

Manual Buceo Trimix

Introducción

Breve Historia

Nomenclatura

Características del Helio

Ventajas

Desventajas

Presiones Parciales

Narcosis

Causas

Profundidad de Narcosis Equivalente PNE

Problemas con el Oxígeno

Hipoxia

Hiperoxia

Toxicidad por Oxígeno del Sistema Nervioso Central.

Toxicidad Pulmonar por Oxígeno.

Hipercapnia

Enfermedad Descompresiva

Equipo

Concepto de Redundancia

Concepto de Simplicidad

Concepto de Estandarización

Configuración Hogarthian

Reguladores

Control de Flotabilidad tipo "ala" (wings)

Placa dorsal y arnés

Botellas

Aparatos de Control

Ordenadores Multigas

Profundímetros digitales

Máscara, Aletas

Boya de descompresión

Carrete

Planificación de Inmersiones

Planificación de la descompresión

Algoritmo Bulhman con Factores de Gradiente

Algoritmos llamados de Burbujas

Paradas Profundas

Selección Porcentaje de He en la mezcla (profundidad de narcosis equivalente)

Selección Porcentaje de Oxígeno en la Mezcla

Planificación de Volumen de Gases y Reserva

Presión mínima de ascenso

Planificación de la Toxicidad por Oxígeno

Técnicas y Procedimientos de Inmersión

Preparación

Entrada al agua

Ascenso

Cambio de Gases (Gas Switch)

Desplegado de Boya de Descompresión

Interrupciones de aire o "Air Breaks"

Paradas de Seguridad o Paradas de Superficie

Procedimientos de Emergencia

Omisión de Descompresión

Pérdida de Gas de Descompresión

Pérdida del Compañero

Regulador en Flujo Continuo Incontrolable

Sobrepasar la Profundidad Planificada

Sobrepasar el Tiempo Planificado

Introducción

El uso de mezclas de gases (antiguamente llamadas exóticas) en buceo recreativo ha tenido un auge espectacular en los últimos años. Los procedimientos y técnicas usadas provienen en gran medida del buceo profesional con campana donde se ha venido utilizando el helio de manera sistemática en buceos profundos, sin embargo era considerado peligroso y muy pocos aventureros se decidían a probar esas técnicas y adaptarlas a los equipos de buceo ligero. Gracias a estos aventureros (algunos pagaron su osadía con su propia vida) hoy disponemos de unos procedimientos, técnicas y equipos que nos permiten realizar inmersiones con equipo recreativo o deportivo que hace unos años eran secreto militar o profesional y requerían una logística impensable para un buceador deportivo.

El objetivo de este manual es proporcionar los conocimientos necesarios para poder realizar buceo con mezclas trimix, nitrox y oxígeno a profundidades hoy consideradas aceptables para el buceo no profesional, llamado técnico.

El manual en si no sirve para gran cosa sin el asesoramiento de un instructor con experiencia que guiará al alumno en el proceso de aprendizaje. Aquí más que nunca se aprende con la práctica. Por tanto, no es el animo ni propósito de este manual alentar a los buceadores experimentados a probar "cosas", mas bien todo lo contrario. Mucha experiencia en una o varias áreas de buceo no cualifican para intentar otras en las que se carece de la mas mínima experiencia. No importa cuanta teoría se conozca ni cuanto se haya aprendido en forums de Internet especializados, al final lo que cuenta es un buen instructor y mucha practica en el agua.

Es el ánimo del autor que este manual sirva de referencia y de ayuda a todos aquellos que se inician en este interminable y a la vez apasionante camino del buceo técnico.

Breve Historia

El trimix es una mezcla de tres gases conteniendo Helio, Nitrógeno y Oxígeno. Ya en 1919 Elihu Thompson propuso que la utilización del helio en lugar del nitrógeno podría eliminar el problema de la narcosis. En 1937 Max Nohl utilizando una mezcla de helio y oxígeno, bautizada HELIOX bajo a la profundidad record de 127 metros sin efectos narcóticos.

A partir de entonces se probaron sistemáticamente todos los gases inertes y su aplicación al buceo.

En 1948 Zetterstrom, realizó un buceo temerario a 150 metros usando una mezcla de hidrógeno y oxígeno llamada HIDROX aunque murió en un posterior intento debido a un accidente al no poder controlar su velocidad de ascenso.

En los años 60 se desarrollaron los proyectos de habitats sumergidos a saturación con uso extensivo de helio en los experimentos Precontinente y Sealab.

En los años 70 comienza a utilizarse el helio en el buceo deportivo con buceos a 102 metros en Sudáfrica en cueva con una mezcla 12% de oxígeno, 40% de helio, y 48% de nitrógeno.

En 1975 Lewis Holtzin y Court Smith realizaron una inmersión a 80 metros de profundidad pero Lewis murió en su parada a 12 metros con oxígeno puro y paralizó durante un tiempo el uso de mezclas en buceo deportivo en USA.

En los años 80 se sucedieron una serie de récords entre John Hassenmayer, Claude Touloumdjian en Europa y Sheck Exley en USA. Alcanzando el suizo Hassenmayer 205 metros en la Fontaine de Vancluse y Exley 260 metros en Rio Mante en México. Ambos utilizando mezclas con helio.

Los años 90 se caracterizan por la creación y consolidación de las agencias de certificación de buceo técnico y el comienzo de la enseñanza de trimix en curso de buceo llamado técnico para diferenciarse del buceo llamado recreativo o deportivo.

El record actual de buceo profundo lo tiene el francés Pascal Bernabé en 330 metros realizado en Córcega el año 2006.

