B con los gradientes: 30 de fondo (para realizar paradas profundas) y 85 de superficie (para aumentar la DECO con un margen de seguridad).

Son tablas para realizar ejercicios teóricos. Como dicen sus autores, la información que muestran no garantiza que un buceador que la siga no sufra un accidente de descompresión. Es el buceador, en cada caso, quien siguiendo las normas de seguridad debe elegir el plan de ascenso adecuado a sus condiciones físicas, edad, preparación y entrenamiento.

Hemos elegido como modelo el de las tablas RGBM con un valor de conservadurismo 0 ó nominal que es el estándar (se puede incrementar hasta 2).

Las profundidades se encuentran entre 33 y 57 m. Hay dos tablas para realizar comparaciones: La A que utiliza aire para las descompresiones y la B que utiliza aire, EAN 50 y oxígeno.



*Figura 1.12  
Las tablas elaboradas con un programa informático, pueden calcular el ascenso con las mezclas que elijamos*

**Tabla A:**  
**Modelo RGBM. Mezcla de fondo aire; mezcla DECO aire**

PARADAS											
m	min	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
33	20					1	1	3	4	33	5.7
	25					1	3	4	6	43	7.1
	30				1	1	4	4	9	53	8.7
	35				1	3	3	7	9	62	10.1
	40				1	4	3	9	9	70	11.5
	45				2	4	5	9	13	82	13,0
	50				3	3	8	8	16	92	14,5
	%O <sub>2</sub>	21	21	21	21	21	21	21	21		

PARADAS											
m	min	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
36	20					2	2	3	5	37	6.4
	25				1	2	3	4	8	48	8,1
	30				2	3	3	6	9	58	9.8
	35			1	2	3	4	8	9	67	11.5
	40			1	3	3	6	9	12	79	13.2
	45			1	3	4	8	8	16	90	14.8
	50			2	3	5	8	9	19	101	16.5
	%O <sub>2</sub>	21	21	21	21	21	21	21	21		

PARADAS											
m	min	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
39	20				2	1	3	4	5	41	7.4
	25			1	1	3	4	4	9	53	9.2
	30			1	3	3	4	7	9	63	11.2
	35			2	3	4	5	9	10	74	13.2
	40		1	2	3	4	8	8	15	87	15.1
	45		1	3	3	6	8	8	18	98	17.0
	50		1	3	3	8	8	11	19	109	18.8
	%O <sub>2</sub>	21	21	21	21	21	21	21	21		

### PARADAS

m	min	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
42	20			1	2	2	3	4	7	45	8.6
	25		1	1	2	3	4	6	8	56	10.9
	30		1	2	3	3	5	8	9	67	13.2
	35		1	3	3	4	7	8	13	80	15.4
	40		2	3	3	6	8	8	17	93	17.6
	45		3	3	3	8	8	11	18	105	19.8
	50		3	3	5	8	8	15	18	116	22.1
%O <sub>2</sub>	21	21	21	21	21	21	21	21	21		

### PARADAS

m	min	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
45	20		1	1	2	3	3	4	8	48	9.6
	25		2	1	3	3	4	7	9	60	12.1
	30	1	1	3	3	3	7	8	11	73	14.6
	35	1	2	3	3	5	8	8	18	87	17
	40	1	3	3	3	7	8	10	18	99	19.5
	45	2	3	3	5	8	8	14	18	112	22.1
	50	2	3	3	7	8	8	17	18	122	24.6
%O <sub>2</sub>	21	21	21	21	21	21	21	21	21		

### PARADAS

m	min	27m	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
48	20		1	1	1	2	4	3	6	8	52	10.9
	25		1	2	2	3	3	5	8	9	64	13.7
	30		2	2	3	3	4	7	9	14	80	16.5
	35	1	1	3	3	3	7	8	8	18	93	19,1
	40	1	2	3	3	5	7	8	13	19	107	22,2
	45	1	3	3	3	7	7	8	17	18	118	24.9
	50	1	3	3	5	7	7	11	18	18	129	27.6
%O <sub>2</sub>	21	21	21	21	21	21	21	21	21			



### PARADAS

m	min	30m	27m	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
51	20			1	2	1	3	4	3	8	8	55	11.9
	25		1	1	1	3	3	4	6	8	9	68	14.9
	30		1	2	2	3	4	5	7	8	15	84	18.1
	35		2	2	3	3	4	7	8	10	18	99	21.2
	40	1	1	3	3	3	6	8	7	15	18	112	24.3
	45	1	2	3	2	5	7	7	10	17	18	125	27.7
	50	1	2	3	3	7	7	7	14	17	21	139	30.6
%O <sub>2</sub>		21	21	21	21	21	21	21	21	21	21		

### PARADAS

m	min	30m	27m	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
54	20		1	1	2	1	3	4	3	8	8	58	13.3
	25	1	1	1	2	3	3	4	7	8	11	73	16.9
	30	1	1	2	3	3	3	7	7	8	17	89	20.2
	35	1	2	3	3	3	5	7	8	13	17	104	23.9
	40	1	3	3	3	4	7	7	8	17	17	117	27.5
	45	2	2	3	3	7	6	8	12	17	19	131	30.8
	50	2	3	3	5	6	7	8	15	17	26	149	34.3
%O <sub>2</sub>		21	21	21	21	21	21	21	21	21	21		

### PARADAS

m	min	33m	30m	27m	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
57	20		1	1	1	1	3	3	3	5	8	8	62	15.2
	25		1	1	2	2	3	4	4	7	8	13	78	19.0
	30	1	1	1	3	3	3	4	7	8	10	17	96	23.1
	35	1	1	2	3	3	3	7	7	8	15	17	110	27.0
	40	1	2	2	3	3	6	7	7	11	16	18	124	31.1
	45	1	3	2	3	5	6	7	7	15	17	23	142	35.1
	50	2	2	3	3	6	7	6	11	16	16	30	160	38.9
%O <sub>2</sub>		21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21		

**Tabla B:**  
**Modelo RGBM. Mezcla de fondo aire; mezcla DECO EAN 50 y O2**

		PARADAS								T. total	%CNS
m	min	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m		
33	20							2	2	29	8.6
	25						1	3	2	36	10.5
	30					1	2	2	4	44	13.5
	35					1	3	3	4	51	15.5
	40					2	2	5	4	58	17.4
	45				1	2	3	5	4	65	19.6
	50				1	2	4	6	5	73	22.1
	%O <sub>2</sub>	21	21	21	50	50	50	50	100		

		PARADAS								T. total	%CNS
m	min	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m		
36	20					1		3	1	30	9.3
	25					1	2	2	3	38	12.4
	30				1	1	2	3	4	46	15.3
	35				1	2	2	5	4	54	17.7
	40				2	2	3	5	4	61	20.1
	45				2	2	5	5	5	69	22.8
	50			1	2	2	5	6	7	78	26.4
	%O <sub>2</sub>	21	21	50	50	50	50	50	100		

		PARADAS								T. total	%CNS
m	min	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m		
39	20				1		2	2	2	33	11.2
	25				1	1	3	2	3	41	14.3
	30			1	1	2	2	4	4	50	17.9
	35			1	1	2	3	6	4	58	20.4
	40			1	2	2	4	6	5	66	23.6
	45			2	2	2	5	6	7	75	27.4
	50			2	2	4	5	5	9	83	30.9
	%O <sub>2</sub>	21	21	50	50	50	50	50	100		

PARADAS											
m	min	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
42	20				1	1	2	2	3	35	13.3
	25			1	1	2	2	3	4	44	17.2
	30		1		2	2	2	5	4	52	20.8
	35		1	1	2	2	4	5	4	60	24.1
	40		1	2	2	2	5	6	6	70	28.5
	45		1	2	2	4	5	5	8	78	32.2
	50		2	1	3	4	5	8	8	87	36.1
	%O <sub>2</sub>	21	50	50	50	50	50	50	100		

PARADAS											
m	min	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
45	20			1	1	1	2	3	3	37	15.0
	25		1	1	1	2	2	4	4	46	19.6
	30		1	1	2	2	3	6	4	55	23.1
	35	1	1	2	2	2	5	5	5	64	27.2
	40	1	2	1	2	4	5	5	8	74	32.5
	45	1	2	2	2	5	5	7	8	83	36.3
	50	2	2	2	3	5	5	9	9	93	40.2
	%O <sub>2</sub>	21	50	50	50	50	50	50	100		

PARADAS												
m	min	24m	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
48	20			1	1		2	2	3	3	39	16.9
	25		1	1	1	2	2	2	5	4	50	21.6
	30		1	1	2	2	2	4	5	4	58	25.3
	35		2	2	1	2	3	5	6	6	69	30.6
	40	1	2	2	1	3	4	5	6	8	79	35.3
	45	1	2	2	2	4	4	5	9	8	89	39.6
	50	1	3	2	3	4	4	5	12	8	99	43.6
	%O <sub>2</sub>	21	21	50	50	50	50	50	50	100		

### PARADAS

m	min	30m	27m	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
51	20			1	1	1	1	2	2	3	4	42	19.2
	25		1	1	1	1	2	2	3	5	4	52	23.4
	30		1	1	2	1	2	3	4	6	5	62	28.8
	35		1	2	2	2	2	4	5	5	8	73	34.5
	40		2	2	2	2	3	5	5	7	9	84	39.4
	45		2	3	2	3	4	4	5	11	8	94	43.5
	50		3	3	2	4	4	4	7	12	8	104	47.8
%O <sub>2</sub>	21	21	21	50	50	50	50	50	50	50	100		

### PARADAS

m	min	30m	27m	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
54	20		1	1	1	1	1	2	3	4	4	45	21.2
	25		1	2	1	2	2	2	3	6	4	55	26.0
	30	1	1	2	2	1	2	4	5	5	6	66	32.1
	35	1	1	3	2	2	3	4	5	6	8	77	37.8
	40	1	2	3	2	2	4	5	5	9	8	88	42.7
	45	1	3	3	2	3	5	4	6	12	8	99	47.6
	50	2	3	2	3	4	4	5	8	12	8	108	53.1
%O <sub>2</sub>	21	21	21	50	50	50	50	50	50	50	100		

### PARADAS

m	min	33m	30m	27m	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	T. total	%CNS
57	20			1	2	1	1	2	2	2	5	4	48	23.3
	25		1	1	1	2	2	2	2	4	6	4	58	29.4
	30		1	2	2	2	2	2	4	5	5	7	70	35.8
	35	1	1	2	3	2	2	4	4	5	8	8	83	41.9
	40	1	2	2	3	2	3	4	5	5	11	8	94	47.4
	45	1	2	3	3	3	3	4	5	8	11	8	104	53.1
	50	1	3	2	3	4	4	4	5	10	11	10	115	60.1
	%O <sub>2</sub>	21	21	21	21	50	50	50	50	50	50	50	100	

## CUESTIONES CAPÍTULO 1

1. ¿Cuál es el límite de profundidad utilizando aire y por qué?

.....

2. Marca con una X la contestación correcta:

a. EAN25 significa que la mezcla tiene un 25 % de nitrógeno \_\_\_\_\_

b. EAN25 significa que la mezcla tiene un 25 % de oxígeno \_\_\_\_\_

c. EAN25 significa que la mezcla tiene un 75 % de nitrógeno \_\_\_\_\_

d. El aire es EAN21 \_\_\_\_\_

3. Indica 8 situaciones que te obliguen a no realizar una inmersión si no se corrigen:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

4. Calcula la profundidad a la que una mezcla de EAN32 es más efectiva para la DECO.

.....

5. ¿Cuál debe ser la velocidad máxima de ascenso entre 3 y 0 m?

.....

6. ¿Cuánto tiempo debemos quedarnos respirando en superficie antes de subir al barco?

.....

7. ¿Cuánto tiempo debemos quedarnos respirando oxígeno en superficie?

.....

8. Indica de los siguientes signos y síntomas cuáles corresponden con la ED y a que tipo (I ó II)

a. Vértigo, mareo, zumbidos en los oídos \_\_\_\_\_

b. Dolor articular, leve o fuerte, en hombros, codos, muñecas y rodillas \_\_\_\_\_

c. Entumecimiento, hormigueo, debilidad \_\_\_\_\_

d. Parálisis \_\_\_\_\_

e. Somnolencia \_\_\_\_\_

f. Dificultad respiratoria \_\_\_\_\_

g. Picor, más o menos intenso \_\_\_\_\_

h. Visión en túnel \_\_\_\_\_

i. Aparición de pequeñas manchas rojizas o azul oscuro \_\_\_\_\_







# Capítulo 2

A photograph of two divers underwater. The diver in the foreground is wearing a black wetsuit and a scuba tank with 'AQUA LUNG' written on it. They are holding onto a vertical rope on the right side of the frame. Bubbles are rising from the divers, creating a vertical trail of white foam. The background is a deep blue, suggesting a deep underwater environment.

## *Precauciones especiales en una inmersión de alto riesgo*

*Más y más seguro.  
Qué gases necesitamos, qué botellas, cómo configurar el equipo, la hipotermia, la narcosis, el CO<sub>2</sub>, cómo hacer la descompresión... ¿y si se interrumpe?*

## Vamos a conocer

1. *Qué son y por qué las llamamos inmersiones de alto riesgo*
2. *Qué factores importantes debemos considerar para su planificación*

Describir las inmersiones que vamos a realizar con la formación obtenida en este curso de Nitrox Técnico como inmersiones de alto riesgo puede parecer una forma de hacerlo alarmista o un reclamo para buceadores temerarios. Pero consideramos que estos son los justos términos que las describen y esperamos que las precauciones que vamos a mencionar en este capítulo y todas las expuestas en el anterior sirvan para que se realicen con el margen de seguridad suficiente para que la confianza del buceador prudente se fortalezca y el temerario se vaya a buscar otras aventuras para él más sugestivas.

Recordemos que en el buceo técnico nos preparamos y nos dotamos de los medios necesarios para hacer seguro lo que antes no era aconsejable. Por eso insistimos una vez más en que es una forma nueva de plantear y realizar las inmersiones con descompresión.

Concretamente cuando hablamos de inmersiones de alto riesgo nos referimos tanto a inmersiones con descompresión que se planifiquen superando los 40 m de profundidad como a las que se planifiquen a menos de 40 m y tengan un tiempo total de ascenso superior a 10 min.

Pero ni siquiera los límites para establecer la definición de inmersiones de alto riesgo son del todo nítidos.

Hasta ahora si teníamos la posibilidad de bucear, por ejemplo, en un pecio que estaba a 39 m, simplemente, acordábamos con el equipo de buceadores con los que íbamos a bajar la DECO máxima que íbamos a hacer y la presión de la botella con la que debíamos iniciar el ascenso. En estos casos, la DECO prevista no era superior a 5 min y para llevar aire suficiente eligíamos una botella de 15 o 18l.

Durante la inmersión vigilábamos la presión y el tiempo límite, y cuando llegábamos a los límites establecidos subíamos. Poniéndonos ese límite de 5 min de DECO y una presión de 70 atm para subir, por ejemplo, normalmente permanecíamos 20 min en el fondo y subíamos haciendo una parada de 4 min (tablas US Navy) a 3 m, total 9 min de ascenso.

Pero hay otra forma de plantearse esta misma inmersión. Primero nos planteamos el objetivo de permanecer 30 min en el fondo viendo el pecio. Segundo calculamos el plan A de ascenso (si lo hacemos con el modelo RGBM nos salen 28 min de ascenso) y el plan B (con el mismo modelo 38 min de ascenso). Tercero, calculamos cuanto aire y oxígeno para la última parada necesitamos y, cuarto, nos dotamos de todos los medios y tomamos todas las precauciones que vamos a estudiar en este capítulo.

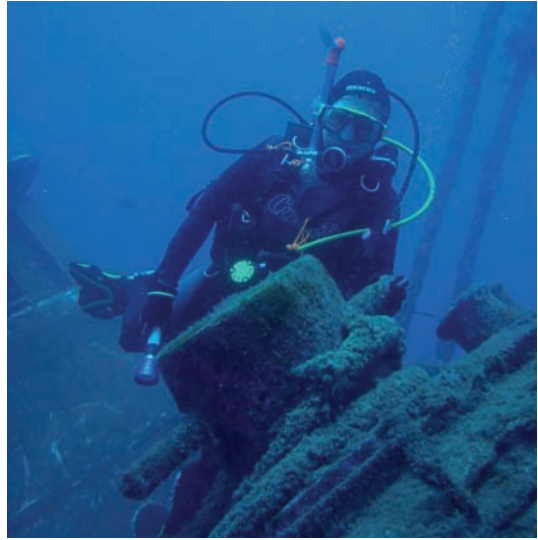
Si comparamos las dos formas de realizar la inmersión veremos que en la segunda no sólo permanecemos más tiempo en el fondo y podemos disfrutar más de ella sino que esa inmersión de “alto riesgo” la realizamos con mayor seguridad porque: tenemos garantizado el aire y el oxígeno para lo que vamos a hacer y para una contingencia, realizamos paradas profundas, utilizamos una mezcla más oxigenada en el ascenso, utilizaremos el equipo apropiado y seguiremos los protocolos oportunos para esa inmersión. Más y más seguro: Buceo Técnico.

Siguiendo con la caracterización de las inmersiones de “alto riesgo” hay que tener en cuenta que existe una serie de factores que determinan no sólo el nivel de dificultad sino la planificación que se debe realizar de una inmersión. Vamos a considerarlos.

El primer factor que condiciona una inmersión es el relieve del fondo porque determina la forma de ascenso y descenso, la profundidad máxima y el lugar de fondeo de la embarcación o de retorno a la superficie (aunque, también, se puede ascender por una boya fondeada o a dejándose llevar a la deriva).

Según como sea ese relieve podemos clasificar las inmersiones en:

- A. Inmersiones de fondo oblicuo (fig. 2.2). Cuando existe una pendiente por la que se puede descender gradualmente hasta el fondo o hasta la máxima profundidad prevista como, por ejemplo, el derrumbe de un acantilado o la ladera de un bajo. Este tipo de relieve tiene sus ventajas porque permite una orientación mejor en el regreso/ascenso y, en el caso de que exista corriente, podemos encontrar protección en sus oquedades. Además, puede que encontremos en ese relieve un lugar donde realizar las paradas de descompresión cómodamente.
- B. Inmersiones con un fondo horizontal (fig 2.3): Cuando desde la superficie del agua hasta el fondo no existe ningún elemento de la morfología del relieve que podamos seguir. Descendemos entonces a lo largo del cabo del ancla, de otro cabo de fondeo o en “caída libre”.



*Figura 2.1 La misma inmersión en un pecio se puede afrontar de dos maneras distintas.*

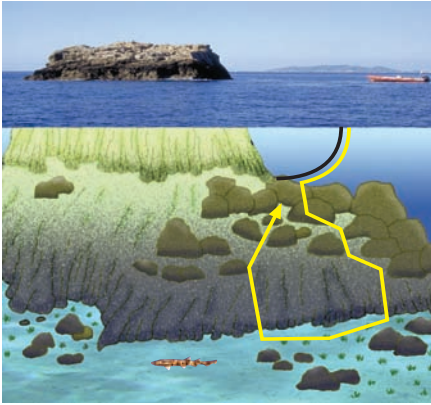


Figura 2.2 Inmersión de fondo oblicuo

Cuando vayamos a utilizar la misma mezcla para el fondo y la descompresión hay que transportar la cantidad de gas suficiente como para terminar la descompresión incluso si surge una emergencia. No es conveniente confiar la resolución de emergencias a botellas que cuelgan del cabo de ascenso, denominadas botellas de respeto (fig. 2.4), a no ser que la inmersión sea con un perfil oblicuo y que podamos regresar fácilmente hasta allí o que las descompresiones previstas sean muy cortas.