Nomenclatura

El trimix es una mezcla de 3 gases y se designa habitualmente por los porcentajes de Oxígeno y Helio. Primero se designa el porcentaje de oxígeno y luego el de helio con una barra de separación. El porcentaje de nitrógeno se deduce de los otros dos.

Ejemplo: 21/40 indicaría una mezcla trimix con 21% de oxígeno, 40% de helio y 39% de Nitrógeno.

Presiones Parciales

El físico británico John Dalton estudio las presiones parciales en mezclas de gases y por ello es reconocido con la ley de su nombre y probablemente el mas mencionado en los ambientes de buceo tanto recreativo como profesional.

La ley establece que "a temperatura constante, la presión absoluta de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales que cada gas tendría si ocupara solo todo el volumen disponible"

Así dicho no es muy práctico pero utilizando su fórmula elemental podemos ver que es probablemente la fórmula más importante en el buceo después de la de cálculo de descompresión.

Podemos calcular la presión parcial de un gas en una mezcla de gases con la siguiente fórmula:

$$\text{Presión Parcial de un Gas} = \text{Presión Total} \times \frac{\% \text{ del gas en la mezcla}}{100}$$

Por ejemplo si queremos calcular la presión parcial de Oxígeno en una mezcla con un 18% a una profundidad de 62 metros:

$$\text{Presión Parcial de Oxígeno} = \text{Presión Total a 62 metros} \times \frac{18\% \text{ de oxígeno}}{100}$$

$$\text{Presión Parcial de Oxígeno} = 7.2 \text{ bar} \times \frac{18\% \text{ de oxígeno}}{100} = 1.296 \text{ bar}$$

Utilizando la misma fórmula podemos calcular la presión absoluta, es decir la profundidad, a la que podremos utilizar una mezcla de gases. Por ejemplo la mezcla anterior con un 18 % de oxígeno la podremos utilizar a un máximo de 1.4 bar por toxicidad del oxígeno y eso sucederá a

$$\begin{aligned} \text{Presión Parcial máxima de Oxígeno} &= \text{Presión Total (profundidad)} \times \frac{\% \text{ de oxígeno}}{100} \\ 1.4 \text{ bar} &= \text{Presión Total (profundidad)} \times \frac{18 \% \text{ de oxígeno}}{100} \end{aligned}$$

Despejando la incógnita

$$\text{Presión Total (profundidad)} = \frac{1.4 \text{ bar}}{0.18} = 7.77 \text{ bar}$$

y esta presión total se obtiene a 67 metros de profundidad. Por tanto esta mezcla la podremos utilizar hasta una profundidad máxima de 67 metros.

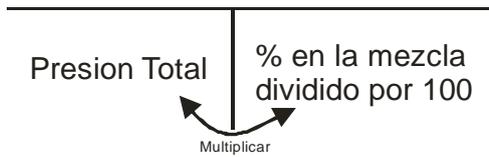
En la literatura americana se utiliza la fórmula con una expresión diferente conocida como fórmula T. En mi experiencia como instructor he encontrado alumnos que la encuentran más simple de recordar, sobre todo aquellos no muy inclinados a las matemáticas.

La fórmula T usa los mismos conceptos pero expresados así

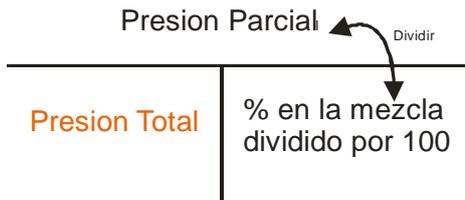
Presión Parcial	
Presión Total	% en la mezcla dividido por 100

En esta forma si queremos obtener la presión parcial multiplicaremos los dos restantes al estar en línea horizontal

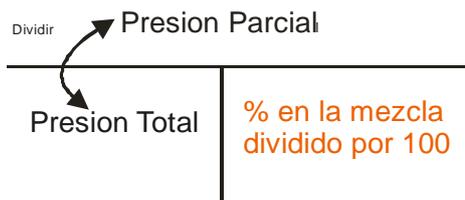
Presion Parcial



Si queremos obtener la profundidad máxima de una mezcla entonces dividiremos la presión parcial por el % de la mezcla al estar en vertical.



Si queremos averiguar la mejor mezcla posible para una profundidad entonces dividiremos la presión parcial por el % dividido por 100



Esta es la fórmula que utilizaremos la mayor parte del tiempo para planificar nuestras inmersiones. Incluso otras fórmulas como la de la Profundidad de Narcosis Equivalente pueden ser deducidas de esta fórmula.

Narcosis

La principal razón del uso de trimix ha sido y es la de evitar la narcosis en el buceo profundo. Dado que aun limitando su efecto todavía tenemos una cantidad de nitrógeno y nos va a producir un cierto nivel de narcosis que deberemos planificar cuidadosamente es importante revisar las causas y síntomas de la narcosis.

Los síntomas de narcosis respirando aire a presiones superiores a 4 ata ya fue establecido por Junod en el año 1835 con una descripción bastante poética de los síntomas. "las funciones del cerebro están activas y la imaginación es muy vívida, los pensamientos adquieren un encanto peculiar y, en algunas personas, se presentan síntomas de intoxicación". A partir de aquí se sucedieron una serie de teorías y explicaciones a este fenómeno que fueron muy poco o nada acertadas hasta que en 1935 Behnke y sus colaboradores propusieron el nitrógeno como el causante de estos efectos.