Si pensamos realizar la descompresión con una o más mezclas de etapa no podemos arriesgarnos a no tenerlas en el momento justo y lo más oportuno es llevar con nosotros las botellas que las contienen. No es conveniente, por tanto, que las botellas de etapa cuelguen como botellas de respeto. Porque si no pudiésemos llegar a ellas debido a un incidente, tendríamos que realizar la descompresión con la mezcla de fondo. Para una situación así, deberíamos tener previsto cuál debería ser el plan de ascenso con la mezcla de fondo y llevar la cantidad necesaria.

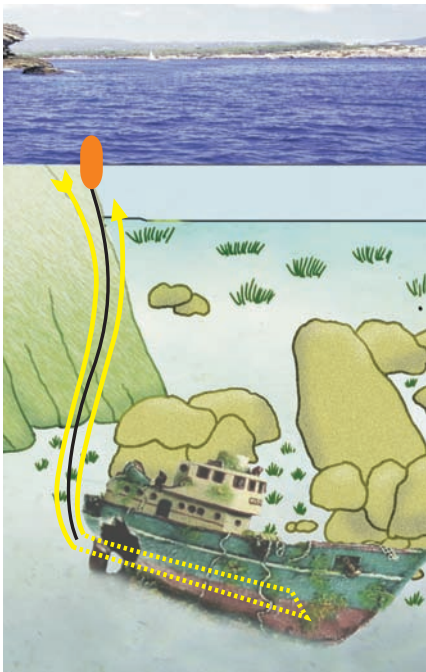


Figura 2.3 Inmersión de fondo horizontal

La única ventaja de este tipo de perfil es la rapidez porque siguiendo una línea recta desde la superficie llegamos al fondo (esto, si no existe una fuerte corriente que nos desplace o curve exageradamente el cabo de descenso).

Otro factor que influye es si vamos a entrar o no en descompresión. En caso afirmativo, puede que la realicemos con la misma mezcla respiratoria que utilizamos para el descenso y permanencia en el fondo (mezcla de fondo) o que utilicemos una o más mezclas diferentes (mezclas de descompresión o de etapa).

Por último hay un factor decisivo para la planificación de una inmersión que es el retorno obligado o no.

En la mayoría de las inmersiones en cualquier momento podemos realizar el ascenso a superficie desde el lugar en que nos encontramos. Lanzamos una boya (fig. 2.5) desde el fondo para orientar nuestro ascenso y ser vistos desde la superficie y subimos realizando el plan de ascenso previsto o uno alternativo. Pero hay situaciones en que esto no es posible. Por ejemplo, queremos explorar una galería horizontal que es muy ancha, tiene una longitud de 200 m y se encuentra a 35 m de profundidad. En este caso no podemos iniciar el ascenso hasta que no hemos dado la vuelta y llegado de nuevo a la entrada de la galería.

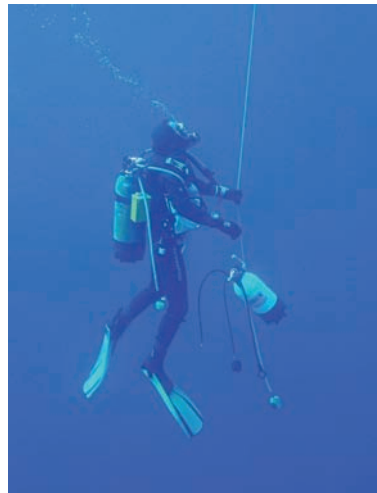


Cualquier inmersión bajo un techo nos obliga a regresar por el camino que hemos llevado para poder subir a la superficie y, como ya sabemos, **a tener una formación especial para realizarla**. En esos casos suele ser seguro que dejemos las botellas con la mezcla de descompresión en algún lugar del recorrido puesto que a la vuelta, obligatoriamente, tenemos que pasar por allí.

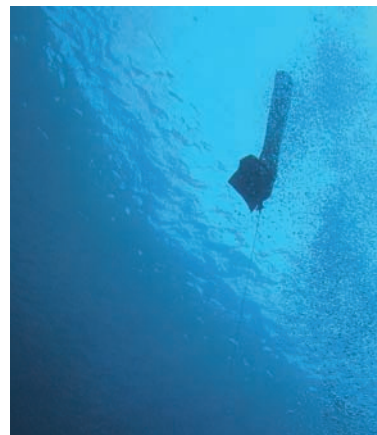
Hay inmersiones que nosotros podemos convertir en inmersiones de retorno obligado aunque no se realicen bajo un techo. Por ejemplo, deseamos descender a ver un pecio que está a 56 m de profundidad, en aguas poco claras y con alta probabilidad de que haya corriente. Como es muy conveniente que el descenso y el ascenso lo realicemos por el mismo cabo de fondeo por comodidad y seguridad, para asegurarnos que lo conseguimos podríamos plantearnos ir por el fondo instalando un cabo guía que habríamos hecho firme al fondeo y por el que regresaríamos. De esta manera, aunque pudiésemos en cualquier momento ascender ya que no hay techo, hemos convertido la inmersión en una de retorno obligado.

Generalmente, lo más seguro es que el buceador lleve encima el gas necesario de fondo y descompresión, tanto para realizar la inmersión con normalidad como para resolver una emergencia.

Evidentemente, hay otras condiciones de la inmersión como son el estado de la mar, la presencia de corrientes, la profundidad, la visibilidad y la cantidad de equipo que llevamos encima, que pueden ser otros factores a tener en cuenta pero con los que ya hemos considerado podemos caracterizar suficientemente las inmersiones para establecer unas pautas comunes en la elaboración de los planes de ascenso.



*Figura 2.4 las botellas de respeto son una medida más de seguridad pero no debemos esperar que resuelvan todas las contingencias*



*Figura 2.5 Una boya siempre es útil para un ascenso de emergencia*

## **No** debemos olvidar

- 1. Lo más conveniente es que el buceador lleve encima los gases previstos para el consumo normal y de emergencia, tanto para el fondo como para la descompresión.*
- 2. En el caso de que no se lleve encima alguna de las mezclas necesarias para la descompresión el buceador debe transportar la cantidad de gas necesario de las otras mezclas como para realizar un plan de ascenso de emergencia con ellas.*
- 3. Si por razones de fuerza mayor no pudiera transportar las mezclas necesarias para la descompresión la inmersión se convertiría en una inmersión de "retorno obligado" que exige una planificación y control especiales.*

## Vamos a conocer

1. Cómo calcular las cantidades de gases que necesitamos para la respiración
2. Cómo elegir las botellas donde portarlos
3. Cómo gestionar los gases durante la inmersión

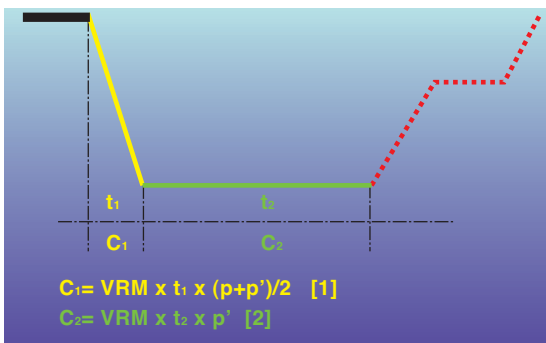
En el capítulo anterior vimos como elaborar un plan de ascenso con diferentes herramientas: tablas, programas y ordenadores. Una vez que establecemos el plan de ascenso con los tiempos que vamos a permanecer a cada profundidad tenemos que hacer una previsión del consumo de los diferentes gases que vamos a utilizar para elegir las botellas que necesitamos.

Empezaremos dividiendo el perfil de la inmersión en determinadas fases, considerando cada fase como el intervalo de tiempo en el que estamos a una misma profundidad o en el que cambiamos de cota con una velocidad más o menos constante.

A la cantidad de gas que vamos a consumir en una fase de la inmersión lo vamos a llamar  $C_f$  consumo en la fase  $f$  y vendrá expresado en los litros que ocuparía ese gas a una atmósfera. Sabemos que el  $C_f$  tiene que ser proporcional a la presión ambiente y al tiempo que permanezcamos a esa profundidad y lo que cambia según el buceador y su estado es el factor de proporcionalidad, llamado tasa de consumo o volumen respirado por minuto VRM.

**El volumen respirado por minuto VRM** son los litros que consumimos en un minuto y a una atmósfera. Sus unidades son: l/minxatm.

Ya hemos dicho que no es un valor fijo y que depende de cada buceador y de su estado físico y psíquico aunque, generalmente, se toma como 20 l/minxatm en condiciones normales.



Para calcular los litros de gas que consumimos, por ejemplo  $C_2$ , en la fase 2 de la inmersión de la fig. 2.6 que es la fase de permanencia en el fondo (durante la que no cambia ni la profundidad ni el estado del buceador) utilizamos la siguiente expresión:

$C_2$  (consumo en la fase 2) = VRM x t (tiempo en min) x  $P'$  (presión absoluta en fase 2)

Figura 2.6 Consumo en el descenso y fondo

Por ejemplo, si el VRM es de 20 l/minxatm permaneciendo a 10 m de profundidad durante 60 min consumimos:

$$C_2 = 20 \text{ l/minxatm} \times 2 \text{ atm} \times 60 \text{ min} = 2.400 \text{ l.}$$

Para calcular el consumo durante una fase en que cambiamos de profundidad como por ejemplo  $C_1$ , utilizamos la misma fórmula pero tomando la presión media (expresión [1] fig. 2.6). Por ejemplo, en la fase 1 de descenso, si el VRM es de 20 l/minxatm y descendemos de 0 a 20 m en un minuto, entonces consumimos:  $C_1=20 \text{ l/minxatm} \times 1 \text{ min} \times (1+3)/2 \text{ atm}= 40 \text{ l}$ . En el ascenso se hace igual; se calcularían los consumos de la misma forma tanto en las paradas como cuando se este cambiando de profundidad.

No sabemos el VRM con precisión porque varía para cada buceador. Incluso para un mismo buceador depende de su estado físico, de las condiciones exteriores y del esfuerzo realizado.

En general el consumo de gas respirado depende de múltiples factores, entre los cuáles cabe señalar:

- a. Los relacionados con la fisiología de cada buceador:
  - Peso.
  - Metabolismo.
  - Estado de los alvéolos.
  - Estado y cantidad de hemoglobina.
  - Densidad de mitocondrias y afinidad celular del oxígeno.
- b. Los que pueden cambiar para un mismo buceador de una inmersión a otra o de un momento a otro:
  - El estado psicológico (relajación o tensión)
  - Las técnicas de navegación y flotabilidad utilizadas.
  - La temperatura del agua.
  - Los esfuerzos intensos.
- c. El esfuerzo necesario para inspirar y espirar el aire por el regulador y su caudal.

Para comprender mejor la influencia de estos factores conviene que repasemos algunas cuestiones sobre la fisiología de la respiración que se exponen en el apéndice al final del libro.

Respecto a la actividad que desarrollamos durante la inmersión podemos considerar que hay un período de tiempo diferente: la descompresión. En las paradas solemos estar con poca actividad y por tanto el consumo es menor.



Figura 2.7 Se puede reducir el consumo en una parada de descompresión si se realiza cómodamente



Por eso diferenciamos:

1.  $VRM_N$  Volumen respiratorio por minuto normal durante una navegación normal por el fondo y...
2.  $VRM_D$  Volumen respiratorio por minuto de DECO durante el reposo en la parada de descompresión.

Es evidente que en determinadas situaciones como nadando contra contracorriente, compartiendo el gas con un compañero, teniendo cierto grado de narcosis, etc., estos  $VRM_N$  y  $VRM_D$  aumentarían y tendríamos que considerar un volumen respiratorio excepcional, o sea, de emergencia  $VRM_E$

Para elegir el valor de estos VRM podemos hacerlo tomando los valores estándar de  $VRM_N = 20$  y  $VRM_D = 15$  ó intentar particularizarlos para nosotros de manera experimental.

Una manera de obtener experimentalmente el VRM en condiciones normales ( $VRM_N$ ) es navegar con todo el equipo puesto por un fondo horizontal (sirve el de una piscina) con una presión absoluta ( $P_a$ ) constante durante unos diez minutos. Y con los datos de: presión inicial de la botella ( $P_i$ ), la final ( $P_f$ ) y la capacidad de la botella ( $K$ ) calculamos mediante la fórmula:

$$VRM_N = \frac{(P_i - P_f)K}{P_a \times 10}$$

Otro procedimiento para obtener el  $VRM_N$  es utilizar los datos de las inmersiones normales (sin problemas ni corrientes) que hemos hecho con un ordenador que tiene gestión de aire, tomamos nota de ellos y calculamos la media de todos los VRM que el ordenador tiene almacenados.

Sin embargo, la previsión del  $VRM_E$  es difícil de hacer porque depende de la emergencia que lo provoque. No aumentaríamos el consumo de la misma forma, por ejemplo, por realizar un esfuerzo excepcional aleteando contra corriente que por compartir aire con el compañero. Por esta razón, para calcular el aumento de consumo trabajaremos con coeficientes de seguridad  $S$ .

Así, calculamos el  $VRM_E$  multiplicando el  $VRM_N$  por un coeficiente  $S$  que elegiremos según las circunstancias que pueden desencadenar la emergencia.

La experiencia nos permitirá ir ajustando los valores de los VRM cada vez más pero nunca debemos reducir el coeficiente de seguridad porque precisamente las emergencias son eso: emergencias, situaciones excepcionales en que no se cumplen los promedios.

## Cálculo de las cantidades mínimas de los gases que debemos llevar

Con lo que sabemos ya podemos realizar el cálculo de cuál es el consumo previsto para una inmersión. Sólo tenemos que hacer el cálculo del consumo en cada fase y sumar los consumos correspondientes de cada gas que vamos a emplear.

Calculémoslo utilizando el esquema general de una inmersión.

El esquema de la figura 2.8 nos puede valer tanto si utilizamos la misma mezcla de fondo para la DECO como si utilizamos una o dos mezclas diferentes para la DECO porque lo hemos dibujado con dos paradas.

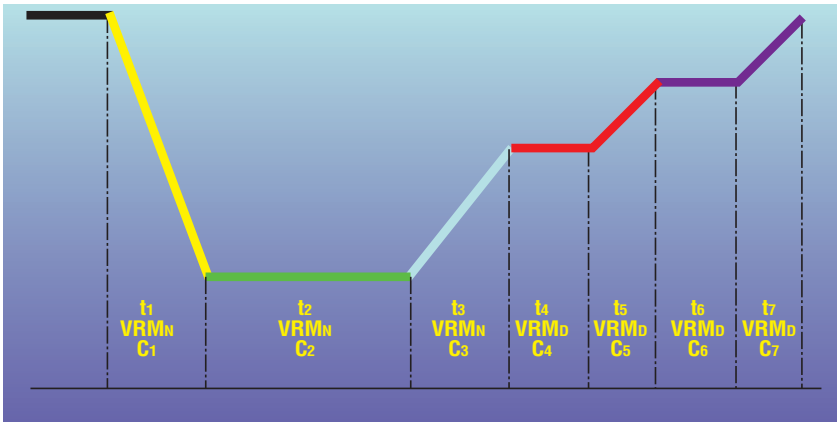


Figura 2.8 Esquema general de una inmersión con DECO

En cada una de las fases (siete en este ejemplo) tendremos un tiempo de duración, un VRM elegido y, por tanto, podemos hacer el cálculo del consumo en cada fase C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7 como explicamos en el apartado anterior.

Si fuéramos a utilizar sólo un gas (aire o nitrox) en toda la inmersión calcularíamos su consumo previsto CP como:

$$CP(\text{gas}) = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7$$

Si fuéramos a utilizar dos gases, aire y oxígeno, por ejemplo, calcularíamos su consumo como:

$$CP(\text{aire}) = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5; \quad CP(\text{oxígeno}) = C_6 + C_7$$

Y si fuéramos a utilizar tres gases: aire como mezcla de fondo, EAN50 en la primera parada y oxígeno en la segunda, calcularíamos su consumo como:

$$CP(\text{aire}) = C_1 + C_2 + C_3; \quad CP(\text{EAN50}) = C_4 + C_5; \quad CP(\text{oxígeno}) = C_6 + C_7$$

Estos son los cálculos que realizan los programas informáticos para establecer los consumos. Pero, ¿sólo debemos llevar el gas correspondiente al consumo previsto para que la inmersión se realice en condiciones normales? ¿en qué cantidad lo incrementamos para una emergencia?

Para responder a estas preguntas vamos a tener en cuenta previamente lo que es:

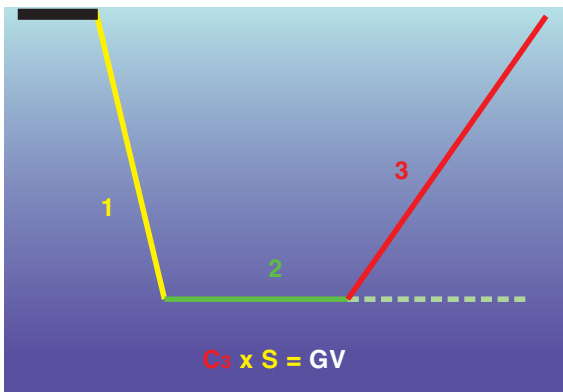
**GAS VITAL (GV)** es la mínima cantidad de gas necesaria en una situación de emergencia para llegar hasta la superficie o hasta donde pueda ser sustituido por otro gas sin que ocurra un accidente.

Es decir, es el gas que necesitamos tener en todo momento para que si surge cualquier emergencia pudiéramos subir correctamente a la superficie sin ahogarnos y evitando un accidente de descompresión.

La cantidad de gas vital no es la misma en cada inmersión, dependerá de la forma en que esté previsto realizar el ascenso. Para entenderlo mejor vamos a considerar cuatro casos:

**Primer caso:**  
**inmersión sin descompresión y sin retorno obligado, es decir, podemos subir hasta la superficie desde cualquier lugar del fondo** (fig. 2.9).

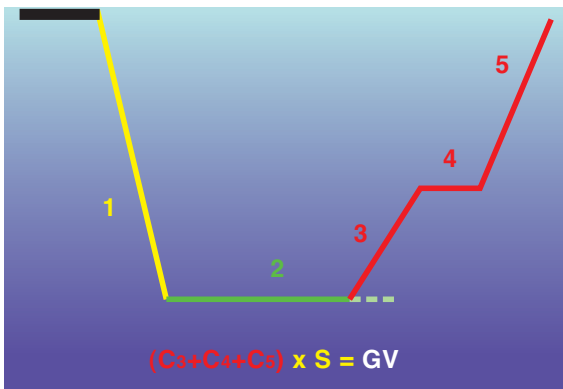
Figura 2.9



Entonces, el gas vital será el necesario para el consumo durante el ascenso (fase 3 en la figura 2.9) pero calculado con el VRME o, lo que es igual, el consumo calculado para el ascenso con el VRMN multiplicado por el factor de seguridad. Matemáticamente da igual multiplicar el consumo previsto con el VRMN por el coeficiente de seguridad que hacerlo con el VRME para obtener el consumo de emergencia: el gas vital. Pero, ¿qué factor de seguridad? Sobre esto reflexionaremos más adelante.

**Segundo caso:**  
**inmersión con descompresión en la que se va a utilizar en las paradas la mezcla de fondo** (fig. 2.10).

Figura 2.10



Si la emergencia ocurre justo en el momento que vamos a iniciar el ascenso cuando hemos consumido la mayor parte del gas de fondo, entonces, el gas vital será el consumo que realizaríamos durante el ascenso y la descompresión (fases 3, 4 y 5 de la figura 2.10) respirando al ritmo respiratorio de emergencia calculado multiplicado los consumos previstos por el factor de seguridad.

**Tercer caso:**

**inmersión con descompresión utilizando en las paradas otra mezcla diferente a la del fondo y que lleva encima el buceador (fig. 2.11).**

Supongamos también que la emergencia ocurre en el peor momento, cuando vamos a iniciar el ascenso y ya hemos gastado la mayor parte del gas de fondo. Entonces, necesitaríamos como gas vital de la mezcla de fondo el que consumiríamos durante el ascenso hasta la primera parada donde se cambia de mezcla (fase 3 de la figura 2.11), o sea, el consumo previsto para esa fase multiplicado por el factor de seguridad.