Hoy en día, de acuerdo con Edmonds, nos referimos a Narcosis por Gas Inerte a un síndrome clínico que se caracteriza por la reducción en el rendimiento de funciones intelectuales y neuromotoras junto con cambios de humor y comportamiento.

Este síndrome presenta una gran variación de susceptibilidad individual pero todos los buceadores están significativamente afectados a profundidades entre 60 y 70 metros con aire. El límite mínimo de aparición es difícil de determinar y se considera 30 metros, aunque algunos buceadores han sido afectados a profundidades menores aunque se piensa en un efecto subjetivo más que fisiológico.

Las funciones superiores como razonamiento, juicio, memoria reciente, aprendizaje, concentración y atención son las primeras afectadas. Los buceadores pueden experimentar una sensación de euforia, y exceso de confianza similar a los efectos de una intoxicación leve de alcohol.

Si se aumenta la profundidad a este punto, aparece un progresivo deterioro del rendimiento de procesos mentales, fijación de ideas, alucinaciones y eventualmente estupor y coma. Factores como ansiedad, fatiga, frío, sedantes, reducción de estímulos sensoriales (como en cuevas, o en inmersiones nocturnas), presiones arteriales elevadas de oxígeno, retención de CO₂ y alcohol agravan o aceleran la aparición de la narcosis.

La narcosis alcanza su nivel más elevado a los pocos minutos de alcanzar la profundidad máxima y no aumenta al aumentar el tiempo de exposición a la profundidad. Si se desciende más, los síntomas aumentan, pero no si nos mantenemos a la misma profundidad. También se caracteriza por una gran variación individual y una adaptación que se va produciendo lentamente si nos mantenemos a la misma profundidad durante una misma inmersión. Buceadores habituados a bucear profundo y con un gran nivel de concentración y motivación pueden realizar buceos profundos sin síntomas aparentes.

La característica más sorprendente de la narcosis es probablemente la facilidad de recuperación en cuanto se asciende de nuevo a menor profundidad.

Causas

Hay varias hipótesis aunque no hay ninguna que por sí sola explique todos los fenómenos asociados a este síndrome. Algunos experimentos apoyan una hipótesis pero otros la contradicen. Por tanto todavía no se puede concluir que se conoce el mecanismo de acción exacto, pero se tiende a pensar en una coordinación o asociación de las diferentes hipótesis o efectos.

Una de las primeras es la hipótesis de la solubilidad en los lípidos.

Esta hipótesis plantea que la potencia narcótica de un gas está directamente relacionada con su coeficiente de solubilidad en lípidos (grasas). Más solubilidad más potencia narcótica. Esto funciona bastante bien con los gases nobles y algunos gases anestésicos pero se presentan discrepancias. Por ejemplo el Argón tiene una solubilidad doble que Nitrógeno pero tiene aproximadamente la misma potencia narcótica.

Esta mayor solubilidad en lípidos provocaría un efecto en las membranas nerviosas que alteraría de alguna forma la transferencia de iones positivos entre el interior y el exterior de la célula que produce la transmisión del impulso nervioso.

Otra hipótesis implica que la acción narcótica se produce en las sinapsis o separación entre las células nerviosas donde se produce un intercambio de sustancias químicas que transfieren el impulso nervioso de una célula nerviosa a otra. El nitrógeno afectaría estas zonas dificultando esta transmisión química. Se han propuesto varios mecanismos de cómo lo haría.

En definitiva, no es importante saber el mecanismo exacto, ya que no se conoce. Pero si cuales son los síntomas, reconocerlos y sobre todo conocer los factores que aceleran o agravan la aparición de los síntomas y cuales son los hábitos o comportamientos de buceo mas seguros respecto a la narcosis.

En la siguiente tabla vemos un resumen de todos ellos

Sintomas	Factores que Predisponen	Comportamiento Adecuado
<ul style="list-style-type: none"> • Euforia • Sensación de bienestar atípica • Dificultades de comunicación • Comportamiento Temerario • Dificultades con el equipo • Dificultades con los instrumentos, lectura o interpretación • No recordar situaciones recién ocurridas 	<ul style="list-style-type: none"> • Frío • Fatiga • Ansiedad • Reducción de estímulos sensoriales como en buceo nocturno o en cuevas • Descenso Rápido • Hiperventilación provocando retención o incremento de CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener contacto visual y comunicación efectiva con el compañero a menudo • Realizar descensos lentos, puede ayudar a adaptarse • Si se detectan síntomas comunicarlo al compañero y ascender ligeramente si la descompresión lo permite • Si se detectan síntomas en el compañero señalarle ascender si la descompresión lo permite

PNE Profundidad de Narcosis Equivalente (END Equivalent Narcosis Depth)

En la práctica como buceadores Trimix tenemos la ventaja que podemos elegir nuestro nivel de narcosis. En general se considera que como mínimo debemos usar un trimix que nos de una profundidad de narcosis equivalente máxima de 40 metros. Muchos buceadores técnicos prefieren una cota menos exigente y procuran mantenerse dentro de los 30 metros, lo que deja la cabeza mas clara sobre todo en buceos en cuevas o muy profundos y complicados donde es imprescindible estar en plenas facultades.

¿Como se calcula la PNE (profundidad de narcosis equivalente)?

Básicamente utilizamos la fórmula de las presiones parciales. Es decir primero calculamos la presión parcial de nitrógeno máxima que queremos tener y que equivale con aire a una profundidad determinada. Recordar utilizar el % de nitrógeno. Por ejemplo si queremos tener una narcosis equivalente a respirar aire a 30 metros:

$$\text{Presión Parcial máxima de Nitrógeno} = \text{Presión Total a 30 metros} \times \frac{\% \text{ de Nitrógeno}}{100}$$

$$\text{Presión Parcial máxima de Nitrógeno} = 4 \text{ bar} \times \frac{79\% \text{ de Nitrógeno}}{100}$$

$$\text{Presión Parcial máxima de Nitrógeno} = 4 \text{ bar} \times 0.79 = 3.16 \text{ bar}$$

3.16 bar de PN2 es la máxima que deseamos tener en el buceo que equivale a respirar aire a 30 metros. Ahora planeamos un buceo a 60 metros con un trimix 18/?? Y queremos ver cuanto helio deberemos poner en la mezcla para tener el nivel de narcosis adecuado. Utilizaremos la misma formula pero ahora nuestra incógnita será el % de nitrógeno.

$$\text{Presión Parcial máxima de Nitrogeno} = \text{Presión Total a 60 metros} \times \frac{\% \text{ de nitrógeno}}{100}$$

$$3.16 \text{ bar} = 7 \text{ bar} \times \frac{??\% \text{ de nitrógeno}}{100}$$

$$\% \text{ de Nitrogeno} = \frac{3.16 \text{ bar} \times 100}{7 \text{ bar}} = 45 \% \text{ de nitrógeno}$$

Por tanto el % de helio requerido será igual a 100 menos la suma de nitrógeno y oxígeno.

En este caso ambos suman $45 + 18 = 63$

Por tanto el helio será: $100 - 63 = 37$

Nuestro trimix será 18/37

En la mayoría de textos y manuales se usa una formula que básicamente es la combinación de las fórmulas usadas anteriormente. Para aquellos que son buenos memorizando fórmulas pueden utilizar la siguiente:

$$PNE = \left[\left(1 - \frac{\% \text{ de helio}}{100} \right) \times \left(\text{Profundidad} + 10 \right) \right] - 10$$

También se puede utilizar una tabla para evitar cálculos matemáticos que pueden ser mas susceptibles de error como la siguiente.

La zona sombreada corresponde a la narcosis equivalente a 40 metros con aire, que es aceptable pero es recomendable la zona dentro de la raya oscura que corresponde a la narcosis equivalente de 30 metros con aire, sobre todo para buceadores mas sensibles a la narcosis o buceos complicados como en cuevas, pecios, o a gran profundidad.

TABLA DE PNE (PROFUNDIDAD DE NARCOSIS EQUIVALENTE)

% He	Profundidad en metros																				
	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
10	26	29	31	34	37	40	42	45	48	50	53	56	58	61	64	67	69	72	75	77	80
11	26	28	31	34	36	39	42	44	47	50	52	55	58	60	63	66	68	71	74	76	79
12	25	28	30	33	36	38	41	44	46	49	52	54	57	60	62	65	67	70	73	75	78
13	25	27	30	33	35	38	40	43	46	48	51	54	56	59	61	64	67	69	72	74	77
14	24	27	30	32	35	37	40	42	45	48	50	53	55	58	61	63	66	68	71	73	76
15	24	27	29	32	34	37	39	42	44	47	50	52	55	57	60	62	65	67	70	72	75
16	24	26	29	31	34	36	39	41	44	46	49	51	54	56	59	61	64	66	69	71	74
17	23	26	28	31	33	36	38	41	43	46	48	51	53	56	58	61	63	66	68	71	73
18	23	25	28	30	33	35	38	40	42	45	47	50	52	55	57	60	62	65	67	70	72
19	22	25	27	30	32	35	37	39	42	44	47	49	52	54	56	59	61	64	66	69	71
20	22	24	27	29	32	34	36	39	41	44	46	48	51	53	56	58	60	63	65	68	70
21	22	24	26	29	31	33	36	38	41	43	45	48	50	52	55	57	60	62	64	67	69
22	21	24	26	28	31	33	35	38	40	42	45	47	49	52	54	56	59	61	63	66	68
23	21	23	25	28	30	32	35	37	39	42	44	46	49	51	53	55	58	60	62	65	67
24	20	23	25	27	30	32	34	36	39	41	43	45	48	50	52	55	57	59	61	64	66
25	20	22	25	27	29	31	34	36	38	40	43	45	47	49	52	54	56	58	61	63	65
26	20	22	24	26	28	31	33	35	37	40	42	44	46	48	51	53	55	57	60	62	64
27	19	21	24	26	28	30	32	35	37	39	41	43	45	48	50	52	54	56	59	61	63
28	19	21	23	25	27	30	32	34	36	38	40	43	45	47	49	51	53	56	58	60	62
29	18	21	23	25	27	29	31	33	35	38	40	42	44	46	48	50	52	55	57	59	61
30	18	20	22	24	26	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	50	52	54	56	58	60
31	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	45	47	49	51	53	55	57	59
32	17	19	21	23	25	27	29	31	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
33	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57
34	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56
35	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55
36	16	18	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	42	44	46	48	50	52	54
37	15	17	19	21	23	25	27	28	30	32	34	36	38	40	42	44	45	47	49	51	53
38	15	17	19	20	22	24	26	28	30	32	33	35	37	39	41	43	45	46	48	50	52
39	14	16	18	20	22	24	25	27	29	31	33	35	36	38	40	42	44	46	47	49	51
40	14	16	18	19	21	23	25	27	28	30	32	34	36	37	39	41	43	45	46	48	50
41	14	15	17	19	21	22	24	26	28	30	31	33	35	37	38	40	42	44	45	47	49
42	13	15	17	18	20	22	24	25	27	29	31	32	34	36	38	39	41	43	45	46	48
43	13	15	16	18	20	21	23	25	26	28	30	32	33	35	37	38	40	42	44	45	47
44	12	14	16	17	19	21	22	24	26	28	29	31	33	34	36	38	39	41	43	44	46
45	12	14	15	17	19	20	22	24	25	27	29	30	32	33	35	37	38	40	42	43	45
46	12	13	15	16	18	20	21	23	25	26	28	29	31	33	34	36	38	39	41	42	44
47	11	13	14	16	18	19	21	22	24	26	27	29	30	32	33	35	37	38	40	41	43
48	11	12	14	15	17	19	20	22	23	25	26	28	30	31	33	34	36	37	39	40	42
49	10	12	13	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29	30	32	33	35	36	38	39	41
50	10	12	13	15	16	18	19	21	22	24	25	27	28	30	31	33	34	36	37	39	40
51	10	11	13	14	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29	30	32	33	35	36	38	39
52	9	11	12	14	15	16	18	19	21	22	24	25	26	28	29	31	32	34	35	37	38
53	9	10	12	13	14	16	17	19	20	21	23	24	26	27	29	30	31	33	34	36	37
54	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22	24	25	26	28	29	30	32	33	35	36
55	8	9	11	12	13	15	16	17	19	20	22	23	24	26	27	28	30	31	32	34	35
56	8	9	10	12	13	14	16	17	18	19	21	22	23	25	26	27	29	30	31	33	34
57	7	8	10	11	12	14	15	16	18	19	20	21	23	24	25	27	28	29	30	32	33
58	7	8	9	11	12	13	14	16	17	18	19	21	22	23	24	26	27	28	29	31	32
59	6	8	9	10	11	13	14	15	16	17	19	20	21	22	24	25	26	27	29	30	31
60	6	7	8	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	22	23	24	25	26	28	29	30