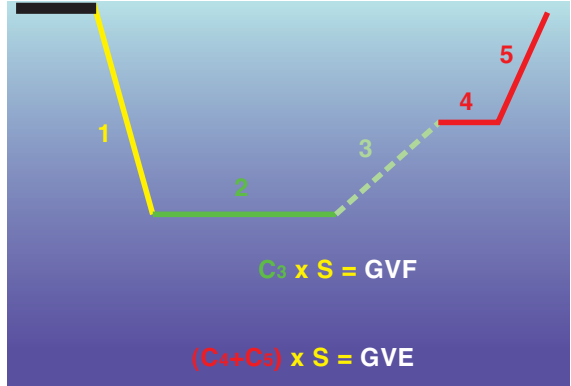


Figura 2.11

Y si la emergencia ocurre justo antes de empezar la DECO con la mezcla de etapa, por ejemplo, por pérdida de una botella o por mal funcionamiento de un regulador, entonces, necesitamos como gas vital para el resto de la descompresión el consumo previsto para la DECO (fases 4 y 5 de la figura 2.11) multiplicado por el factor de seguridad.

O sea, que tenemos que calcular el gas vital de la mezcla de fondo GVF y otro de la mezcla (o mezclas de etapa) GVE.

**Cuarto caso:**

**inmersión con retorno obligado (fig. 2.12).**

Dentro de este caso podríamos considerar tres situaciones de ascenso como las de los casos anteriores: sin descompresión, con descompresión con la mezcla de fondo y con descompresión con otras mezclas, y calcular el gas vital de etapa GVE como hemos hecho antes.

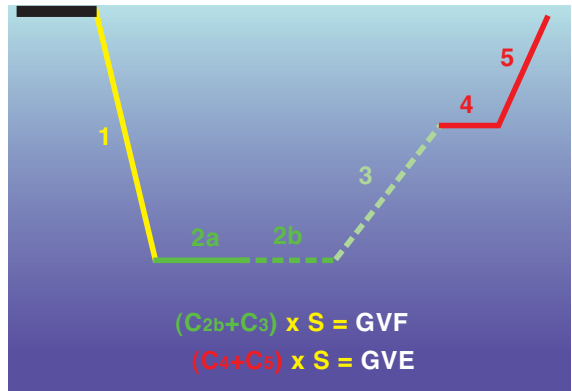


Figura 2.12

Lo que tiene de especial este cuarto caso es que para calcular el gas vital de fondo GVF hay que tener en cuenta además del gas necesario para llegar hasta la primera parada  $C_3$  el que necesitamos para el regreso  $C_{2b}$ .

Entonces, hay que multiplicar la suma del consumo de esos dos tramos por el coeficiente de seguridad.

## ***Sobre los coeficientes de seguridad***

Sirven para hacer una previsión del gas que podemos necesitar en situaciones de emergencia suponiendo que el consumo va a ser un múltiplo del consumo normal que calculamos en cada fase de la inmersión.

Ese factor, el coeficiente de seguridad, es un valor aproximado y por exceso pensando en la situación que queremos prevenir porque su valor real no se puede conocer de antemano. Ya hemos dicho antes que el volumen respiratorio de emergencia no es el mismo, por ejemplo, en el caso de que tengamos que nadar en contra de una ligera corriente que en el caso de que compartamos nuestro aire con el compañero; si tenemos que compartir el aire con nuestro compañero no es igual que él tenga un  $VRM_N$  más pequeño que nosotros o que lo tenga mayor.

Elegir un coeficiente demasiado pequeño supone hacer una previsión pequeña que puede ser insuficiente, elegirlo demasiado grande supone hacer una previsión excesiva de gas que luego tenemos que llevar encima. Se trata pues de acertar eligiéndolo lo más pequeño posible pero esperando que llegado el caso sea lo suficientemente grande.

Por otro lado, también influye para su elección lo ajustados que estemos en la previsión del  $VRM_N$ . Si hemos ajustado mucho su valor el margen de seguridad es pequeño y necesitaremos coeficientes más altos pero, por el contrario, si tomamos un valor genérico como el de 20 l/min $\times$ atm ya estamos introduciendo un mayor margen de seguridad en esa elección y el coeficiente de seguridad puede ser menor.

También, tenemos que tener en cuenta que el cálculo del gas necesario nos conduce a las botellas que necesitamos y como las botellas no pueden quedarse después de ser usadas a cero atmósferas, ni es bueno ni es seguro, eso hace que para que queden con algo de presión se incrementen ligeramente los coeficientes de seguridad.

## ***Cálculo del gas necesario GN con los coeficientes de seguridad para una inmersión en la que tenemos previsto el plan de ascenso***

En general, si adoptamos un  $VRM_N$  de 20 l/min $\times$ atm y un  $VRM_D$  de 15 l/min $\times$ atm podríamos adoptar los siguientes criterios:

**A.** Para calcular el gas necesario de la mezcla de fondo.

Siguiendo las fases del esquema de la figura 2.8, primero calculamos el gas necesario para la fase 1 y 2 multiplicando los consumos previstos en condiciones normales por el factor 1,3:

$$[(C_1+C_2)\times 1,3 ]$$

¿Por qué por un factor 1,3 si estas fases no forman parte del gas vital? Pues porque de esta manera nos aseguramos que además del gas correspondiente a la previsión de consumo que estamos haciendo obtenemos una cantidad de gas que quedará en la botella como reserva para no dejarla vacía.

Le añadimos el producto del consumo en la fase 3 multiplicado por el factor de seguridad de 2,5 porque ese gas forma parte del gas vital. Con este factor consideramos que debe quedar una cantidad de gas en la botella, como reserva, incluso después de un ascenso de emergencia.

Luego el gas necesario de la mezcla de fondo será:

$$\text{GN mezcla de fondo} = [(C_1+C_2) \times 1,3] + [C_3 \times 2,5]$$

Hemos realizado el cálculo considerando que sólo lo vamos a utilizar el gas de fondo hasta llegar a la primera parada y que allí cambiamos de mezcla. Si fuésemos a utilizar el gas de fondo en otras paradas o en todas las que quedan, le añadiríamos al obtenido como gas necesario de fondo las cantidades de los gases de etapa que vamos a calcular a continuación.

Si utilizamos valores para los VRM diferentes a los estándar porque somos muy regulares en el consumo y conocemos esa regularidad, debemos comparar los VRM de los buceadores que van a ser compañeros. En el caso de que sean muy diferentes lo apropiado es que el que menos consume realice los cálculos del gas vital con un coeficiente superior al 2,5 (2,8 por ejemplo) para poder compartirlo con el compañero que consume más o llevar los mismos gases para el ascenso que ha calculado su compañero.

En una inmersión con retorno obligado parte del gas de fondo es gas vital por eso deberíamos utilizar un factor de seguridad de 1,8 para garantizar el regreso y un resto en la botella. Así, por ejemplo, si el consumo previsto para la ida y vuelta fuese de 2000 l consideraríamos como gas necesario  $2000 \times 1,8 = 3600$  l. Una vez llegado al final del recorrido habríamos gastado 1000 l, la mitad de lo previsto, y nos quedarían 2600 l. Nos quedaría el doble para volver y cumpliríamos la regla de los tercios que luego explicaremos y 600 l de reserva que en una botella de 18 l serían 30 atm aproximadamente.



*Figura 2.13 En las inmersiones de retorno obligado los cálculos deben hacerse con mayor margen de seguridad*

- B.** Para calcular el gas necesario para las mezclas de etapa tenemos que sumar las cantidades de gas necesario que se necesitan para realizar cada parada de DECO en que se respira esa mezcla, teniendo en cuenta que:
1. En condiciones normales podemos considerar un ritmo respiratorio de 15 l/minxatm.
  2. Hay que calcular el consumo previsto en la fase correspondiente a la parada más el consumo durante el ascenso a la siguiente (el cambio de mezcla, de producirse, se realizaría al llegar a la siguiente parada).
  3. El coeficiente mínimo de seguridad debe ser 2,5.

Vamos a ilustrar todo esto con un ejemplo. Supongamos que vamos a realizar una inmersión a un fondo de 48 m en el que queremos permanecer 20 min. Tenemos EAN50 y oxígeno para la DECO.

Según las tablas basadas en el modelo RGBM tendríamos que realizar una DECO que supondría un ascenso en 19 min pero para calcular los gases necesarios vamos a considerar el plan B. Como creemos que la única incidencia posible es pasarnos en el tiempo ya que la profundidad máxima es la del fondo y no se puede superar, tomamos 25 min de tiempo de fondo. Entonces el ascenso debería ser como se indica en la tabla 2.1, permaneciendo a cada profundidad de la columna 1 (o tardando en los casos en que se cambia de profundidad) los tiempos indicados en la segunda columna.

**TABLA 2.1 Consumos**

Prof.	tiempo	GAS	RR	GP	S	GN	Total
0-48	3,2	Aire	20	217,6	1,3	282,9	4365
48-48	21,8	Aire	20	2529	1,3	3287,4	
48-24	2,6	Aire	20	245,3	2,5	613,3	
24-24	1	Aire	15	51	2,5	127,5	
24-21	0,3	Aire	15	21,7	2,5	54,2	
21-21	1	EAN50	15	46,5	2,5	116,3	
21-18	0,33	EAN50	15	19,7	2,5	49,2	
18-18	1	EAN50	15	42	2,5	105	
18-15	0,33	EAN50	15	17,7	2,5	44,2	
15-15	2	EAN50	15	75	2,5	187,5	
15-12	0,33	EAN50	15	15,7	2,5	39,2	
12-12	2	EAN50	15	66	2,5	165	
12-9	0,33	EAN50	15	13,7	2,5	34,2	
9-9	2	EAN50	15	57	2,5	142,5	
9-6	0,33	EAN50	15	11,7	2,5	29,2	
6-6	5	EAN50	15	120	2,5	300	
6-3	0,33	EAN50	15	9,7	2,5	24,2	
3-3	4	O <sub>2</sub>	15	78	2,5	195	252,5
3-0	1	O <sub>2</sub>	15	23	2,5	57,5	



Hemos considerado una velocidad de descenso de 15 m/min.

El ascenso está calculado a la velocidad de 9m/min por eso entre parada y parada sale un tiempo decimal de 1/3 de minuto y de 3 m a superficie hemos considerado la velocidad de 3m/min.

Multiplicando los consumos previstos de la columna 5 por los coeficientes de seguridad obtenemos el gas necesario para cada fase. Después ya sólo nos queda sumar las cantidades correspondientes a cada gas y nos queda: 4.365 l de aire, 1.236 l de EAN50 y 253 l de oxígeno.

## **No** debemos olvidar

- 1. Una vez calculado el plan de ascenso B, el alternativo o de emergencia, se calculan los consumos en cada fase de la inmersión de la siguiente manera: En cada fase de la inmersión se calcula:  
 $C_x$  (consumo en la fase X) = VRM x t (tiempo en min) x P (absoluta en fase X o la media si en esa fase cambiamos de cota)*
- 2. Tomando como VRMN=20 y VRMD=15, para el cálculo de los gases necesarios debemos utilizar como mínimo los coeficientes de 1,3 en las fases 1 y 2, de descenso y fondo, y 2,5 en el resto de las de ascenso.*
- 3. Cuando dos compañeros de inmersión tengan diferente VRME el que menos consume debe realizar los cálculos del gas vital con un coeficiente superior al 2,5 o copiar los gases necesarios para el ascenso calculados por su compañero.*
- 4. En el caso de inmersiones con retorno obligado el coeficiente de seguridad en las fases 1 y 2 debería ser como mínimo de 1,8.*
- 5. Los coeficientes de seguridad propuestos son una indicación para inmersiones que se realizan en condiciones normales, para inmersiones que tengan alguna complicación añadida deben utilizarse coeficientes mayores. Es el propio buceador el que debe reconocer estas situaciones y adoptar los incrementos de los coeficientes necesarios para garantizar su seguridad.*
- 6. Todos los cálculos para establecer los gases necesarios para la inmersión deben realizarse sobre el plan de ascenso B de emergencia.*
- 7. Independientemente de las cantidades de gases que se prevean y se transporten, las decisiones que tome el buceador de regresar o iniciar el ascenso durante la inmersión son, en última instancia, importantísimas para su seguridad.*

## Qué equipo necesitamos para transportar ese gas

Para llevar la mezcla de fondo podemos encontrarnos diferentes equipos formados por mono o bibotellas con diferentes presiones de carga. En función de su capacidad interna y de su presión de carga podemos establecer la tabla 2.2 para indicar los litros que ocuparía su gas si se expandiese a una atm, que por otro lado son los litros que contabilizamos para el consumo.

**TABLA 2.2 Litros en la botella según presión**

Capacidad interna	200 atm	210 atm	220 atm	230 atm	240 atm
5 l.	1000	1050	1100	1150	1200
7 l.	1400	1470	1540	1610	1680
10 l.	2000	2100	2200	2300	2400
12 l.	2400	2520	2640	2760	2880
15 l.	3000	3150	3300	3450	3600
18 l.	3600	3780	3960	4140	4320
20 l.	4000	4200	4400	4600	4800
2x10 l. = 20 l.	4000	4200	4400	4600	4800
2x15 l. = 30 l.	6000	6300	6600	6900	7200
2x18 l. = 36 l.	7200	7560	7920	8280	8640
2x20 l. = 40 l.	8000	8400	8800	9200	9600

Para obtener la tabla 2.2 hemos utilizado la fórmula:

litros a 1 atm = Capacidad interna equipo  $\times$  Presión de carga (1)

Todas las botellas deberán estar contrastadas para la presión de trabajo con que se vayan a utilizar, especialmente aquellas que se van a utilizar con presiones superiores a las 200 atm y, lógicamente, el compresor igual. De no ser así, no sólo se incumple la ley sino que el riesgo que se corre al cargarlas es muy alto y los accidentes pueden ser muy graves.

Para calcular qué botellas necesitamos utilizemos como ejemplo los resultados de la inmersión anterior (tabla 2.1).

Lo primero que hacemos es buscar en la tabla 2.2 una cantidad de litros a 1 atm ligeramente superior a esos 4.365 l que en nuestro ejemplo anterior queremos llevar. Encontramos la cantidad de 4.400 que corresponde a una botella de 20 l o a



*Figura 2.14 Las botellas de etapa no es necesario que sean de más de 10 l*

un bibotella de 2x10 l cargados a 220 atm. Si disponemos de un equipo bibotella de 2x10 l que podemos cargar a 220 atm ese será el equipo que elegiremos para llevar la mezcla de fondo. Evidentemente, si no dispusiéramos de un equipo que pueda llevar esos 4.365 l tendríamos que ajustar la inmersión (reduciendo los tiempos en el fondo o la profundidad) hasta que la cantidad de gas necesario sea menor que la que puede llevar nuestro equipo.

Comprobamos que sumando los consumos previstos en condiciones normales  $217,6 + 2.529 + 245,3 + 51 + 21,7$  obtendríamos 3.072,7 l, o sea, que en esas condiciones al llegar a la parada de los 21 m, donde tenemos que cambiar y empezar a respirar el EAN50, nos quedarían en la bibotella  $4.400 - 3072,7 = 1.327,30$  l. Aplicando la fórmula (1) si dividimos el aire que queda por la capacidad interna de la bibotella y calculamos a la presión resulta que es de 66 atm aproximadamente.

¿Es poco o mucho ese resto de 66 atm?... Es suficiente.

Primero, es suficiente porque recordemos que estamos realizando los cálculos sobre el plan B que es un plan de ascenso de emergencia y que el plan A que es el que esperamos cumplir, supone unos 580 l menos de consumo pues son 5 min menos en el fondo.

Segundo, porque si a los 25 min de permanecer en el fondo tuviéramos que realizar un ascenso de emergencia, al llegar a los 21 m habríamos gastado  $217,6 + 2529 + 613,3 + 127,5 + 54,2 = 3.541,6$  l, quedando en el equipo  $4.400 - 3.541,6 = 858,40$  l que equivalen a una presión de 43 atm aproximadamente.

Para los gases de DECO actuaríamos de la misma forma. Los 1.236,6 l de EAN50 los podríamos llevar en una botella de 7 l a 200 atm o en una de 10 l a 150 atm.

De la misma manera calculamos que los 253 l de oxígeno los podríamos llevar en una botella de 5 l cargada a 100 atm.

Aunque no se ha contado con ello en los cálculos, hay que recordar lo beneficioso que es seguir respirando oxígeno 5 min en superficie y por eso debemos utilizar un equipo que contenga unos 100 l más de los calculados.

### **La gestión de los gases durante la inmersión**

Hemos aprendido a calcular las cantidades de gas necesarias GN y a elegir los equipos que necesitamos. Ahora, se trata de que aprendamos co-



*Figura 2.15 Además de las previsiones hechas en el fondo hay que administrar el gas respirable*

mo administrar ese gas durante la inmersión es decir, a tomar decisiones observando el manómetro que indica la presión de la botella.

Lógicamente, la administración del gas tiene relevancia en lo que se refiere al gas de fondo porque tenemos que decidir con qué presión nos damos la vuelta (presión de vuelta PV), tanto si el retorno es obligado o no, y con cual iniciamos el ascenso (presión de ascenso PA) ya que la utilización de los gases de descompresión esta determinada por los tiempos que tenemos establecidos en cada parada.

Como norma general, aunque no haya pasado el tiempo de fondo, debemos comenzar el ascenso con la misma presión que tendríamos si hubiésemos consumido lo previsto sin multiplicar por ningún factor de seguridad.

En nuestro ejemplo teníamos previsto consumir en el descenso  $C_1=217,6$  l y en el fondo  $C_2= 2.529$  l, es decir, 2.746,6 l. Con el equipo que llevamos nos quedarían  $4.400 - 2.746,6 = 1.653,4$  l y si dividimos por 20, la capacidad en litros del equipo, nos da 82,7 atm de presión. Redondeando deberíamos comenzar el ascenso con 90 atm.

Si todo sale como esperamos llegaríamos a la parada de los 21 m donde hay que cambiar de mezcla con 67 atm y si hubiéramos realizado un ascenso de emergencia con casi 40 atm. Son unos márgenes seguros.

Si existiese alguna posibilidad de que no dispusiéramos de las mezclas de DECO en el momento oportuno, tendríamos que considerar todo el ascenso, con la DECO calculada para aire, como gas vital y volver a hacer los cálculos pensando que debemos llevarlo todo encima en el momento de iniciar el ascenso.

Si queremos regresar por el fondo, por ejemplo, al cabo por donde hemos descendido debemos repartir el tiempo que utilizamos en desplazarnos en una parte para ir y otra para volver. En nuestro ejemplo el tiempo de fondo era de 20 min y podríamos dedicar los 12 primeros minutos para descender y avanzar y los 8 últimos para volver.

Con el aire podemos hacer lo mismo. Si vamos a iniciar el ascenso con 90 atm vamos a consumir antes 130 atm (220-90) y podemos, por tanto, repartirlas y utilizar 70 atm para descender e ir y 60 atm para volver.

Es decir, que iniciaríamos el regreso a los 12 min de inmersión o antes si nuestro manómetro marca 150 atm de presión.

Y de igual manera iniciaríamos el ascenso a los 20 min de inmersión o antes

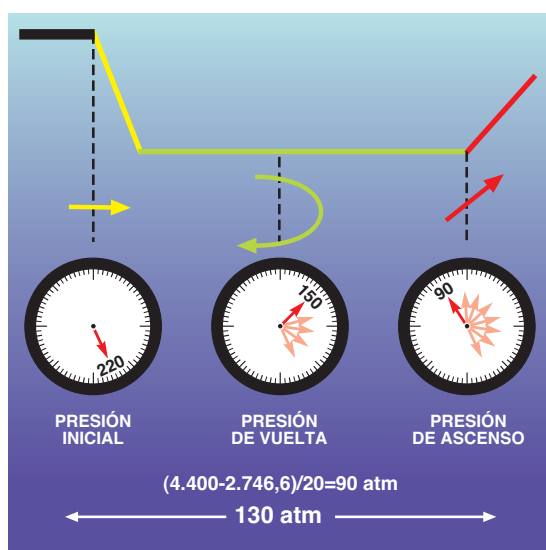


Figura 2.16 Presión de vuelta y de ascenso

si nuestro manómetro marca 90 atm de presión.

Hacer el seguimiento durante la inmersión de la presión con la que debemos iniciar el regreso PV o con la que debemos iniciar el ascenso PA, independientemente de que no hayan pasado los intervalos de tiempo previstos, es fundamental para garantizar nuestra seguridad y es una práctica que el buceador debe realizar constantemente.

Las inmersiones con retorno obligado requieren unos cálculos más complejos para hacer las previsiones de consumo, pondremos un ejemplo en el apéndice de final del libro, pero en cuanto a la administración del gas de fondo siempre hay que cumplir la norma de seguridad de los tercios: Un tercio para avanzar y dos para retroceder. Aunque, a veces, puede ser insuficiente, pensemos en un regreso de emergencia con un compañero que tiene un VRM superior al nuestro. Por eso este tipo de inmersiones conviene que se estudien con mucho detalle; se tomen los VRM con suficiente margen y se aplique el coeficiente de seguridad de 1,8 al gas de fondo y el coeficiente de seguridad de 2,5 a todo lo que es gas vital.

Las inmersiones con retorno obligado suelen ser inmersiones en grutas, cuevas, pecios o bajo hielo que requieren una formación adicional y que se obtiene con los cursos correspondientes de especialidad. No deben realizarse si no se tiene esa formación. Pero, insistimos en hablar de ellas porque pueden darse otras situaciones en las que sin existir un techo real que nos impida el ascenso las condiciones en que se realiza la inmersión nos obligan a retornar por el mismo camino para poder ascender de una forma más segura.

Es el caso de la inmersión de la figura 2.17. Si en el fondo existiera una corriente muy fuerte, muy mala visibilidad y quedan pocas horas de sol, lo prudente sería avanzar desenrollando nuestro carrete que previamente habríamos hecho firme en el fondo y regresar recogéndolo. Subir desde cualquier lugar, aunque sea con una boya, empujados por la corriente y no teniendo mucha luz para que nos vean desde el barco es una imprudencia. Luego al llegar al fondo y reconocer la situación tendremos que ajustar la PV aplicando la regla de los tercios.

Cuando hacemos los cálculos de consumo los hacemos como en la tabla 2.1, considerando los tiempos de parada y los tiempos entre ellas. ¿Seguirían siendo válidos estos cálculos si luego seguimos un *run time*?... La respuesta es que sí. Los cálculos de las previsiones de consumo se hacen con bastante margen de seguridad a pesar de que sigamos un procedimiento detallado. Si el ascenso no lo realizamos exactamente igual a nuestro plan las repercusiones en los consumos son insignificantes.

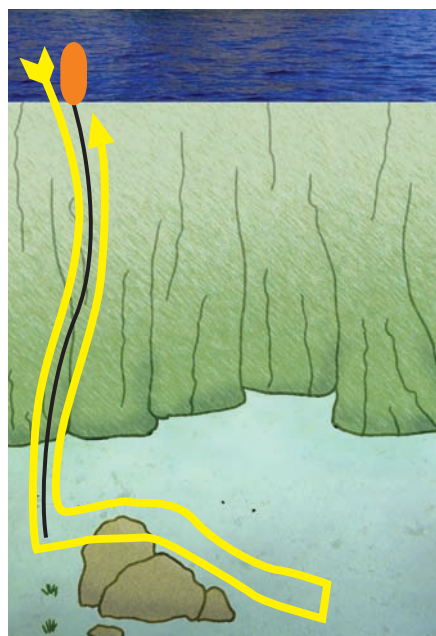


Figura 2.17 Una inmersión sin techo que debido a la visibilidad puede convertirse en una de retorno obligado



# No debemos olvidar

1. La presión con la que debemos iniciar el ascenso es la que tendríamos en el fondo después de consumir en condiciones normales el gas de la fase 1 (descenso) y de la fase 2 (permanencia en el fondo).  
Si PC es la presión con que se ha cargado el equipo y K su capacidad interior en litros la presión de ascenso PA se puede calcular:  $PA = PC - [(C1+C2)/K]$
2. La presión con la que debemos volvernos depende de cada inmersión, de cómo sea su recorrido, en general debe garantizar que gastando lo mismo que a la ida llegaremos al punto de ascenso con la presión de ascenso PA intacta.
3. En el caso de las inmersiones con retorno obligado el cálculo de la presión de vuelta PV se hace de una forma especial para que se cumpla la regla de los tercios o cualquier otra que asegure el retorno.

## MEJORAS Y ADAPTACIONES DEL EQUIPO

### Vamos a conocer

1. Lo que siempre tenemos que llevar
2. En qué consiste la autosuficiencia
3. Cómo establecer la configuración del equipo



Figura 2.18 El equipo es más complejo y necesita una colocación apropiada

En unas inmersiones donde estamos “atrapados” en el fondo debido a la descompresión, nuestro equipo de buceo debe crearnos el menor número de problemas y para cada uno de ellos debemos tener una solución en el fondo.

No sólo tenemos el inconveniente de que no podemos subir a la superficie a sustituir un regulador o a cambiar una botella, además, nos vamos a mover en unas profundidades en las que los gases que respiramos son más densos. Hacer esfuerzos inútiles, navegar con corrientes, etc. con un equipo que nos lo pone difícil puede hacernos perder el ritmo respiratorio, sofocarnos o incluso intoxicarnos con el dióxido de carbono.

Lo mismo que para estas inmersiones somos más exigentes en los preparativos, en los medios organizativos y en nuestro estado físico y mental, tenemos que serlo con nuestro equipo y su funcionamiento.

Las características primordiales del equipo de buceo:

1. Que sea fiable, para lo cual es necesario que hayamos comprobado su funcionamiento y hecho el mantenimiento que evite posibles averías. Por ejemplo, no esperemos sustituir una junta el día que falle, hagámoslo cuando lleve unas horas de uso razonables.
2. Que sea cómodo su manejo y estemos acostumbrados a él. Los experimentos se deben hacer en piscina o inmersiones sencillas no durante una inmersión profunda.
3. Que su configuración sea la solución más sencilla, de esta manera será menos probable que falle.
4. Que nos permita ofrecer la menor resistencia al agua en nuestros desplazamientos y que no se enganche fácilmente.
5. Que tengamos un acceso rápido a todos sus componentes y no necesitemos ninguna ayuda para manipularlo (autosuficiencia).
6. Que llevemos repetidos aquellos elementos que su pérdida o mal funcionamiento pueda ser un problema vital (redundancia de equipo).

### **No nos puede faltar**

Las inmersiones que vamos a realizar ahora son inmersiones que pueden ser más profundas o de mayor duración; además, utilizaremos una o varias mezclas para la descompresión, así pues, vamos a tener que introducir algunos cambios en nuestro equipo y su distribución (configuración) y llevar algunos elementos más.

En primer lugar, es recomendable realizar estas inmersiones con traje seco. No sólo porque las aguas más profundas están más frías sino porque en las paradas de descompresión debido a la inmovilidad se puede pasar bastante frío, lo que no es cómodo ni seguro. Aparte de la comodidad, llevar traje seco es llevar otro elemento que sirve para controlar la flotabilidad sin que, por eso, pensemos en sustituir al chaleco hidrostático.

En segundo lugar, hay que dotarse de las perchas (grilletes, mosquetones, anillas...) necesarias para colgarse las botellas de etapa. Hemos visto que lo más seguro y lo que menos gas vital requiere es portar las botellas con el gas que vamos a utilizar para la descompresión, así que pagaremos el precio de la incomodidad (fuera del agua) y cargaremos con ellas. Luego hablaremos sobre estas botellas.

En tercer lugar, debemos llevar siempre la boya de descompresión (fig. 2.19) y el carrete para izarla desde el fondo. La boya puede ser una boya normal de las alargadas o con válvula de seguridad. Este último tipo permite, al cerrarse por su extremo inferior, que durante el ascenso salga el aire sobrante y quede siempre hinchada.



*Figura 2.19 Boya con válvulas para que permanezca con volumen constante*





Figura 2.20 Chaleco de alas con placa y arnés



Figura 2.21 carrete para tender cabo guía



Figura 2.22 Botella de etapa con cincha y mosquetones

El color de la boyas es rojo o naranja. En el protocolo CMAS de boyas de descompresión la boya roja significa que todo esta OK pero una boya de color amarillo, generalmente, se usa como señal de emergencia para que el personal de apoyo sepa que ha ocurrido algún incidente y baje el buceador de seguridad con gas para la DECO.

En otros protocolos una boya significa todo OK y cuando hay un problema se izan dos boyas juntas.

El carrete, o el sistema que elijamos para guardar el cabo de la boya, debe tener suficiente cabo como para llegar desde la profundidad máxima que vayamos a coger hasta la superficie. En todo caso, debe permitir que salga todo el cabo rápidamente sin enredarse o atascarse. Un carrete diferente (fig. 2.21) para llevar cabo guía es imprescindible en inmersiones de retorno obligado.

La manejabilidad del carrete para soltarlo y recogerlo debe ser su virtud principal para no perder tiempo con él en el fondo.

El peso de las “botellas de etapa” y la de la mezcla de fondo, añadido a la compresión del traje, guantes, capucha, etc. a profundidades superiores a los 40 m ha obligado a buscar mejoras en los sistemas de flotabilidad. Los chalecos “técnicos” de alas (fig. 2.20) son una buena solución porque no sólo tienen más volumen sino porque mejoran el perfil hidrodinámico del buceador reduciendo el rozamiento en su avance. Sólo tienen una pega y es que flotando en la superficie son incómodos inclinando el cuerpo del buceador hacia adelante.

### Las botellas de etapa

Si van a ser utilizadas con una concentración de oxígeno superior al 40 % recordemos que deben estar en “servicio de oxígeno” igual que los reguladores y los manómetros que utilicen.

Las botellas que lleven esa concentración de oxígeno superior al 40 % tienen que abrirse con precaución para evitar subidas muy rápidas de presión en un punto. Así pues, primero abrimos el grifo sin regulador para luego cerrarlo suavemente, colocamos el regulador y abrimos el grifo suavemente con el purgador del regulador pulsado. De esta forma evitamos que, al abrir bruscamente un grifo apretado, la presión en la cámara de alta del regulador suba rápidamente.

En el agua se deben llevar cerradas pero con el regulador presurizado para que no le entre agua ni suciedad.

Con dos mosquetones, un cabo resistente y una abrazadera (sirve una cincha de jacket) se monta un sistema para poder colgarlas del jacket.

Deben llevar un manómetro (fig. 2.23) y para que no haya duda de que corresponde a esa botella, debe diferenciarse encintandose del mismo color que el regulador.

Los manguitos del regulador y del manómetro deben estar pegados a la botella y recogidos mediante gomas para que no se enganchen.

Las conexiones con los reguladores deben ser DIN (menos probabilidad de que salte la junta tórica) igual que las botellas de la mezcla de fondo. Así, en el caso de que un regulador falle podemos intercambiarlos.

Todas las botellas tienen que estar marcadas con la mezcla, la POM y la firma del usuario y del mezclador.

El regulador de la botella de oxígeno puro es conveniente que tenga el segundo cuerpo protegido por alguna caperuzita que al tener que ser retirada impida una confusión y que se utilice la botella inconscientemente a una profundidad inferior a 6 m (fig. 2.24).



Figura 2.23

Cada botella de etapa con su regulador y manómetros recogidos



Figura 2.24

Regulador de la botella de oxígeno con protección para diferenciarlo

## **No** debemos olvidar

1. TU INSTRUCTOR TE dirá EL EQUIPO QUE NECESITAS Y LO REVISARÁ PARA COMPROBAR QUE ES EL ADECUADO.
2. Todo el material que se va a utilizar con mezclas que contenga un % de oxígeno superior al 40 % tiene que estar en servicio de oxígeno.
3. Los grifos de las botellas que lleven oxígeno deben abrirse con un procedimiento de seguridad.
4. En el agua las botellas de etapa se llevan cerradas y el regulador presurizado.
5. El regulador y manómetro de la botella de etapa deben ir encintados del mismo color para que no se puedan confundir.
6. El regulador de la botella que lleva el oxígeno debe ir protegido de una manera especial para que sea necesario retirar la protección para usarlo y evitar equivocaciones.

## Autosuficiencia

Las inmersiones profundas con DESCOMPRESIÓN son inmersiones en las que no puede haber sitio para la improvisación ni para los descuidos. Nada puede dejar de funcionar de repente y, si eso sucede, debemos tener una solución alternativa.

No buceamos solos pero el compañero es la última opción para resolver los problemas. No debemos convertirnos en su “rémora” por irresponsabilidad o negligencia. En una inmersión más sencilla sin descompresión, si se nos estropea el regulador quedándose en flujo constante, por ejemplo, no pasa nada; cerramos la botella y continuamos respirando del octopus de nuestro compañero hasta que lleguemos a la superficie. Pero ahora, en una inmersión a 50 m con dos mezclas por ejemplo, supondría tener que abortar una inmersión que no realizamos todos los días; empezar a utilizar el gas vital de uno de los buceadores y según el momento y la profundidad complicar más o menos la situación.

En estas inmersiones debemos prepararnos para resolver todos los problemas como si estuviéramos solos. Es la única manera de no crearnos dependencias. Pero luego en el fondo las cosas tienen que volver a ser como antes. Allí, es nuestro compañero la mayor garantía para nuestra seguridad.

Ser autosuficientes es llevar todo lo necesario (y sólo lo necesario) que funcione, saber dónde está y poder cogerlo sin ayuda de nadie.

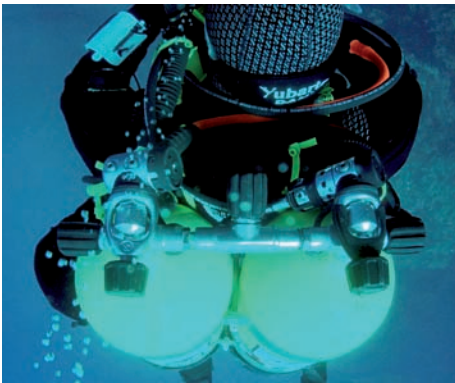


Figura 2.25 Un ejemplo de sencillez y eficacia en la configuración.

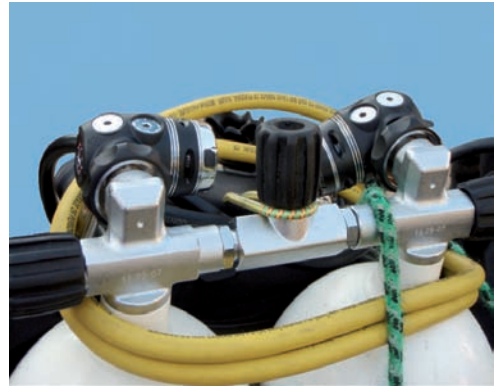


Figura 2.26 Una colocación de los reguladores que deja accesible el manifold de la grifería

## La configuración del equipo

Llamamos configurar el equipo a elegir lo que vamos a llevar y cómo lo vamos a llevar porque es tan importante una cosa como la otra. Elegir un determinado modelo de boya, adquirirlo, colocárnoslo de cualquier manera y luego, en el fondo, no tener acceso a ella y no poder usarla no parece razonable.

En este sentido, conviene tener en cuenta cuando nos dispongamos a distribuir los componentes lo siguiente:

1. La distribución debe ser limpia que podamos coger cualquier componente del equipo sin necesitar el “permiso” de otro elemento. Hay que ser cuidadoso con los manguitos de los reguladores, infladores, manómetros, etc. Todos deben estar lo más recogidos posible para evitar enganchones. Por lo tanto, debemos pensar muy bien cómo se disponen en el primer cuerpo del regulador.
2. La distribución debe ser equilibrada para que no vayamos descompensados y pensando siempre en la posición de las botellas de etapa.
3. Si colocamos los aparatos siempre en el mismo sitio podemos acostumbrarnos a cogerlos con los ojos cerrados, al tacto. Las griferías deben estar al alcance de la mano. Además, llevar siempre las mismas cosas y en los mismos lugares es una forma de asegurarnos de que no nos vamos a olvidar nada.
4. Llevar duplicados algunos elementos del equipo (iluminación, tabllas, etc.) puede ser necesario o no. Tenemos que pensarlo ya que la sencillez es importante para evitar complicaciones.
5. El sistema de grifos y reguladores debe garantizar que cualquier avería nos permite cerrar un grifo y seguir obteniendo el gas de la botella o bibotella.

Por eso, debemos llevar un sistema de doble regulador (no regulador y octopus) conectados a dos salidas diferentes si utilizamos una monobotella.

En el caso de las configuraciones con dos monobotellas independientes, cada botella llevará un grifo diferente con su regulador y manómetro, utilizándose alternativamente para que siempre haya una presión parecida en ellas.

En el caso de configuraciones con bibotella, cada botella tendrá su grifo con el regulador y manómetro correspondiente. Además, deben llevar un grifo que abra o cierre la comunicación entre las botellas: *manifold*. Así, si falla el grifo de una botella podemos aislar esa botella con el *manifold* (Fig. 2,26) o si lo que falla es el regulador, cerrando su grifo y abriendo el manifold, podemos seguir respirando de su botella.

Es conveniente que todo este sistema de grifos sea controlado por el propio buceador con la botella a la espalda.

Utilizar un manguito largo en uno de los reguladores (fig. 2.27), permite pasárselo al compañero en situaciones de estrechez que no permitan estar uno al lado del otro.



Figura 2.27 La distribución de las conexiones a cada regulador, la longitud de sus manguitos y sus sistemas de fijación no se debe dejar al azar hay que buscar la mejor opción.





Figura 2.28 La botella de argón se utiliza para inflar el traje seco.



Figura 2.29 Un goma que rodea el cuello y permite enganchar los reguladores, otra forma de tenerlos siempre "a mano".

Por supuesto los reguladores deben dar un flujo apropiado a la profundidad prevista, ser muy fiables y de bajo mantenimiento; estar bien revisados y chequeados. Es muy conveniente llevarlos enganchados a una goma alrededor del cuello (figura 2.29), siempre los tendremos a mano, no se enredarán con otros y se diferenciarán claramente de los reguladores de las mezclas de etapa.

6. Como prueba final es un buen ejercicio hacer una relación exhaustiva de todas las cosas que nos pueden ocurrir con el equipo y como subsanarlas.

7. Una vez que nos sumergimos, a tres o cuatro metros de profundidad, debemos realizar comprobaciones sobre posibles fugas de aire en los manguitos y reguladores; sobre el funcionamiento de linternas, ordenadores, etcétera.

Indudablemente, para realizar estas comprobaciones es imprescindible la colaboración del compañero.

La configuración del equipo puede parecer una cuestión de gustos pero el sentido común seguro que nos lleva a la mejor solución.

## **No** debemos olvidar

- Tu instructor revisará la configuración del equipo que adoptes y te dará buenos consejos para mejorarla.

## OTRAS COMPLICACIONES QUE HAY QUE PREVENIR

### *Vamos a conocer*

1. Algo más sobre la intoxicación por CO<sub>2</sub>
2. Cómo evitar la hipotermia
3. Cómo aparece la narcosis y cuáles son las señales.
4. Cómo reconocerla y evitarla

Debido al aumento de profundidad y/o del tiempo en el fondo en estas inmersiones aumenta la probabilidad de sufrir:

1. Accidentes de Descompresión.
2. Intoxicación aguda de oxígeno (HAP/SNC)
3. Intoxicación por CO<sub>2</sub> debido a una mala ventilación.
4. Hipotermia.
5. Accidentes como consecuencia de un comportamiento incorrecto bajo los efectos de la narcosis.