Problemas relacionados con el Oxígeno

Hipoxia

La hipoxia es menos "hipo" oxígeno "oxia" de lo normal. En este caso lo normal para nosotros es casi un 21% en superficie o una presión parcial de 0.21 bar a nivel del mar.

En buceo técnico se utilizan mezclas llamadas hipóxicas cuando se planifican inmersiones a profundidades que provocarían una presión parcial de oxígeno muy alta y por tanto toxicidad por oxígeno. Se considera que un 18% de oxígeno es el mínimo recomendado para respirar desde la superficie y un 16% es el mínimo absoluto que se podría respirar en la superficie. Si se respira en la superficie o desde la superficie mezclas con menos de un 16% se corre el riesgo de perder el conocimiento sin aviso previo al no llegar suficiente oxígeno al cerebro.

En buceos profundos se suelen usar mezclas que pueden ser tan bajas como un 10% en oxígeno. En estos casos se requiere el uso de una mezcla de viaje, (travel mix en inglés). Esta mezcla será un trimix con un % de oxígeno mas alto o simplemente la mezcla de descompresión con el contenido mas bajo de oxígeno. Esta mezcla de viaje se usa hasta la profundidad en la que la mezcla de fondo alcanza una presión parcial de oxígeno mínima de 0.16 bar. A partir de ahí ya se puede cambiar a la mezcla de fondo.

En este caso si utilizáramos una mezcla trimix 12/45, ¿a que profundidad podríamos respirarla?

De nuevo dependemos de nuestra mágica fórmula de las presiones parciales. Queremos saber a que profundidad esta mezcla alcanzara la presión parcial de oxígeno de 0.16 bares. Por tanto

$$0.16 \text{ bar} = \text{Presión Total (profundidad)?} \times \frac{12}{100}$$
$$\text{Presión Total (profundidad)?} = \frac{0.16}{0.12} = 1.33 \text{ bar}$$

Por tanto podríamos respirar la mezcla a partir de 3.3 metros de profundidad.

Algunos buceadores trimix, respiran la mezcla de fondo desde la superficie ya que consideran que tardaran segundos en alcanzar la profundidad segura, 5 o 6 metros para respirar la mezcla. Esto es una estupidez, ya que nos exponemos a un riesgo innecesario. Si bien es cierto que en la mayoría de los casos estaremos a esa profundidad segura en muy poco tiempo, si por cualquier razón nos distraemos, el compañero tiene algún problema y no alcanzamos esa profundidad tan rápido como pensábamos, podemos perder el conocimiento sin previo aviso, y ahogarnos como consecuencia. Una consecuencia muy grave por no hacer un simple cambio de regulador durante el descenso.....

Con equipos de circuito abierto es poco frecuente sufrir de hipoxia, a excepción del inicio del buceo como hemos comentado previamente. Es mucho más frecuente y una de las causas principales de accidentes fatales en buceo con Recirculadores de aire conocidos comúnmente como Rebreathers.

En estos casos es mucho más factible que la inyección del oxígeno para compensar el oxígeno usado metabólicamente no funcione adecuadamente y por tanto se produzca la hipoxia en muy poco tiempo. Este manual está destinado a buceo con circuito abierto y por tanto no deberá ser un problema para nosotros.

Hiperoxia

Este término se refiere a más "hiper" oxígeno "oxia" de lo normal. ¿Cuanto es lo normal entonces?. El cuerpo humano tiene una tolerancia a respirar una presión parcial de oxígeno mayor de la presión atmosférica de 0.21 bares. Si bien esta tolerancia es limitada.