Sobre los accidentes de descompresión y la intoxicación aguda de oxígeno ya hemos hablado en el capítulo anterior, ahora vamos a hacerlo sobre la intoxicación por CO<sub>2</sub>, la hipotermia y la narcosis.

### *Intoxicación por CO<sub>2</sub>*

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un producto de la respiración. Aproximadamente, se produce la misma cantidad de dióxido de carbono que la que se consume de oxígeno. Si se elimina convenientemente no nos crea problemas pero, si no es así, se produce una situación que se denomina hipercapnia.

La hipercapnia en la medida de su intensidad es una intoxicación más o menos grave. El exceso de CO<sub>2</sub> produce efectos químicos sobre determinados órganos (dolor de cabeza, torpeza, debilidad y náuseas...) y los centros reguladores de la respiración (sensación de falta de aire). Además, "secuestra" las moléculas de hemoglobina que necesita para su transporte el oxígeno favoreciendo que aumente su presencia en la sangre y los tejidos, es decir, la hiperoxia.



*Figura 2.30 Respirar profundamente y sin apneas cortas favorece que no se produzca la hipercapnia*

En el buceo con escafandra autónoma la posibilidad de esa acumulación de CO<sub>2</sub> es mayor por varias razones:

1. Porque además del espacio respiratorio muerto de nuestro sistema respiratorio (boca, fosas nasales, traquea, bronquios y bronquiolos donde se puede acumular CO<sub>2</sub>) tenemos un espacio respiratorio muerto adicional debido a la máscara y al regulador.
2. El aire que respiramos se hace más denso, proporcionalmente a la profundidad, dificultando la ventilación.
3. El regulador exige un trabajo de respiración adicional y si no está bien calibrado favorece la retención de CO<sub>2</sub>.

Las posibilidades de que surja la hipercapnia aumentan si a estas razones añadimos que el buceador puede agravar la situación por su mala preparación física (buceadores mal entrenados pueden retener hasta un 50 % más de CO<sub>2</sub>), por una mala ventilación si retienen la respiración o si realizan un esfuerzo extraordinario.

Estas situaciones de riesgo se pueden propiciar por realizar descensos rápidos, retener la respiración al hacer una fotografía, navegar contra corriente y sobre todo en inmersiones profundas con aire.

Ya hemos comentado la importancia que tiene la higiene del sistema respiratorio y circulatorio para controlar el consumo. Pero, como hemos visto, en inmersiones profundas cobra más importancia todavía el hecho de que ventilemos bien nuestros pulmones.

Tenemos que entrenar para conseguirlo. Acostumbrarnos a utilizar el diafragma y no los músculos del pecho, a respirar de forma lenta y profunda sin pausas.

## **No debemos olvidar**

1. Hay que mantener siempre un ritmo respiratorio que permita una buena ventilación.
2. Debemos evitar reguladores "duros" tanto para la inspiración como para la espiración.
3. Una buena preparación física reduce las posibilidades de retener el CO<sub>2</sub>.

### **Para evitar la hipotermia**

La hipotermia se produce en el organismo de un buceador cuando pierde tanto calor que su temperatura basal desciende por debajo de los 35°C.



Vamos a recordar algunos conceptos que nos sirven para comprender mejor la hipotermia.

El calor es una forma de energía. Un cuerpo utiliza esa energía para mantener la agitación de sus moléculas (energía cinética). Se mide en calorías.

La temperatura de un cuerpo es la medida de esa agitación. Por eso cuando un cuerpo cede calor a otro éste último aumenta su temperatura y el primero la disminuye. La temperatura se puede medir en diferentes escalas, por ejemplo en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) o en grados Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ , temperaturas absolutas).

Siempre se cumple que cuando dos cuerpos que tienen diferente temperatura se ponen en contacto acaban con la misma temperatura; efectivamente, el que estaba más caliente le pasa calor al que estaba más frío hasta que llegan al equilibrio.

Sin embargo, la temperatura de equilibrio a la que se quedan depende de la cantidad de materia que tengan los dos cuerpos y de su calor específico (calor necesario para elevar un grado la temperatura de un gramo de sustancia).

El cuerpo humano necesita una temperatura basal entre los  $35,5$  y los  $38^{\circ}\text{C}$ , con una media de  $37^{\circ}\text{C}$ . Aunque en alguna de sus partes, como la piel, su temperatura puede oscilar entre  $33,5^{\circ}\text{C}$  y  $20^{\circ}\text{C}$ . Pero, como ya hemos dicho, la temperatura basal no puede bajar de  $35^{\circ}\text{C}$ .

A esa temperatura comienza la tiritona, a los  $34^{\circ}\text{C}$  comienzan signos de confusión y desorientación, a los  $33^{\circ}\text{C}$  amnesia, a los  $30^{\circ}\text{C}$  aparece rigidez muscular y alteraciones del ritmo cardíaco, y a los  $25^{\circ}\text{C}$  la muerte.

Durante la inmersión el cuerpo del buceador se encuentra rodeado de un medio, el agua, que no sólo tiene una temperatura menor de  $37^{\circ}\text{C}$ , sino que tiene una gran masa en comparación con el buceador y un calor específico más alto. Es incluso más alto que el del aire y por eso, en el agua, perdemos calor veinticinco veces más deprisa.

El organismo del buceador intenta remediar esa pérdida de calor de dos formas: mediante procesos metabólicos produciendo más calor y ahorrándolo. Para conseguir ese ahorro reduce el flujo sanguíneo mediante una vasoconstricción, es decir, reduciendo el flujo sanguíneo en las zonas periféricas (donde más se enfría). Pero estas medidas de compensación orgánica tienen un límite.



*Figura 2.31 El traje seco se hace imprescindible en aguas profundas que suelen estar más frías.*

# No debemos olvidar

1. Hay llevar una protección térmica que retrase la pérdida de calor. Para inmersiones profundas o de largo tiempo en el fondo se hace imprescindible el traje seco con la ropa interior apropiada a la temperatura del agua. Llevar siempre capucha y guantes. (por la cabeza se pierde un 25 % del calor y por las manos un 5%).
- 2 Si se lleva un traje húmedo reducir el ejercicio en el fondo para evitar la pérdida de calor por convención y quitarse rápidamente el traje después de la inmersión para evitar la pérdida de calor por evaporación.
3. Salir del agua inmediatamente que aparezcan los primeros síntomas (tiritona).

## **Esa mala consejera con que nos encontramos en el fondo: la narcosis.**

A partir de los 30 m respirando aire pueden aparecer ligeros síntomas de narcosis que al aumentar la profundidad, en función de la presencia o no de otros factores, se agudizan o no.

La diversidad de esos factores y el desconocimiento que tenemos del grado de influencia que tiene cada uno de ellos, no nos permite predecir con exactitud la aparición de este fenómeno fisiológico.

Pero, ¿qué es la narcosis?, ¿qué signos y síntomas aparecen?

Podemos decir que la narcosis es una alteración del funcionamiento del sistema nervioso central (SNC), que produce modificaciones en las habilidades del buceador. Los síntomas de la narcosis dependen de varios factores como son:

- El entrenamiento en buceo profundo.
- La condición física.
- Factores psicológicos, estrés.
- Frío, ejercicio extremo, etc.,

Pero tarde o temprano aparecen. Tampoco todos los días son iguales. A veces se describen como parecidos a los síntomas de una borrachera por alcohol pero no es del todo cierto.

Los podemos clasificar en:

- Sensaciones subjetivas: Están asociadas a la euforia y exceso de confianza o, por el contra-



Figura 2.32 Cuando se pasa de los 35 m debemos vigilar nuestro estado de narcosis y el del compañero

rio, a la depresión, el miedo e incluso el pánico. En todo caso, provoca desatención y variación de los estados de atención.

- Disminución de la función cognitiva. Incluyendo percepción, pensamiento, comprensión y memoria.
- Disminución de la actividad mental. La narcosis reduce significativamente la velocidad de resolución, o sea, disminuye el tiempo de reacción.
- Pérdida del control neuromuscular y la coordinación neuromuscular, que se ve disminuida por la narcosis pero este efecto sólo se observa a altas profundidades.

## No debemos olvidar

- *La amenaza más grave de la narcosis es la REDUCCIÓN paulatina de la capacidad de realizar varias tareas simultáneamente. Esta incapacidad puede conducirnos a un accidente si no controlamos alguno de los parámetros de la inmersión.*

### Recordemos sus causas

En el curso de Buceador Nitrox ya comentamos la hipótesis de Meyer-Oberton, que atribuye a las moléculas gaseosas disueltas en los espacios sinápticos de las conexiones neuronales su mal funcionamiento. Las interferencias que producen esas moléculas producen un efecto anestésico y es proporcional a la densidad de moléculas disueltas y a su tamaño molecular. Por consiguiente, no existe un único gas narcótico y cada gas narcótico tendrá un potencial anestésico directamente proporcional a la presión parcial de gas, a la solubilidad del gas en el tejido sináptico y al tamaño de sus moléculas.

La solubilidad del gas en el tejido sináptico y el tamaño de sus moléculas es una propiedad intrínseca de cada gas y explica por qué gases como el nitrógeno, oxígeno, el CO<sub>2</sub>, el argón, Kriptón y Xenón tienen un gran potencial narcótico en sí mismos. Lo contrario que el Helio, Hidrógeno o Neón.

Sin embargo, durante una inmersión ese poder narcótico intrínseco se ve reducido o incrementado por la presión parcial que tenga el gas en la mezcla respiratoria. Esta es la razón por la que siempre se hace responsable al nitrógeno de la narcosis cuando respiramos aire porque es el que mayor concentración tiene y, por consiguiente, mayor presión parcial.



Figura 2.33 La falta de visibilidad es un factor psicológico que propicia la narcosis

El Kriptón y el Xenón se encuentran en proporciones tan insignificantes en el aire que su poder narcótico se ve reducido a cero.

Casos especiales son el oxígeno y el CO<sub>2</sub> que requieren una atención especial.

El oxígeno no es inerte, se consume en el organismo. La cantidad que tenemos disuelta en la sangre venosa es equivalente a una situación en la que si fuera inerte y estuviese con una concentración del 5,3 % en los pulmones. En base a esta equivalencia podemos calcular su potencial narcótico y comprobar que sólo será importante para presiones externas altas que provoquen una presión parcial de Pp(O<sub>2</sub>) también alta.

El CO<sub>2</sub> también aparece en proporciones insignificantes en el aire pero hay que tener cuidado porque lo produce el organismo. Esto explica la relación que existe entre la hipercapnia (aumento del CO<sub>2</sub> por esfuerzos, mala ventilación, etc..) y la aparición de la narcosis.

En todo caso, la reducción del % de nitrógeno en la mezcla respiratoria sustituyéndolo por helio (con poder narcótico intrínseco muy inferior) reduce la probabilidad de la aparición de narcosis. Ésta es la solución que se adopta en el buceo técnico para inmersiones profundas: la utilización de mezclas Trimix o Heliox.

Para establecer una medida del riesgo que se corre de sufrir narcosis respirando una mezcla diferente al aire se define la Profundidad Equivalente

de Nitrógeno (PEN). La PEN es la profundidad ficticia en la que respirando aire tenemos la misma Pp(N<sub>2</sub>) que respirando la mezcla a la profundidad real. En las mezclas de Aire Enriquecido Nitrox corresponde a la PEA.

Para profundidades menores de 40 metros las mezclas AEN son muy interesantes. Así, por ejemplo, respirando AEN28 a 40 m la PEN es de 36 m, haciéndolo con AEN31 a 35 m la PEN es de 30m. Esos 4 o 5 metros son importantes, no sólo para reducir los tiempos de descompresión, sino para reducir el efecto narcótico del nitrógeno.



Figura 2.34 Elijamos un compañero que consideremos responsable.

## **No** debemos olvidar

- Si reconocemos síntomas o signos de un estado narcótico en nosotros o en nuestro compañero aunque sean leves, debemos iniciar con él inmediatamente el ascenso hasta una profundidad en la que desaparezcan y podamos decidir si suspendemos o no la inmersión.

## ¿Qué podemos hacer para evitar la narcosis?

- Utilizar mezclas con la PEN por encima de los 35 m.
- Realizar un entrenamiento previo a una inmersión profunda consistente en realizar inmersiones a profundidades próximas pero inferiores.
- Ir acometiendo profundidades según nuestra experiencia.
- Eludir los factores de riesgo que hemos enunciado antes.
- Evitar en las horas previas a la inmersión el alcohol y otras drogas.
- Descender a una velocidad máxima de 15 m/min.
- Chequear el estado de ánimo y nuestra capacidad de razonamiento cuando superemos la profundidad equivalente de narcosis a 35 m. En este sentido es muy conveniente realizar un test con el compañero que nos permita reconocer la narcosis en él o en nosotros mismos.

Por ejemplo, podríamos realizar el siguiente test:

1. Asignar en superficie un número entre el 1 y el 5 a cada buceador (para ejercitar la memoria).
2. Asignar en superficie una seña especial para indicar que se va a realizar el test (por ejemplo, llevarse el dedo índice a la sien tres veces seguidas y señalar al compañero indica que es él quien comienza a realizar el test)
3. En el fondo le pasamos la seña al compañero y con los dedos de una mano le indicamos otro número entre el 5 y el 10.
4. El compañero nos debe responder:
  - Primero sumándole el número que le hemos dado al suyo, anotándolo en su tablilla y enseñándonoslo.
  - Segundo leyendo la presión de la botella en su manómetro e indicándola.
  - Tercero restándole al número que le hemos dado el suyo, anotándolo en su tablilla y enseñándonoslo.
  - Cuarto leyendo el tiempo de inmersión en su cronómetro e indicándolo.

Realizar un test de narcosis en el fondo tiene un inconveniente: si es muy sencillo no sirve para reconocer un estado prenarcótico y si es muy complicado y el buceador no lo responde correctamente, no sabemos si es producto de su dificultad o de la narcosis.

Además debemos realizarlo rápidamente para no perder mucho tiempo de inmersión. Por eso el tipo de test que hemos propuesto cumple:

- A. Es fácil recordarlo y las operaciones las puede realizar sin dificultad cualquier buceador.
- B. Mezcla operaciones sencillas con memorizaciones.
- C. Mezcla el test con la medición de parámetros de la inmersión (cosa que debemos hacer a lo largo de la inmersión y nunca es una pérdida de tiempo) y, de esta manera, podemos comprobar como se realizan dos tareas simultáneamente.

# CONTROL DE LA INMERSIÓN Y AUTOCONTROL

## Vamos a conocer

1. *Cuál es nuestra responsabilidad*
2. *Cómo hacer que desaparezca la angustia*

### *La responsabilidad de los buceadores*

Una inmersión de alto riesgo, profunda (a más de 30 m) y con descompresión, es una inmersión que exige un control más estricto durante su desarrollo. Tenemos un plan de inmersión: profundidad máxima, tiempo en el fondo, paradas de DECO y una administración del consumo que hay que cumplir escrupulosamente.

Al descender, por un lado nos interesa hacerlo rápidamente para no perder el tiempo y reducir el tamaño de las microburbujas pero por otro el aumento rápido de la presión ambiente provoca un aumento del porcentaje de dióxido de carbono en los pulmones. Tenemos, entonces, que llevar una respiración más forzada y, así y todo, el porcentaje de dióxido de carbono influiría en la descompresión, en la narcosis y en la hiperoxia. Por este motivo debemos no retrasarnos pero mantener una velocidad de 15 m/min, que es la más apropiada para evitar el aumento del CO<sub>2</sub>.

En el fondo debemos comprobar que todo el plan se va cumpliendo y no debemos alarmarnos si ocurre un imprevisto que pone en peligro el desarrollo normal de la inmersión, en ese caso, la suspendemos y punto. De acuerdo con nuestro compañero de inmersión suspendemos, regresamos e iniciamos el ascenso. ¡No pasa nada!, ¡otro día será!

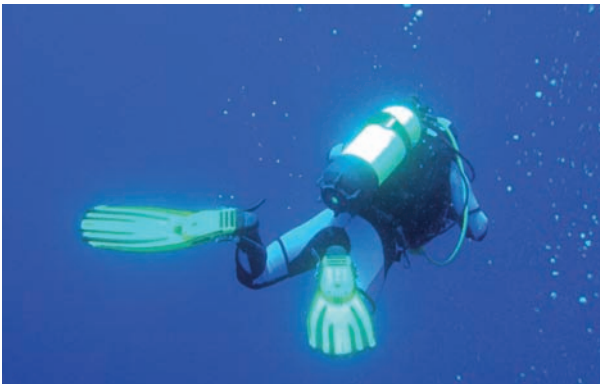


Figura 2.35 Disfrutar con lo que estamos haciendo nos llena de optimismo y aleja el estrés.

Hay que tener siempre la firmeza de colocar la seguridad por encima de los objetivos previstos de la inmersión o de las satisfacciones que esperamos obtener. Utiliza tu razón para evitar situaciones que requieran para salir de ellas además de tu habilidad suerte.

Recuerda una vez más que el componente fundamental de todo el sistema no es el equipo, el plan de ascenso, las botellas sino: tú mismo.



# No debemos olvidar

- *Un BUCEADOR RESPONSABLE: Es el que aborda una inmersión:*
  - a. Con la formación apropiada y la forma física óptima conseguida mediante el entrenamiento y un buen estado de salud.*
  - b. Con el equipo necesario en perfecto funcionamiento.*
  - c. Con el compañero en quien confía, porque tiene la certeza de que él es también un buceador responsable.*
  - d. Siendo consciente del riesgo, supedita todas sus decisiones al cumplimiento de las normas de seguridad y a la lógica.*
  - e. Habiendo comprobado que los medios auxiliares (embarcaciones, emisoras, balizamientos, botiquín, equipo de oxígeno, plan de evacuación) son los adecuados y funcionan correctamente.*

## La angustia, otra mala compañera

La tensión que provoca la responsabilidad de planificar, organizar y realizar una inmersión profunda o con mucho tiempo de fondo, puede degenerar en un estado de angustia si se combina con factores previos a la inmersión como la precipitación, la sobrecarga de tareas o el malestar por el estado de la mar, o bien, que pueden sobrevenir a lo largo de la inmersión como el esfuerzo extremo, la desorientación, el frío o un contratiempo.

Que aparezca puede ser natural, pero detectarla y reaccionar es imprescindible si no queremos que se convierta en una situación de pánico.

Los gestos nerviosos, el carraspeo, pequeñas obsesiones y pérdida de la habilidad pueden anunciar su presencia antes de la inmersión. Calmarse, revisar el plan de inmersión visualizando la inmersión, concentrarse en tareas y realizar aquellas que requieran cierta habilidad puede ser la forma de evitarla. Si no lo conseguimos debemos suspender la inmersión.

En el fondo estando ocupados es más difícil darse cuenta. Sin embargo, la angustia provoca una descarga de adrenalina, un aumento del ritmo cardíaco y del respiratorio, se reduce la capacidad de percepción y de análisis, y por tanto de respuesta. Es por todo esto por lo que tenemos que reaccionar rápidamente ante la más ligera sospecha de angustia y controlarla mediante la respiración de la siguiente manera:



Figura 2.36 Pararnos, respirar y pensar la mejor forma para comenzar a resolver un problema



- 1.º Suspender toda actividad.
- 2.º Exhalar completamente.
- 3.º Inhalar completamente.
- 4.º Repetir tres ciclos respiratorios profundos y despacio.
- 5.º Pensar: Analizar la situación y buscar una solución para el problema que la ha desencadenado. Si es necesario, iniciar el ascenso junto al compañero.

Una respiración eficaz mejora la capacidad mental y física, además de inducir a la relajación, por todo lo cual puede liberarnos de la angustia.