El oxígeno fue descubierto por Priestly que ya en 1775 el mismo sugirió al ver la fuerza de la llama de una vela en este gas que podría tener efectos adversos en los animales y personas si se respiraba esta clase pura de aire.

1878 Paul Bert publicó su trabajo la Pression Barometrique como resultado de años de estudios de exposición a altas y bajas presiones de oxígeno donde ya estableció la aparición de convulsiones respirando altas presiones parciales de oxígeno.

Se sucedieron varios experimentos con animales, e incluso incluyendo dos oficiales de la Royal Navy que respiraron oxígeno a 4 ata y presentaron convulsiones a 13 y 16 minutos respectivamente.

Al comienzo de la segunda guerra mundial se observaron muchos casos de inconsciencia y problemas durante buceos con recicladores de oxígeno puro a lo que se consideraban entonces profundidades aceptables. Donald en 1942 inició una serie de experimentos de exposición al oxígeno y observó más de 2000 exposiciones y dedujo una serie de límites que son la base para los actuales.

Su principal deducción fue la gran variación de susceptibilidad individual, que podían ir de 10 a 150 minutos en aparecer síntomas de toxicidad de oxígeno para el mismo individuo en diferentes días con la misma exposición de oxígeno puro a 21 metros de profundidad.

Otra importante conclusión fue la observación que el ejercicio físico reducía los límites de tolerancia así como el hecho de estar sumergidos en agua que también reducía la tolerancia a la toxicidad por oxígeno. Donald propuso una presión parcial máxima de 1.8 bar de oxígeno para el buceo.

Se presentan dos tipos de toxicidad por oxígeno diferentes con síntomas diferentes.

Toxicidad por Oxígeno del Sistema Nervioso Central.

También llamado efecto Paul Bert ya que fue descrito por primera vez por él en 1878. Se presenta cuando se respira una mezcla con una presión parcial alta de oxígeno. Esta presión parcial límite hoy en día se considera 1.6 bar para situaciones en reposo, o descompresión y 1.4 bar para buceo o actividad física normal. Se establecen unos límites de tiempo a cada presión parcial máximos que no se deben sobrepasar si no queremos incrementar el riesgo de sufrir los síntomas de toxicidad de SCN (sistema nervioso central).

Los síntomas característicos son: contracciones involuntarias de labios, náusea, vómitos, desorientación, pitido en los oídos (tinnitus), mareos, malestar indeterminado, parálisis facial, alteraciones visuales (luces brillantes, reducción del campo visual, dilatación de las pupilas), cambios en el comportamiento (irritabilidad, desinterés), alteraciones respiratorias (dificultad

para respirar o sensación de falta de aire, hipo, espasmos del diafragma), alucinaciones, vértigo, síncope, y convulsiones tipo epiléptico. Los síntomas presentan una gran variedad incluso con el mismo individuo y lo que es mas importante no presentan una secuencia predecible.

Esto es muy importante porque el primer síntoma puede ser directamente convulsiones con el elevado riesgo de ahogamiento si suceden en el agua. Esta es la razón que se recomienda encarecidamente mantenerse dentro de los límites establecidos como seguros.

Estos límites de tiempo y presión parcial de oxígeno se reflejan en la tabla de límites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) en Estados Unidos de America. Esta tabla es la base de buceo con Nitrox y buceo técnico y establece límites de tiempos máximos a cada presión parcial de oxígeno.

La forma practica de esta tabla es en la forma de reloj de SNC, es decir, se considera el tiempo máximo como una exposición al 100% del límite, si por ejemplo nos exponemos a esa presión parcial por la mitad del tiempo obtendremos un 50% de exposición.

La fórmula sería:

$$\% \text{ SNC} = \frac{\text{Tiempo de Inmersión}}{\text{Tiempo máximo a la Presión Parcial de O}_2 \text{ de la Inmersión}} \times 100$$

Este sistema permite realizar inmersiones sucesivas ya que el efecto del oxígeno es acumulativo. Si en el ejemplo anterior, deseamos hacer otro buceo tendremos que considerar que partimos de un 50%. Como pasa con el nitrógeno en los cálculos de descompresión. También se considera que durante el intervalo en superficie se reduce nuestra dosis de toxicidad de oxígeno o porcentaje de tiempo.

En general se considera que cada 90 minutos el porcentaje acumulado de la inmersión anterior se reduce a la mitad. En nuestro ejemplo anterior, después de una hora y media en superficie nuestro porcentaje acumulado sería un 25% por tanto si realizamos otro buceo solo podríamos disponer de un 75% del tiempo indicado en la tabla para la presión parcial de oxígeno planificada.

La tabla es la siguiente:

Tabla NOAA de límites de exposición al Oxígeno		
Presión Parcial de Oxígeno en bars	Un solo buceo en 24 horas	Buceos sucesivos en 24 horas
1.6	45	150
1.5	120	180
1.4	150	180
1.3	180	210
1.2	210	240
1.1	240	270
1.0	300	300
0.9	360	360
0.8	450	450
0.7	570	570
0.6	720	720

Ejemplo:

Realizamos una inmersión a 30 metros por 20 minutos con nitrox 34. Queremos saber cual es nuestro % de SNC consumido en esta inmersión

$$\% \text{ SNC} = \frac{\text{Tiempo de Inmersion}}{\text{Tiempo maximo a la Presion Parcial de } \text{O} \text{ de la Inmersion}} \times 100$$

A 30 metros la presión parcial de oxígeno será 4 veces la 0.34 que es la fracción de oxígeno en la mezcla, total 1.36 ata.

Si comprobamos en la tabla el tiempo máximo a 1.4 nos da 150 minutos. Por tanto aplicamos la formula y obtenemos:

$$\% \text{ SNC} = \frac{20}{150} \times 100 = 14\%$$

Para los cálculos a diferentes profundidades y diferentes mezclas es mas practico usar la misma tabla pero expresada en % de CNS por minuto a esa presión parcial o lo que es lo mismo a esa profundidad con esa mezcla. La tabla quedaria como sigue:

Presion Parcial de Oxígeno en bars	% SNC por minuto
1.6	2.22 %
1.5	0.84 %
1.4	0.67 %
1.3	0.56 %
1.2	0.48 %
1.1	0.42 %
1.0	0.34 %
0.9	0.28 %
0.8	0.23 %
0.7	0.18 %
0.6	0.14 %

Las causas o mecanismo de la toxicidad del SNC por oxígeno no se conoce exactamente ya que la elevada concentración de oxígeno produce efectos en muchos sitios diferentes del organismo.

Se conoce que muchas enzimas que tienen en su estructura puentes disulfuro SH- al estar en presencia de elevadas presiones parciales de oxígeno se oxidan provocando cambios en la estructura de la proteína desactivándola. Como sabemos los enzimas son proteínas responsables de hacer posibles las reacciones metabólicas. Si ciertos enzimas se desactivan se acumularan las sustancias que con su ayuda se debían convertir en otras siguiendo la cadena compleja del metabolismo. Esta acumulación puede tener efectos tóxicos.

Otro mecanismo es la producción de radicales libres. La presencia de altas concentraciones oxígeno o radiación provoca la aparición de una forma molecular muy reactiva que "ataca" otras estructuras como proteínas y lípidos del organismo. Estos radicales libres atacan muchas diferentes moléculas y por tanto no se puede aislar el mecanismo exacto de la toxicidad.

Se ha determinado también que la cantidad de GABA (ácido gamma amino butírico) que es un depresor de la transmisión nerviosa entre células nerviosas (neuronas) se ve afectada por altas concentraciones de oxígeno, y se ha observado una relación directa entre disminución de GABA y la aparición de convulsiones. Implicando que el mecanismo de al menos las convulsiones sería localizado en los canales de separación entre neuronas llamados sinapsis donde actúa el GABA.

Toxicidad Pulmonar por Oxígeno (Efecto Lorrain Smith)

Ya en 1899 el patólogo J. Lorrain Smith detecto neumonía en ratas expuestas a 0.73 ata de oxígeno durante 4 días.

En los humanos, los síntomas empiezan normalmente con una irritación de garganta suave, que se agrava con la inspiración y produce tos. La irritación se extiende y se hace más aguda aumentando la frecuencia de la tos. En casos extremos se produce una sensación de ardor en la garganta que se agrava con la inspiración y con tos incontrolable.

Puede producirse dolor en el pecho que se agrava con la inspiración junto con dificultad para respirar. Al reducir la presión parcial a la normal los síntomas desaparecen rápidamente en cuestión de horas normalmente y en una o dos semanas la exploración suele ser normal.

En general no es un problema en el buceo ya que para producir un problema las exposiciones son cortas y no llegan a días, pero en buceo técnico se pueden hacer buceos muy largos y en ocasiones durante muchos días si se hace un viaje de buceo técnico en pecios por ejemplo o una expedición donde el efecto acumulativo del oxígeno puede producir estos síntomas en algunos días.

Se considera que se pueden producir estos síntomas a partir de una presión parcial de oxígeno de 0.5 ata produciendo normalmente los síntomas mas leves y a partir de 0.8 ata pueden producirse los síntomas mas graves.

Aparte de los síntomas descritos se pueden observar cambios en las funciones básicas pulmonares. La capacidad vital se reduce significativamente limitando la capacidad de ventilación de los pulmones y lo más importante la capacidad de difusión de las membranas alveolares dificultando en cierta medida el intercambio de gases.

Esta es una de las razones de los "air breaks" o intercalado de aire o mezcla con bajo contenido en oxígeno para disminuir este efecto. Como resultado de las largas exposiciones a presiones parciales de oxígeno en cámaras hiperbáricas se ha estudiado la manera de reducir el efecto toxico del oxígeno. Se han estudiado diferentes sustancias que actúan como antioxidantes y que tienen cierto éxito sobre todo para disminuir la aparición de convulsiones.

Sin embargo dado que la toxicidad del oxígeno actúa en muchos lugares diferentes es muy difícil utilizar un fármaco que pueda contrarrestar los efectos en todos esos lugares.

El procedimiento con más éxito utilizado es alternar periodos de exposición a altas presiones parciales de oxígeno con periodos normóxicos o de presiones parciales de oxígeno iguales o similares a la atmosférica.

Hendrick estudió este efecto consiguiendo incrementar la tolerancia a la toxicidad por oxígeno entre un 50% y un 100%. Es decir si un individuo como media tardaba 100 minutos en notar síntomas, con las interrupciones normóxicas se conseguía alargarlo entre 150 y 200 minutos dependiendo de los diferentes individuos.

Hendrick utilizó unos intervalos de 20 minutos de exposición a altas presiones parciales de oxígeno y 5 minutos de descanso con niveles normales. Se han hecho varios experimentos cambiando proporciones y se ha determinado que el periodo de máxima exposición no debe sobrepasar los 60 minutos, y la proporción de tiempo de exposición y de descanso debe ser similar.

El tiempo de descanso no debe ser muy pequeño (uno o dos minutos) de forma que no permita al organismo una recuperación efectiva. En general en buceo consideramos un "air break" o interrupción de 5 minutos cada 25 minutos. Algunos buceadores técnicos prefieren hacer el descanso cada 15 minutos por al menos 3 o 4 minutos.

En teoría al reducir el tiempo de exposición a altas presiones parciales de oxígeno se reduce el efecto negativo en los tejidos pulmonares y afectaría menos al intercambio de gases necesario para una descompresión efectiva. El argumento parece lógico pero no hay evidencia científica de que sea mejor, pero tampoco hay argumentos en contra. Utilizando estas técnicas de "air breaks" se hacen buceos técnicos donde se sobrepasa el 100% del reloj de SNC en valores tan asombrosos como un 23000%.

Ya veremos en el capítulo de planificación como se aplican estos "air breaks" en la práctica.

Asociado por muchos a la toxicidad pulmonar se estableció otra forma de medida de la toxicidad del oxígeno que se expresa como UTPD (Dr Lambersten) o más comúnmente OTU (Oxygen Toxicity Unit)(Dr Bill Hamilton). Una unidad OTU es equivalente a respirar oxígeno a una presión parcial de 1 ata por un minuto. Por medio de una fórmula matemática se puede calcular el número de OTUs de una exposición y comparar con una tabla de límites máximos.

La fórmula es:

$$OTU = \left(\frac{0.5}{PpO_2 - 0.5} \right)^{-0.83} \times \text{Tiempo de Exposición}$$

Si hacemos los cálculos a cada presión parcial de oxígeno por un minuto obtendremos una tabla de las OTU por minuto a cada presión parcial. Con esta tabla podremos calcular fácilmente los OTUs de nuestra inmersión.

Tabla Calculo OTUs	
Presion Parcial de Oxigeno	OTU por minuto
0.5	0
0.6	0.26
0.7	0.47
0.8	0.65
0.9	0.83
1.0	1.0
1.1	1.16
1.2	1.32
1.3	1.48
1.4	1.63
1.5	1.78
1.6	1.93
1.7	2.07
1.8	2.22

Ejemplo: Hacemos una inmersión a 30 metros por 23 minutos con nitrox 32 ¿cuántos OTU habremos acumulado?

A 30 metros tenemos 4 ata que multiplicado por 0.32 (fracción de oxígeno de la mezcla) nos da 1.28 ata de presión parcial de oxígeno. Mirando en la tabla a 1.3 vemos que acumulamos 1.48 OTU por minuto. Multiplicamos esta cifra por 23 minutos y obtenemos un total de 29.44 OTUs

Esta cifra en sí no tiene mucho sentido si no la comparamos con un máximo permitido. El Dr Hamilton elaboró un método conocido como REPEX para calcular los límites de exposición basados en OTUs o toxicidad de todo el cuerpo incluyendo la pulmonar.

Si calculamos el máximo de unidades que podemos acumular en un día respirando oxígeno puro a presión atmosférica sería 1440 OTUs.

24 horas x 60 minutos x 1 OTU (a presión atmosférica) = 1440 OTUs

Si consideramos que necesitamos alrededor de 600 OTUs para un tratamiento hiperbárico en caso de accidente nuestro máximo en un primer día se reduce a unos 850 OTU.

El doctor Hamilton elaboró una tabla de tolerancias que disminuye progresivamente conforme aumentan los días consecutivos de exposición.

La tabla es:

Tabla de Exposición Máxima de OTUs (según método REPEX del Dr Hamilton)		
Días de Exposición	Dosis media diaria	Dosis total acumulada
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
8	350	2800
9	330	2970
10	310	3100
11	300	3300
12	300	3600
13	300	3900
14	300	4200
15 a 30	300	

Podemos observar que al final la dosis máxima diaria es de 300 OTUs, esta es una cifra fácil y conveniente de memorizar y tratar de estar por debajo de esta cifra cuando hagamos varios días de buceo técnico seguidos.

En el curso de buceador Nitrox ya se estudian los límites de exposición y cómo calcularlos, sin embargo son buceos sin descompresión, en el capítulo dedicado a la planificación veremos cómo planificar nuestros límites de toxicidad de oxígeno en inmersiones con descompresión y con diferentes mezclas.

Hipercapnia (Acumulación o Exceso de CO₂)

Hipercapnia se define como exceso o acumulación de CO₂ en el organismo. La ventilación o la frecuencia de respiración en el organismo esta regulada principalmente por los receptores carótidos que son mucho más sensibles al aumento de nivel del CO₂ que a la disminución de O₂. Por tanto cuando se produce un aumento de CO₂ el organismo reacciona incrementando la ventilación o frecuencia respiratoria para asegurar más oxigenación en los tejidos y la eliminación del exceso de CO₂. El CO₂ es 20 veces más soluble que el O₂ y se transporta en la sangre de tres formas.

- Disuelto en el plasma.
- Asociado a la hemoglobina u otras proteínas de la sangre
- En forma de bicarbonato

Esta solubilidad y reactividad provoca un descenso del pH o acidificación de la sangre. Esta acidificación es la que produce la mayoría de síntomas en caso de exceso o retención de CO₂. Los síntomas mas característicos son un aumento de la frecuencia y volumen respiratorio, sensación de necesidad de respirar o falta de aire, aumento de presión sanguínea y pulso, confusión mental, falta de coordinación, inconsciencia y muerte, obviamente en casos muy graves.

Para nosotros como buceadores es muy importante reconocer los síntomas de exceso de CO₂