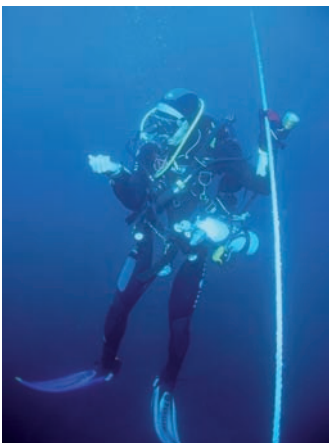
## **No** debemos olvidar

- *Pararnos, respirar y pensar la mejor forma para comenzar a resolver una dificultad.*

## LA DESCOMPRESIÓN

### Vamos a conocer

1. *La mejor forma de hacer la DECO*
2. *Qué hacer en el caso de omitir una parada*



*Figura 2.37 Las paradas de descompresión tienen que hacerse a la profundidad exacta.*

### **Cómo hacer la DECO**

Las paradas de descompresión se hacen de forma que cumplan la función de eliminar el nitrógeno que sobresatura los tejidos. Por eso tenemos que seguir las siguientes pautas:

- 1.º La profundidad exacta a la que está programada debe coincidir con nuestro pecho y sería más eficaz si estuviéramos en posición horizontal, así, la presión sobre nuestro cuerpo es uniforme.
- 2.º Tenemos que evitar el frío por lo que, además de abrigarnos, debemos movernos un poco para conseguirlo.
- 3.º Hay que evitar esfuerzos que aceleren nuestro ritmo respiratorio y produzcan dióxido de carbono por eso los movimientos no deben bruscos.

4.º Los tiempos previstos para pasar de una parada a otra debemos cumplirlos rigurosamente. En este sentido, la utilización del run time que nos marca el minuto en el que hay que salir de cada profundidad garantiza, si lo cumplimos, que se lleve la velocidad correcta o se corrija si se sobrepasa.

### Dónde hacerlas

El cabo del ancla de la embarcación suele ser el lugar más común donde se realizan las descompresiones. Tiene la ventaja de que está en el mismo lugar que la embarcación desde la que saltamos al agua y a la que tenemos que volver, evitándonos recorridos por la superficie.

Sin embargo, realizar la DESCOMPRESIÓN agarrados al cabo del ancla puede tener sus inconvenientes:

- Por efecto de la corriente puede no ser perpendicular al fondo y estar curvado teniendo que realizarse un gran esfuerzo para permanecer sujeto él.
- El oleaje si es intenso provoca que la embarcación de pantocazos y tirones del cabo del ancla. Lo que hace incómodo estar allí.
- Como es el lugar por donde descienden y ascienden la mayoría de los buceadores resulta incómodo ese trasiego rodeado de cientos de burbujas.

Un elemento que puede asegurarnos algo de comodidad es un *Jon Line*, que podemos fabricarnos con un cabo de un metro y medio con dos mosquetones. Con él nos sujetamos al cabo de ascenso y así evitamos tirones y recibir todas las burbujas.

Otro lugar muy común para hacer la descompresión en inmersiones con fondo oblicuo es sobre las piedras de un talud o un bajo. Podemos realizar desplazamientos suaves y distraernos durante las paradas. Lo malo es cuando existe oleaje, permanecer en las piedras se puede hacer incómodo e incluso peligroso. No debemos olvidar, si practicamos este tipo de paradas, el respeto por la flora y fauna del fondo porque, sin querer, podemos perjudicar su desarrollo.

Un cabo de descenso con boya y lastrado es un buen procedimiento porque se reduce el efecto del oleaje (los tirones) y suele ser más precisa su ubicación sobre el fondo al que queremos descender que el barco anclado. Pero todavía puede ser incómodo si hay corriente o si son muchos los buceadores, por eso el complemento ideal es el trapecio (fig 2. 38).



Figura 2.38 Trapecio preparado fuera del agua



Figura 2.39 Jon Line

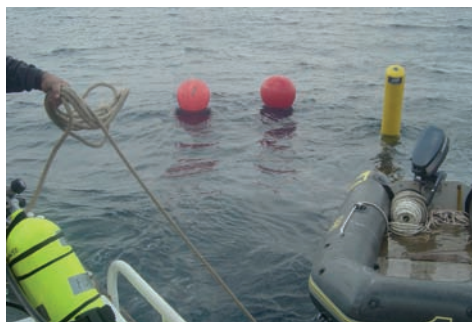


Figura 2.40 Cabo de descenso lastrado, trapecio y embarcación de apoyo dispuesta.

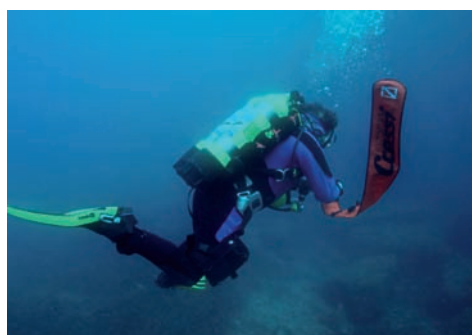


Figura 2.41 La boya siempre hay que tenerla dispuesta para realizar un ascenso

El trapecio está formado por barras separadas por cadenas formando varios pisos (3, 6, 9 y 12 m) que van a colgar de dos boyas.

Las barras colgantes, una vez que se ha fondeado el cabo de lastre con su boya, se sujetan a este cabo con un mosquetón o un grillete de manera que los buceadores que suben por el cabo de descenso pueden pasar a colocarse junto a las barras para hacer las paradas de descompresión. Ganamos en comodidad y precisión en la parada.

En el caso de que exista una corriente fuerte el trapecio con todos los buceadores puede soltarse del cabo de descenso y viajar a la deriva. Los buceadores se adaptan al mar y su situación es lo más confortable posible. Lógicamente el barco de apoyo seguirá las boyas del trapecio para que cuando acaben la descompresión pueda recoger a los buceadores.

El único inconveniente que tiene este procedimiento, y no lo es para los buceadores que están en el agua, es que hay que transportar el trapecio y que hay que realizar la maniobra para largarlo al agua con cuidado para que no se enrede ni arrastre nada con él.

El método alternativo a todos y que tenemos que tener siempre previsto es utilizar la boya de descompresión o un globo elevador. Podemos fijarlo en el fondo y en ese caso perderemos el cabo y el carrete ya que no podemos volver a bajar a por ellos, o no fijarlo y subir recogiendo carrete yéndonos a la deriva. En caso de corriente y oleaje es cómodo ir a la deriva si sabemos que desde la embarcación nos siguen o nos van a ir a buscar. Las boyas deben ser por lo menos de 25 l y con válvula antivuelco.

Es conveniente que practiquemos el lanzamiento de la boya asiduamente porque no es fácil y los enganchones pueden dar un buen susto.

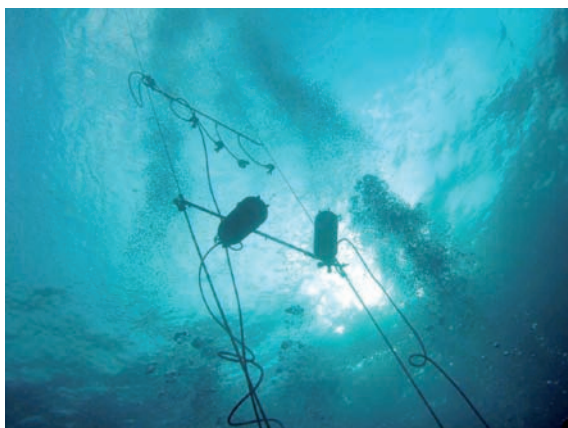
### **El apoyo logístico en superficie**

El papel que desempeña el patrón de la embarcación es muy importante no sólo por la localización del lugar de la inmersión sino, también, por la elección con precisión del punto de descenso (ya sea por el cabo del ancla o por un cabo lastrado). El 80 % del éxito de la intervención depende de que se encuentre el lugar deseado del fondo y que se llegue lo antes posible.

Las maniobras cuando se va a descender por el cabo lastrado para dejar y recoger a los buceadores, tienen que hacerse con sumo cuidado y si las condiciones del mar no son buenas exigen cierta pericia.

Además se necesita la presencia de un buceador de apoyo. Este buceador debe estar completamente equipado y dispuesto. Cuando se calcule que los buceadores del fondo empiezan a realizar el ascenso se debe sumergir para esperarles en la primera parada de descompresión. Chequea que todo está bien y les asiste en lo que sea necesario (subir a superficie botellas que ya no se usan, bajar más gases, etc.) si no ocurre ninguna incidencia debe permanecer con los buceadores mientras finalizan la descompresión.

Si ocurriera un incidente y tuviera que acompañar a algún buceador a la superficie su función será la de asistirle hasta que sea recogido por la embarcación principal y luego deberá volver con información o instrucciones al agua. Si debido al estado del buceador que se ha sacado del agua, hubiera que poner en marcha el plan de evacuación con la embarcación principal, el buceador de apoyo debería quedarse en la otra embarcación que estará junto a las boyas de los buceadores que hacen descompresión con una emisora de radio.



*Figura 2.42 Aun disponiendo de trapezio, botellas de respeto, etc. puede ocurrir un imprevisto que haga que se interrumpa la descompresión.*

### **Descompresiones omitidas**

Si un buceador se salta una parada de descompresión y aparece en la superficie deberíamos actuar de la siguiente manera:

1. Si se ha saltado una descompresión pequeña y no presenta ningún signo o síntoma de un accidente de descompresión lo más adecuado es que una vez que salga del agua, se le administre oxígeno normobárico durante una hora, se le hidrate y mantenga en observación 24 horas.
2. Si el buceador se ha saltado una parada y presenta algún signo o síntoma de accidente de descompresión lo más adecuado es administrar oxígeno normobárico, hidratarlo y trasladarlo a un centro de asistencia hiperbárico.
3. Si el buceador se ha saltado la parada de 6 o 3 m, se encuentra bien y puede retornar a la parada en 1 min, descenderá hasta la parada y permanecerá en ella todo el tiempo previsto (el tiempo de superficie se puede contabilizar como de parada).
4. Si el buceador se ha saltado la parada de 6 o 3 m, se encuentra bien pero no puede retornar a la parada en 1 min, descenderá hasta la parada omitida y permanecerá en ella un tiempo igual al previsto multiplicado por el factor 1,5.

5. Si el buceador se ha saltado todas las paradas desde una profundidad mayor de 6 metros y se cumplen los siguientes requisitos:
  - a. Se encuentra bien y no presenta ningún signo o síntoma de un accidente de descompresión.
  - b. Hay un buceador de apoyo que puede descender con él.
  - c. Se cuenta con gas suficiente y las condiciones del mar lo permiten.

Entonces:

- I. Se desciende hasta la profundidad donde debería haber realizado la primera parada.
- II. Se repiten las paradas de profundidades iguales o mayores que 12 m.
- III. Se emplea un minuto de tiempo en ascender entre paradas.
- IV. Se multiplica por 1,5 la duración de las paradas previstas a 9, 6 y 3 m.

El nuevo plan de ascenso debería escribirse en una tabla y el buzo de seguridad descender y enseñárselo a todos los buceadores esperando la confirmación de que lo han entendido.

En todos los casos, aunque se repita la descompresión, se debe continuar en la superficie administrando oxígeno normobárico durante media hora por lo menos.

Estos procedimientos de emergencia pueden ser apropiados en algunas circunstancias pero también los riesgos que se corren deben ser considerados.

Las condiciones del tiempo, la aparición de signos y síntomas bajo el agua, la hipotermia y la deshidratación son factores que hacen muy arriesgadas este tipo de actuaciones.

Poner todos los medios para evitar situaciones como las descritas aquí es la mejor forma de resolverlas y eso es lo que en gran medida el objetivo de este curso.

Si cumples las normas de seguridad que hemos expuesto y sigues los procedimientos para planificar las inmersiones con el rigor que te hemos descrito estarás en condiciones de disfrutar de este tipo de buceo y de convertirlo en un buceo seguro.

## **No debemos olvidar**

- *Este procedimiento es excepcional, hay que evitar que se interrumpa la DECO y, en el caso contrario, recurrir al tratamiento con oxígeno y al traslado a la cámara hiperbárica.*

## CUESTIONES CAPÍTULO 2

1. ¿Qué es una inmersión de retorno obligado?

.....  
.....

2. ¿A qué llamamos una inmersión de alto riesgo?

.....  
.....

3. Si el VRMN experimental de un buceador vale 16 l/minxatm y el VRME vale 40 l/minxatm ¿cuánto vale el coeficiente de seguridad?

.....  
.....

4. ¿Qué coeficiente utilizarías en el caso anterior para realizar el cálculo del gas necesario considerando el gas vital y la reserva que queremos que quede en la botella?

.....  
.....

5. Si dos compañeros tienen un VRMN muy diferente para calcular el gas necesario durante una fase del ascenso... (indica con una x la contestación correcta):

- a. El que consume más debe utilizar un coeficiente de 2,8
- b. El que consume menos debe utilizar un coeficiente de 2,8
- c. Los dos deben utilizar un coeficiente de 2,8

6. ¿Cuánto es el consumo previsto de un buceador en la fase que desciende hasta 30 m con una velocidad de 15 m/min y tiene un VRM-N de 20?

.....

7. ¿Y si permanece allí 50 min?

.....

8. Calcular el gas vital que se necesita en una inmersión sin descompresión a 35 m y comprobar si con la reserva de una botella de 12 litros podríamos realizar el ascenso de emergencia (Tomar como coeficiente de seguridad 2.2)

.....  
.....

9. Indica los equipos más apropiados (menor capacidad) si no se cargan a más de 230 atm para las siguientes cantidades de gas:

- a. 1.450 litros: .....
- b. 3.400 litros: .....
- c. 4.100 litros: .....
- d. 9.000 litros: .....



10. Completa los cuadros que están en blanco en la siguiente tabla y calcula los equipos necesarios para esta inmersión.

Prof.	tiempo	GAS	RR	GP	S	GN	Litros
0-45	3	Aire	20	195	1,3	253,5	
45-45	17	Aire	20	1.870	1,3		
45-18		Aire		249		622,5	
18-18	1		15	42	2,5	105,	
18-15	0,3	EAN50	15	17,7		44,2	
15-15	1	EAN50	15	37,5		93,8	
15-12	0,3	EAN50	15			39,2	
12-12	1	EAN50	15	33		82,5	
12-9	0,3	EAN50	15	13,7		34,2	
9-9	2	EAN50	15	57			
9-6	0,3	EAN50	15	11,7		29,2	
6-6	3	EAN50	15	72		180,	
6-3	0,3	EAN50	15	9,7		24,2	
3-3	3	O <sub>2</sub>	15	58,5		146,3	
3-0	1		15			43,1	

11. Para realizar la inmersión de la tabla anterior llevamos una botella de 15 l cargada a 225 atm. Calcular la presión de ascenso y la de vuelta (no es de retorno obligado)

.....

.....

.....

12. ¿Qué aire nos quedaría de reserva suponiendo que al final del tiempo en el fondo realizamos un ascenso de emergencia con un VRME de 50 l/minxatm?

.....

.....

.....

13. Indica 6 características que debe cumplir nuestro equipo y su configuración

.....

.....

.....

.....

.....

.....

14. Enumera los complementos del equipo que son imprescindibles en una inmersión profunda en aguas abiertas

.....

.....

.....



15. ¿Dónde debemos realizar la última comprobación sobre el equipo?

.....  
.....

16. ¿Cuáles son las tres recomendaciones más importantes para evitar una hipotermia?

.....  
.....  
.....

17. ¿Cuáles son los factores que aumentan el riesgo de narcosis?

.....  
.....  
.....

18. Indica cuatro medidas que puedes tomar para evitar una narcosis. enuméralas de mayor importancia a menor.

.....  
.....  
.....  
.....

19. ¿Cuáles son las condiciones para hacer en el agua una descompresión omitida?

.....  
.....  
.....

20. En el caso de que esas condiciones se dieran y el traslado a una cámara hiperbárica no fuera sencillo ¿qué haríamos? si...

a. Nos saltamos una parada de 3 min a 6 m y salimos a superficie.

.....  
.....  
.....

b. Nos saltamos una parada de 3 min a 9 m, otra de 8 minutos a 6 m y salimos a superficie.

.....  
.....  
.....

c. Nos saltamos una parada de 1 min a 18 m, otra de 1 min a 15 m, otra de 1 min a 12 m, otra de 2 min a 9 m y una de 8 min a 6 m.

.....  
.....  
.....





# *Apéndices*

*Para saber más...*

*Hasta aquí todo lo que debes saber.  
A partir de aquí...*

## **Apéndice 1.**

### **Para saber más sobre la intoxicación crónica de oxígeno (efecto Lorrain Smith)**

En el curso anterior de Buceo con Nitrox se trato muy poco sobre la intoxicación crónica debido a que la probabilidad de que se produzca es aún menor que la de que se produzca una intoxicación aguda. Esa probabilidad al utilizar mezclas oxigenadas en la DECO aumenta pero no lo hace sensiblemente como hemos visto en el capítulo 1. A pesar de todo esto vamos a ampliar la información en este apéndice para completar tus conocimientos sobre la intoxicación crónica.

Un individuo puede estar respirando oxígeno al 100% a presión atmosférica, sin que se presente la intoxicación aguda por oxígeno. Sin embargo, al cabo de 12 horas, aproximadamente, empezarán a manifestarse síntomas de intoxicación crónica por oxígeno o toxicidad pulmonar. Estos síntomas se caracterizan por la dificultad respiratoria y aparición de edema pulmonar, causado por la necrosis del revestimiento de bronquios y alvéolos.

La intoxicación crónica es una consecuencia de respirar oxígeno a presiones parciales superiores a 0,5 atm durante largo tiempo. El oxígeno “quema” los tejidos que están más en contacto con él y por eso las lesiones se producen en los pulmones. Se puede decir que se produce por una larga exposición a baja dosis.

Para medir la acumulación que se produce por ese “contacto” peligroso con el oxígeno se utiliza la *unidad de dosis de oxígeno para la toxicidad pulmonar, la OTU (Oxigen Tolerance Unit)*. Una OTU es la dosis recibida durante una exposición de 1 minuto a 1 atm.

Las dosis dependen de la Pp de oxígeno y del tiempo durante el que estemos expuestos. La NOAA publicó la tabla I que sirve para calcular las OTUs después de permanecer un tiempo a una Pp de oxígeno. En ella aparecen las OTUs que se reciben por minuto expuestos a cada Pp de oxígeno y podemos calcular la dosis acumulada en una exposición, por ejemplo, de 30 min a 1,5 de Pp(O<sub>2</sub>) multiplicando:

$$30 \text{ min} \times 1,77 \text{ OTU/min} = 53,1 \text{ OTU}$$

La dosis máxima que se puede recibir varía según los días de exposición y están establecidas en la tabla II.

TABLA I.- NOAA Dosis a cada Pp	
Pp(O <sub>2</sub> )atm	OTU / min
0.5	0
0.6	0.265
0.7	0.490
0.8	0.656
0.9	0.831
1.0	1.00
1.1	1.16
1.2	1.32
1.3	1.47
1.4	1.62
1.5	1.77
1.6	1.92

**TABLA II.- NOAA**  
**Dosis máxima por día según los que se bucea**

Dosis máx.	OTU	OTU Total
1 día	850	850
2 días	700	1400
3 días	620	1860
4 días	525	2100
5 días	460	2300
6 días	420	2520
7 días	380	2660

$$15 \text{ min} \times 1,47 \text{ OTU/min} = 22,05 \text{ OTU}$$

Hasta las 850 diarios aún nos queda margen.

No superar las 850 OTU de exposición permite recibir un tratamiento hiperbárico (aunque sea el más agresivo) con oxígeno. En estos casos el límite se encuentra en 1.440 OTU recibidos durante un tratamiento en cámara hiperbárica.

En la tabla II observamos como según aumenta el número de días en que se expone el buceador a Pp superiores a 0,5 atm la dosis máxima por día disminuye.

Ahora que sabemos calcular las OTUs y que conocemos sus límites podemos entender por qué no es necesario prevenir antes de cada inmersión la exposición que vamos a tener.

Veamos como se puede hacer una previsión con el siguiente ejemplo:

¿Cuántas OTUs recibiríamos si hiciéramos una parada de descompresión de 15 min respirando oxígeno puro a 3 m?

La Pp sería la presión absoluta, es decir 1,3 atm, según la tabla I recibiríamos una dosis de 1,47 OTU/min, y si la parada es de 15 min, entonces, la dosis recibida sería:

## Apéndice 2.

### Para saber más sobre los modelos de cálculo de las descompresiones

El contenido de este apéndice está basado en los trabajos publicados por el Instructor de Buceo Técnico José Medina Ferrer en su página web <http://www.pepamolinaferrer.com>

#### LOS MODELOS CLÁSICOS I: MODELO DE PERFUSIÓN.

Los modelos se construyen mediante aproximaciones. Las aproximaciones son suposiciones que se establecen al diseñar los modelos como si fueran ciertas para simplificar los problemas y poder resolverlos

Todos los modelos se basan en la Ley de Henry:

*La cantidad de gas disuelto en un líquido en el estado de saturación es proporcional a la presión parcial del gas en la superficie de contacto con el líquido.*

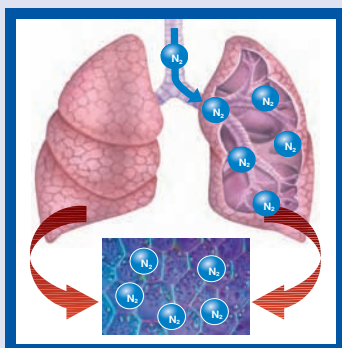


Figura 1. El nitrógeno se disuelve en la sangre y luego la sangre lo transporta a los tejidos

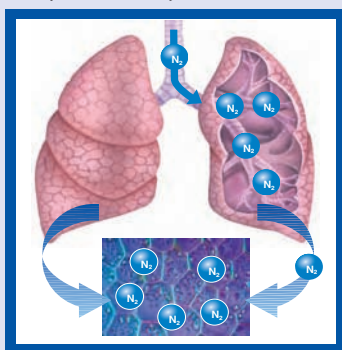


Figura 2. Primera aproximación: El nitrógeno se disuelve directamente en los tejidos

La primera aproximación que estableció Haldane (siglo XX) es que el gas inerte accede directamente a los tejidos como si estos tuvieran su superficie en contacto con el gas respirado (fig. 2), olvidando que en el cuerpo del buceador el gas inerte (normalmente nitrógeno) sólo está en contacto (fig. 1), más o menos directo, con la sangre (líquido) y que el contacto del nitrógeno con el resto de los tejidos se hace a través de la sangre en la que está disuelto.

Esta simplificación es válida debido a que la sangre recorre el organismo en aproximadamente un minuto y los tejidos más rápidos que se consideran pueden ser de 4 minutos (Bühlmann).

La segunda aproximación consiste en considerar que la superficie del gas (sangre) en contacto con el líquido (tejido) es mucho mayor que su espesor (fig. 3). Es como "una rodaja muy fina de tejido bañada en sangre".

Esta aproximación resulta ser muy buena para los tejidos que están muy vascularizados como, por ejemplo, el tejido nervioso y los músculos pero deja mucho que desear para los tejidos poco vascularizados, como los tejidos grasos y los huesos.



Esta segunda aproximación es la que ha dado lugar a los modelos llamados de "perfusión". Han sido los mas conocidos y empleados: US-Navy 57 y derivados (Huggins, Basset, NAUI, PADI, etc.), COMEX, Bühlmann y derivados. Este modelo es el que explicamos en el curso de B2E.

La simplificación de este modelo lleva a dividir nuestro cuerpo en partes, a las que se les llama compartimentos, que tienen una misma constante de tiempo de carga y descarga. No hay que confundir "compartimentos" con tejidos, aunque, a veces, se utiliza este término para hablar de los compartimentos. Un compartimento puede estar simulando el comportamiento de varios tejidos diferentes del organismo humano.

En este punto los modelos empiezan a diferenciarse. Haldane tuvo en cuenta 5 compartimentos. La US-Navy trabajó con 6 que se aumenta a 8 para inmersiones excepcionales. COMEX usa 9 y Bühlmann 17.

Se ha comprobado que no por aumentar más el número de compartimentos o por aumentar el tiempo de semisaturación del más lento, se obtienen resultados mas seguros.

Igual que en los programas que se han ido implantando en las computadoras de buceo, las mejoras de estos modelos se han buscado más en el proceso de eliminación de gas y en las alteraciones de la acumulación por causas térmicas o de esfuerzo que en cambios sustanciales del modelo.

## LOS MODELOS DE DIFUSIÓN

Estos modelos han simplificado el proceso de la disolución del nitrógeno en los tejidos, estableciendo que el tiempo que tarda en atravesar la superficie de éstos para disolverse en su seno es mucho menor que el que tarda en difundirse en su interior (fig. 4).

Es decir que se ocupan más de lo que sucede en el interior de cada tejido. Este modelo describe bien el comportamiento de los tejidos poco vascularizados, mientras que predice mal el comportamiento de los muy vascularizados.

El primero de ellos fue desarrollado por Hempleman en 1966, publicando sus primeras tablas en 1968.

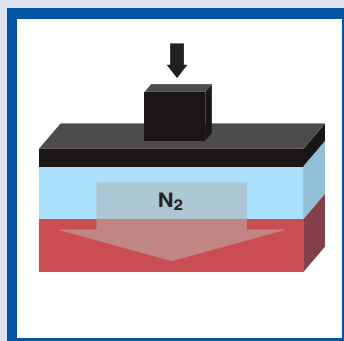


Figura 3. Segunda aproximación: El nitrógeno penetra casi a la vez en todo el tejido a través de su superficie.

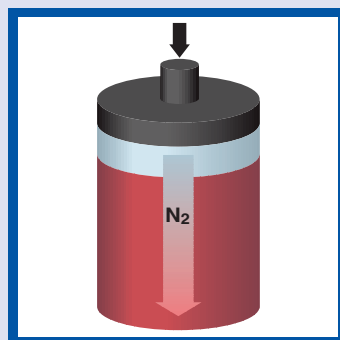


Figura 4. Segunda aproximación en los modelos de difusión: El Nitrógeno penetra lentamente en todo el tejido a través de su profundidad.



Los modelos de difusión existentes, realizan la segunda simplificación de otra forma. Consideran el cuerpo humano como formado, en el caso más simple, por un cilindro único en el que el gas inerte se va difundiendo desde una cara hacia la opuesta. La cara en contacto con el gas simula el efecto de los pulmones, mientras que la cara opuesta serían las partes del cuerpo más alejadas de ellos.

La complejidad de su desarrollo matemático ha hecho que los modelos de difusión hayan proliferado mucho menos que los anteriores. De hecho sólo hay dos como productos comerciales que se hayan difundido con amplitud suficiente: las tablas BSAC (British Sub-Aqua Club) y las DCIEM canadienses.

Las tablas BSAC fueron desarrolladas por Hennessy en el Reino Unido y publicadas en 1988. Consideró el cuerpo humano como un único compartimento, ajustado al comportamiento de los tejidos de las articulaciones óseas. En este modelo la constante de semisaturación para la carga no es la misma que para la descarga, sino que se supone vez y media mas lenta: 87,5 min para la carga y 131,5 min para la descarga.

Las tablas DCIEM se desarrollaron en el seno de una organización canadiense denominada "Defence and Civil Institute of Environmental Medicine", creada en el año 1962. Kidd y Stubbs desarrollaron un modelo de difusión que desembocó en las tablas DCIEM del año 1983.

## LOS MODELOS CLÁSICOS. INMERSIONES SUCESIVAS

Todos los modelos, tanto los de perfusión como de difusión, tienen que afrontar una nueva simplificación cuando hay que tener en cuenta inmersiones sucesivas pues para todos ellos el resultado de la primera inmersión y el intervalo de superficie se representan con una letra de coeficiente.

El problema radica en que la sobresaturación existente en cada compartimento es diferente según cómo se haya desarrollado la primera inmersión, y ningún modelo lo tiene en cuenta. Un modelo que intentase ajustar lo más fielmente posible una inmersión sucesiva, tendría que tener en cuenta no solo el intervalo de superficie, las profundidades y los tiempos de la inmersión precedente sino el estado de todos los compartimentos al final de la misma.

Hay que indicar que los ordenadores de buceo que siguen estos modelos, al trabajar en tiempo real, calculan las inmersiones sucesivas con la misma precisión que las inmersiones simples, ya que en sus algoritmos tienen en cuenta todas las variables antes indicadas.

No queremos decir con ello que sean mucho más seguros, ya que en las inmersiones sucesivas se producen circunstancias que no se han tenido en cuenta en los modelos clásicos y que, por tanto, no son capaces de reproducir ni las tablas ni las computadoras de inmersión que siguen los modelos clásicos.

## LOS MODELOS DE PERMEABILIDAD VARIABLE

Que las burbujas existen y que son la causa de los accidentes de descompresión es un hecho constatado. Sin embargo, los primeros estudiosos encontraban dificultades para justificar su nacimiento.

En una burbuja ya formada en equilibrio (fig. 5) la presión externa es igual a la interna. La Presión externa a la burbuja es la suma de la presión ambiente más la de la tensión superficial del líquido (tejido) y la presión interna es la producida por el gas inerte  $P_g$  que hay dentro de ella.

La presión ambiente depende de la profundidad y la presión de la tensión superficial es inversamente proporcional al radio de la burbuja.

Y ese es el problema cuando se forman, cuando son pequeñas, porque cuanto menor sea el radio mayor será la presión de la tensión superficial.

Si hacemos el cálculo de la suma de la presión ambiente ( $P_a$ ) más la presión de la tensión ( $TS$ ) para un radio pequeño en una burbuja naciente obtenemos valores del orden de decenas de atmósferas. Entonces, sería necesario para que se formase la burbuja que el gas que entrase en ella tuviera una presión de ese orden. Pero el gas inerte a lo largo de una inmersión sólo es capaz de producir presiones del orden de 3 o 4 veces la presión ambiente (fig. 6). Luego, la ecuación  $P_a + TS = P_g$  no es correcta.

Entonces, ¿cómo puede el gas con esa presión tan pequeña “inflar” la burbuja? Esto es algo parecido a lo que ocurre cuando queremos inflar un globo soplando: Cuando está vacío tenemos que hacer más fuerza con los músculos torácicos y de la boca para que entre el aire que cuando ya se va llenando.

Los modelos clásicos obviaron este inconveniente presuponiendo que las burbujas aprovechaban zonas de turbulencias y “grietas” con baja tensión superficial para formarse y alcanzar unas dimensiones en las que la tensión superficial existente justificara las sobrepresiones prácticas observadas.

A comienzo de los años 80, Yount y Hoffman inician una serie de experimentos en geles orgánicos (carentes de vida) así como en tejidos vivos, observando la existencia de **burbujas preexistentes en condiciones normales**. Estas burbujas que llamaremos **nanoburbujas**, tienen tamaños algo inferiores a  $10^{-6}$  m, es decir, a una micra ( $\mu\text{m}$ ) y eran inexplicables.

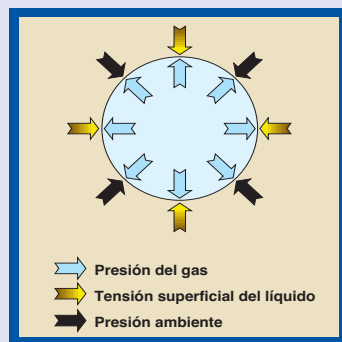


Figura 5. Equilibrio en una burbuja formada

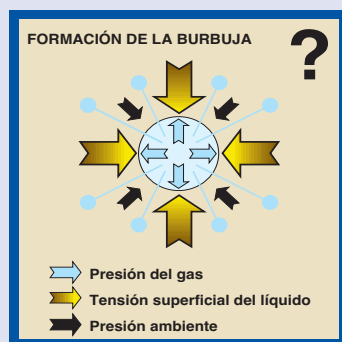


Figura 6. Cuando el tamaño es pequeño

Tras estos estudios nace el Modelo de Permeabilidad Variable (VPM), que se basa en la explicación física de la aparición y evolución de esas nanoburbujas detectadas en los tejidos gracias a la presencia de unos aglomerados esféricos de moléculas orgánicas, los surfactantes, con unas propiedades diferenciadas en sus superficies externa e interna.

De forma esquemática podríamos describir su formación en varias fases (fig. 7):

- A. Las moléculas orgánicas están en el líquido (tejido).
- B. Se agrupan formando aglomerados.
- C. Como la superficie interna es hidrófoba, los grumos orgánicos tienden a expulsar el agua. A bajas presiones (hasta los 0.9 bares) estos grumos orgánicos, los surfactantes, son permeables a los gases y a los líquidos.
- D. Terminan expulsando totalmente los líquidos de su interior y rellenándose de los gases disueltos en el tejido.

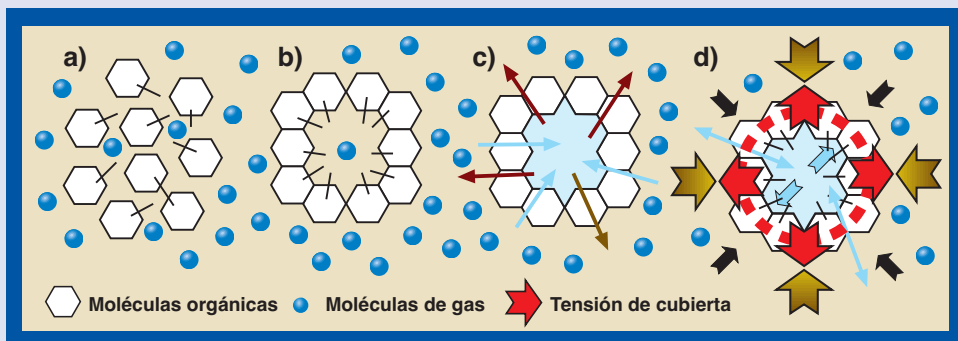


Figura 7. En superficie, como la cubierta surfactante es permeable al paso del gas, éste penetra en su interior hasta que la  $P_p$  del gas interna se iguala a la tensión en el líquido (tejido).

La burbuja así creada, conteniendo vapor de agua, anhídrido carbónico, oxígeno y, fundamentalmente, el gas inerte o gases inertes respirados, no se colapsa por efecto de la tensión superficial ya que a la presión de los gases internos se le suma ahora la acción de la capa molecular de surfactante.

El papel del surfactante es el de actuar como una coraza protectora, generar una tensión, tensión de cubierta (TC), que se oponga a la superficial. Esta tensión de cubierta depende de la densidad de moléculas de surfactante en la superficie de la nanoburbuja y la presión que ejerce de su radio.

Ahora la ecuación " $P_a + TS = P_g + TC$ " es correcta.

En la superficie, para cada presión del gas inerte en los tejidos existirá un tamaño de nanoburbuja estable debido a que si cambiamos de miembro en la ecuación anterior a  $P_g$  y  $TS$  tenemos: " $P_a - P_g = TC - TS$ " y, como las presiones de la  $TC$  y de la  $TS$  dependen del radio ( $R$ ), existirá un valor de este para que se produzca la igualdad de los dos miembros. Es decir, que tendremos:

$$P_a - P_{g_1} = TC_1 - TS_1 \dots\dots\dots R_1$$

$$P_a - P_{g_2} = TC_2 - TS_2 \dots\dots\dots R_2$$

$P_a - P_{g_3} = TC_3 - TS_3 \dots\dots\dots R_3$  y así hasta un valor genérico n en que:

$$P_a - P_{g_n} = TC_n - TS_n \dots\dots\dots R_n$$
 El rango de radios ( $R_1 \dots R_n$ ) permitirá a las nanoburbujas ser estables para el rango  $P_{g_1} \dots P_{g_n}$ .

Si añadimos a esto, qué la mayoría de las nanoburbujas con radios superiores a una micra son eliminadas al filtrarse la sangre en el bazo, podemos comprender la presencia en el organismo humano, antes de someterse a una inmersión, de un número considerable de nanoburbujas con un radio entre 0,01 y 1  $\mu\text{m}$  proporcional a la cantidad de surfactante.

Lógicamente, el equilibrio también es posible porque la  $P_g$  está igualada a la tensión de los gases inertes disueltos en los tejidos.

Al sumergirnos y aumentar la presión externa, el primer desequilibrio se produce entre la  $P_g$  y la tensión de los gases inertes disueltos en el tejido (fig. 8). La primera crece con la presión externa y la segunda tardará en hacerlo pues el mecanismo de disolución es más lento.

Para corregir este desequilibrio sale gas de la nanoburbuja y se reduce su tamaño. La burbuja se comporta de manera permeable.

Pero si la reducción del tamaño continua, llega un momento en que el surfactante tiene una densidad superficial límite que impide el paso de los gases, entonces, la burbuja se hace casi impermeable. La nanoburbuja se comporta como un recipiente cerrado y si sigue aumentando la presión externa reducirá su volumen según la ley de Boyle y Mariotte.

Según como sea el descenso de rápido y profundo, la población de nanoburbujas se vera afectada, ya que, la velocidad durante la fase permeable determinará los tamaños finales y la presión ambiente alcanzada durante la fase impermeable puede provocar la desaparición de algunas de ellas al reducirse excesivamente su tamaño y colapsarse.

Una vez en el fondo, con el tiempo (fig. 9), aumenta la tensión del gas inerte y las nanoburbujas se comportan de forma permeable dejando pasar gas a su interior y aumentando su presión parcial en el interior.

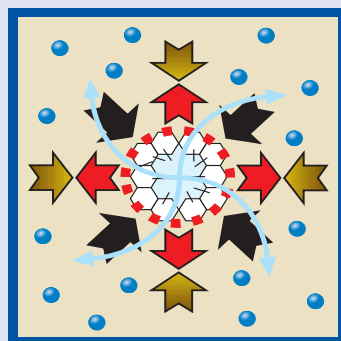


Figura 8.- Al descender, el aumento rápido de la presión produce una disminución del volumen y una salida de gas al tejido en los primeros momentos.

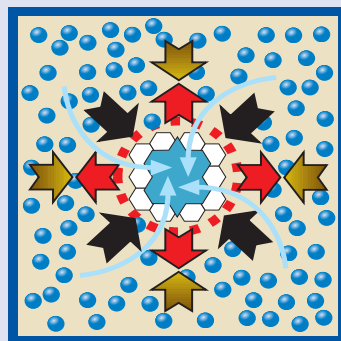
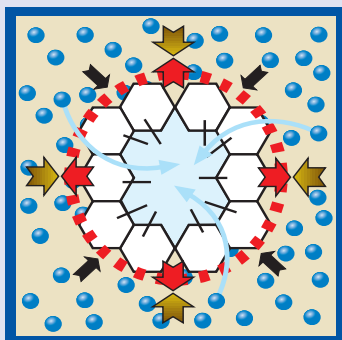


Figura 9.- En el fondo, el aumento de la tensión del gas inerte en el tejido provoca el paso de gas a la burbuja acumulándose en su interior más del que tenía al descender.

Al ascender (fig. 10) el efecto es el opuesto: las burbujas aumentan de tamaño, reduciéndose la presión del gas que contiene y las presiones parciales de sus componentes. Si la velocidad de ascenso es tal que no da tiempo a que se reduzca la tensión de disolución de esos mismos gases en los tejidos, el flujo de gases será ahora desde el tejido hasta la burbuja. Como la nanoburbuja se ha ido cargando con más gas, tanto en el fondo como en el ascenso, al subir se convierte en una microburbuja.

Las microburbujas puede que no se aglutinen formando burbujas mayores y permanezcan como microburbujas silentes o, que si lo hagan y den lugar a las macroburbujas patógenas.



*Figura 10.- Al ascender disminuye la presión, aumenta de volumen y como ahora hay más gas inerte este volumen será mayor. Además la tensión en el líquido será mayor que la Pp en la burbuja y seguirá cargándose de gas.*

Para lo cual es determinante su número y tamaño que, como hemos visto, depende de cómo se ha realizado el descenso, la permanencia en el fondo y el ascenso, del comportamiento permeable o no de su membrana, del gas no disuelto en los tejidos, etc. Todo lo que se utiliza en el modelo VPM para predecir las situaciones finales y establecer los planes de ascenso.

Durante el ascenso para evitar el crecimiento de las nanoburbujas interesa reducir la velocidad y por eso se introducen paradas de descompresión profundas, sin embargo, para la descarga de los gases disueltos en los tejidos, las paradas profundas contribuyen poco a la descarga de los compartimentos rápidos, mientras que empeoran bastante la situación de los lentos donde sigue creciendo la tensión de los gases inertes (siguen disolviéndose).

Por tanto, el ascenso óptimo se obtiene mediante un cálculo complejo.

La primera consecuencia del estudio de las nanoburbujas es la necesidad de un descenso rápido (sin superar los 15 m/min), porque llegar a la máxima profundidad al principio reduce el nº de nanoburbujas y disminuye el tiempo de descompresión si seguimos el modelo VPM para calcular el ascenso.

Y la segunda consecuencia aplicada a los planes de ascenso consiste en la enorme reducción de la velocidad de ascenso con paradas más profundas y mayores tiempos de descompresión.

## MODELOS NEO HALDANE - GRADIENTES

Veamos como un modelo clásico, como es el de Bühlmann, se ha completado con un procedimiento para aumentar los tiempos de descompresión y las paradas profundas que exigen la presencia de las nanoburbujas.

Vamos a ilustrar lo que ocurre en un compartimento durante el ascenso gráficamente según el modelo clásico.

Elegimos el compartimento de período de semisaturación de 27 minutos de un buceador que ha permanecido 50 min a 30 m y que por eso tiene en él una tensión de nitrógeno de 2,97 atm.

En el eje horizontal (fig. 11) se representa la profundidad que vamos adquiriendo en el ascenso, por eso la figura se lee de derecha a izquierda. En el eje vertical se representa la tensión de gas inerte disuelto en este compartimento.

La línea roja de la gráfica representa los puntos que separan la zona sobresaturada (a la izquierda - arriba) de la infrasaturada (a la derecha - abajo). La línea azul representa la presión parcial de nitrógeno crítica para el compartimento nº 6 (27 minutos de tiempo de semisaturación) conforme al modelo estándar.

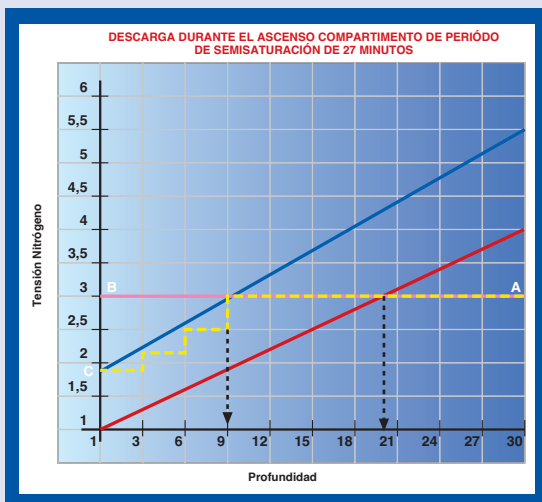


Figura 11.

Si un buceador que ha permanecido 50 minutos a 30 metros de profundidad comenzase el ascenso, la tensión de nitrógeno en ese compartimento se encontraría en el punto A y seguiría la línea de color morado si subiese hacia la superficie, disminuyendo sólo ligeramente la tensión (no da tiempo a hacerlo más durante el ascenso) y llegando al punto B. Como ha superado la línea azul el compartimento tendría una sobresaturación crítica y en los tejidos del buceador que se comportasen como ese compartimento aparecerían macroburbujas patógenas.

Lógicamente, la situación de este compartimento en el fondo determinaría que tanto los cálculos realizados por una tablas o por un ordenador lo tuviesen en cuenta, se convertiría en lo que se llama el compartimento “director”.

Entonces, para evitar la sobresaturación crítica del compartimento el buceador debería subir siguiendo la línea amarilla que vamos a comentar.

Durante el ascenso desde los 30 m hasta los 20,7 m en apenas un minuto la cantidad de nitrógeno en el compartimento apenas varía. Al llegar a esa profundidad el buceador supera la línea roja, es decir, que el compartimento estaría sobresaturado para esa profundidad y empezaría a descargarse. A esa profundidad la denominamos profundidad suelo. Por encima de esta profundidad si sigue subiendo seguirá el compartimento sobresaturado pero mientras que no supere la línea azul (niveles críticos estándar) no habrá problema.

Al llegar a los 9 m el buceador para no superar la línea azul y que la sobresaturación sea crítica, se para. Permanece a esa profundidad, que se denomina: profundidad techo, eliminando nitrógeno en el tejido (la línea amarilla cae) hasta que podamos continuar y subir hasta los 6 m sin rebasar la línea azul. Al llegar a los 6 m se tendría que parar de nuevo hasta que la tensión de nitrógeno le permita subir a 3 m, y allí hace lo mismo hasta que pueda subir a superficie, saliendo con la tensión del punto C.

Recordemos que la línea azul es el resultado de los cálculos que se hacen con el modelo de Bühlmann para considerar la sobresaturación crítica en ese compartimento.

El método de los gradientes consiste en realizar el cálculo de los ascensos con una línea diferente a la azul, la que hemos dibujado en verde (fig. 12), una que se encuentra por debajo y con sus extremos entre los de la línea roja de sobresaturación y la antigua línea azul.

Veamos un ejemplo:

Si el buceador realiza el ascenso pendiente de no superar la línea verde (fig. 12), la profundidad techo sería 15 m donde tiene que realizar la primera parada. Realizaría cinco paradas de DECO y saldría en el punto C con menos tensión de nitrógeno en el compartimento que en el caso anterior. O sea, habría introducido paradas más profundas y saldría con menos nitrógeno lo que supone mayor seguridad.

¿En qué medida aparecen las paradas profundas y se reduce el nitrógeno de salida, es decir, se aumenta el tiempo de descompresión? Pues depende de la posición de la línea verde; de sus extremos.

Esa posición de los extremos se va a indicar mediante el valor de los gradientes, el “gradiente de fondo” y el “gradiente de superficie”.

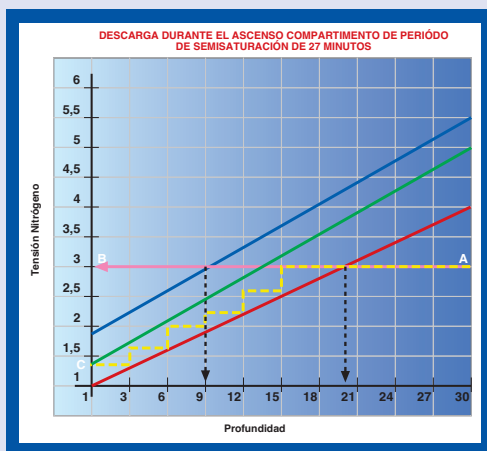


Figura 12.

Con el gradiente de fondo, expresado mediante un porcentaje, indicamos la posición del extremo derecho de la línea verde. Así, por ejemplo, para un gradiente de fondo del 0%, el extremo de la línea verde se situaría sobre el de la línea roja, mientras que con un gradiente de fondo del 100%, se situaría sobre la línea azul.

En nuestro caso lo colocamos aproximadamente con un 50%. Reducir el gradiente de fondo nos hace introducir paradas profundas, consiguiendo un efecto similar al del procedimiento Pyle. Un



valor de uso, razonable, se sitúa en torno al 50%, aunque muchos buceadores técnicos usan valores inferiores.

Con el gradiente de superficie, expresado también mediante un porcentaje, indicamos la posición del extremo izquierdo de la línea verde. Así, por ejemplo, para un gradiente de fondo del 0%, el extremo de la línea verde se situaría sobre el de la línea roja, mientras que con un gradiente de fondo del 100%, se situaría sobre la línea azul.

Reduciendo el gradiente de superficie, se incrementa notablemente el tiempo total de descompresión. Un gradiente de superficie razonable oscila entre el 90 y el 95%.

Gradientes de fondo y de superficie del 100 % supondría volver a la situación inicial de la línea azul.

Se puede comprobar que el gradiente de superficie afecta poco en la cota de la parada más profunda aunque aumente mucho el tiempo de descompresión. El gradiente de fondo hace aumentar mucho la profundidad de la primera parada de descompresión y, cuando varía de forma importante, también afecta a la duración total de la inmersión.

La tabla III muestra una comparativa entre el modelo Bühlmann estándar y otro modificado con gradientes del 90 y 30% para superficie y fondo respectivamente.

En el tiempo total se ha incluido el tiempo de ascenso a 9 m/min y otro minuto para ascender desde los 3m a superficie.

**TABLA III.**  
**Comparación de resultados según los GF elegidos**

		PARADAS						
m	min	GF y GS	15m	12m	9m	6m	3m	T. total
30	40	100/100				3	10	17
	40	30/100	1	1	1	4	9	20
	40	30/90	1	1	3	5	13	27
	60	100/100			1	10	25	40
	60	30/100	1	4	6	11	20	46
	60	30/90	2	5	7	15	25	58

Este procedimiento nos permite ajustar nuestros perfiles de descompresión en función de la propia experiencia, reduciendo o aumentando los resultados de una inmersión anterior o la presencia de unos factores u otros. El proceso puede empezarse reduciendo mucho el gradiente de fondo (usando un 10%, por ejemplo) y empezando con un gradiente de superficie del 90%.

Si el estado general, tras una serie de inmersiones, es satisfactorio, puede irse aumentando el gradiente de superficie. En caso contrario, habría que reducirlo. El gradiente de fondo conviene mantenerlo en niveles bajos para que el modelo introduzca paradas profundas.

*Si necesitas repasar algún concepto como, por ejemplo, lo que son compartimentos, tejido director, período de semisaturación, sobresaturación crítica o niveles de confianza, te recomendamos que vuelvas a leer tu manual de B2E.*

## **Apéndice 3.**

### ***La respiración y el consumo***

La energía que necesita nuestro organismo para crecer y relacionarse se obtiene en sus células, concretamente, en unos corpúsculos que están dentro de ellas llamados mitocondrias donde mediante una serie de reacciones químicas las moléculas de glucosa, glucógeno y de los ácidos grasos se oxidan en presencia del oxígeno para formar ATP (formación aeróbica con oxígeno). El ATP es una molécula con alto contenido energético que puede participar en cualquier proceso celular donde se requiera energía, aportándola en forma de energía química o de calor.

El ATP se almacena suficientemente en las células para cubrir sus necesidades. Sólo en aquellas células que están relacionadas con el movimiento puede ocurrir que la demanda de ATP, debida a un esfuerzo intenso, desborde las provisiones almacenadas y exija un inmediato aumento de su producción. Entonces se ponen en marcha procesos para la obtención del ATP menos eficaces pero más rápidos. Son los procesos anaeróbicos (sin oxígeno) como el que produce el ácido láctico que debe eliminarse por la sangre.

Cuando el músculo produce energía de forma aeróbica no se cansa pero cuando lo hace de forma anaeróbica sí, llegando en situaciones extremas a agarrarse.

Aunque en el buceo desarrollamos de forma moderada una actividad física, la navegación contracorriente o de largas distancias puede exigir la realización de esfuerzos intensos. Por tanto, es muy aconsejable mantener un estado general de salud y de entrenamiento que produzcan elevados niveles de ATP almacenado.

Pero no debemos olvidar que la aportación del oxígeno a las células, mediante los sistemas respiratorio y circulatorio, es la garantía de que el ATP se pueda formar.

La función del sistema respiratorio es que en los alvéolos pulmonares se produzca de forma eficaz el intercambio de gases entre el aire y la sangre.

Por eso, en las revisiones médicas que nos hacemos los buceadores hay que vigilar cuál es el estado de salud de nuestro sistema respiratorio: la capacidad vital de que disponemos o el grado de obstrucciones de nuestros bronquios y bronquiolos.

Podemos mejorar la salud de nuestro sistema respiratorio mediante la mejora de los hábitos respiratorios (evitando contaminantes) y mediante el entrenamiento de los músculos que intervienen en la respiración. Debemos acostumbrarnos a una respiración lenta, profunda y utilizando el tercio inferior de los pulmones que está en contacto con el diafragma donde es más eficaz.

La sangre debe pasar por los alvéolos y el aire debe renovarse, lo que obliga a un acoplamiento entre el ritmo respiratorio (nº de ciclos respiratorios y volumen de cada uno de ellos) con la velocidad con la que pasa la sangre por el alvéolo impuesta por el ritmo cardiaco. Por este acoplamiento, en el reposo que tenemos pocas nece-

sidades de oxígeno los ritmos, tanto respiratorio como cardíaco, serán bajos pero si la demanda de oxígeno crece debido a la realización de un esfuerzo, los ritmos aumentarán.

Esta es una de las razones por las que el sobrepeso sea un factor que, debido a que propicie esfuerzos mayores, incremente el ritmo respiratorio.

Mención aparte, por su importancia, merece el análisis de los esfuerzos que realiza un buceador al respirar gas a la presión ambiente. Veamos los motivos.

En primer lugar, se encuentra la resistencia al movimiento que ofrecen los músculos de la caja torácica aunque no se vean afectados por la profundidad. En segundo lugar el rozamiento producido por el gas en las vías respiratorias es proporcional a la densidad (leese profundidad) y a su velocidad (ritmo respiratorio). Esto explica porqué cuando perdemos el ritmo respiratorio en el fondo es conveniente disminuir la profundidad para recuperarlo y controlar el consumo. Y en tercer lugar la inercia del gas respirado que es proporcional también a la presión (profundidad).

Hay que añadir que la respiración bajo el agua se realiza a través de un regulador que exige un esfuerzo, mayor o menor según su calidad y regulación, y que produce un caudal que puede ser el apropiado o no.

Estos esfuerzos si no se respira lenta y profundamente tienen otra consecuencia perjudicial que es la acumulación del CO<sub>2</sub> en los alvéolos lo cual repercute en el ritmo respiratorio, acelerándolo e impidiendo que se recupere.

Mantener un ritmo respiratorio bajo equivale a consumir poco y eso es lo que quiere el buceador.

Pero, además del esfuerzo, existe otra causa de la aceleración del ritmo respiratorio: nuestro estado mental. El ritmo respiratorio por un lado funciona controlado de forma refleja por el bulbo raquídeo y por otro de forma voluntaria por la corteza cerebral. Así que, cuando estamos conscientes se ven influidos tanto por la costumbre como por el estado emocional. El resultado ya lo conocemos, realizando el mismo ejercicio bajo el agua puede que tengamos diferentes consumos según el grado de estrés, angustia o la forma de respirar.

No podemos dejar de considerar el papel que juega el sistema circulatorio repartiendo el oxígeno por el organismo. Para ser efectivo lo necesitamos lleno de glóbulos rojos cargados de hemoglobina que es la encargada del transporte del oxígeno. Necesitamos también un corazón fuerte y unas arterias elásticas.

Una alimentación sana, sin alcohol ni grasas saturadas, junto con el ejercicio físico está comprobado que mantienen el sistema circulatorio en buenas condiciones.

## Apéndice 4. Ejemplo de previsión y gestión de consumos en el caso de una inmersión con retorno obligado

Supongamos que vamos a realizar una inmersión en la bodega de un pecio que se encuentra posado sobre un fondo de arena a 42 m, con la cubierta a 32m. La bodega tiene su fondo a 39 m y debajo hay otra que llega hasta la arena del fondo.

Queremos permanecer 25 min en la inmersión y tenemos EAN50 y oxígeno para la DECO.

En primer lugar calculamos el plan de ascenso B. La situación excepcional que podría ocurrir es que rebasáramos la profundidad de los 39 m bajando en algún momento a la segunda bodega, por lo que calculamos el ascenso para una inmersión a 42 m y 25 min de duración.

Realizamos los cálculos de los consumos previstos para cada fase de la inmersión y los gases necesarios igual que en el ejemplo que vimos en el capítulo 2 y colocamos los resultados en la tabla IV. La única diferencia es que para el gas de fondo hemos utilizado el coeficiente 1,8.

Con estos resultados podíamos elegir, por ejemplo, llevar una bibotella de 2x15 para el gas de fondo, es decir, que llevamos 6.000 l.

Para tener garantizado el ascenso de 42 m a 18 m, con gas vital de fondo, necesitamos 533 l (ver tabla IV) que si los dividimos por la capacidad de la botella nos quedaría que equivalen a 17,7 atm, redondeando, a 20 atm. Si queremos que al finalizar el ascenso con el gas de fondo nos, al llegar a C3 (fig. 12) sobren en el equipo 30 atm tendríamos que comenzar el ascenso con 50 atm (PA).

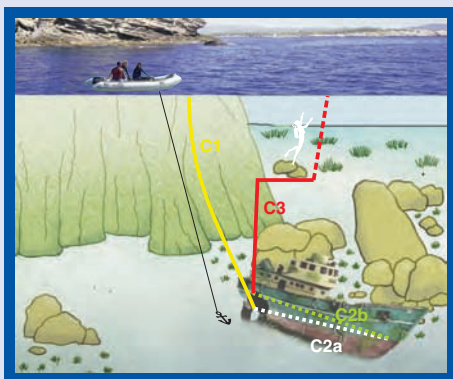


Figura 13. Retorno obligado

Al llegar a C1 en el fondo, habríamos gastado 173,6 l, que si los dividimos por los 30 l de capacidad de la bibotella son unas 6 atm, o sea, que nos quedan 194 atm y como vamos a reservar 50 atm para el ascenso quedarían 144 atm para gastar en el fondo.

Entonces, para conocer lo que podemos utilizar de aire en la ida C2a (fig. 12) asegurándonos el doble para volver por C2b, dividimos 144 entre 3 y obtenemos 48 atm. Con una presión de  $194 - 48 = 146$  atm tendríamos que regresar o redondeando, 150 atm será la presión de vuelta PV.

Con esta gestión del aire, regresando a las 150 atm y comenzando el ascenso a las 50 atm (siempre que no hayan transcurrido antes los 25 minutos de tiempo de fondo) bucearíamos seguros.

Siendo la gestión del gas de fondo un aspecto muy importante para la seguridad de la inmersión, no lo es menos la gestión del tiempo. Es imprescindible controlarlo para que nos de tiempo a realizar la exploración pero, también, a cumplir el plan previsto.

**TABLA IV.**

Prof.	tiempo	GAS	RR	GP	S	GN	Total
0-42	2,8	Aire	20	173,6	1,8	312,6	5001,7
42-42	22,2	Aire	20	2.308	1,8	4.156	
42-18	2,67	Aire	20	213,3	2,5	533	
18-18	1	EAN50	15	42	2,5	105	857,1
18-15	0,33	EAN50	15	17,7	2,5	44,2	
15-15	1	EAN50	15	37,5	2,5	93,8	
15-12	0,33	EAN50	15	15,7	2,5	39,2	
12-12	2	EAN50	15	66	2,5	165	
12-9	0,33	EAN50	15	13,7	2,5	34,2	
9-9	2	EAN50	15	57	2,5	142,5	
9-6	0,33	EAN50	15	11,7	2,5	29,2	
6-6	3	EAN50	15	72	2,5	180	
6-3	0,33	EAN50	15	9,7	2,5	24,2	
3-3	4	O <sub>2</sub>	15	78	2,5	195	238,125
3-0	1	O <sub>2</sub>	15	17,3	2,5	43,1	

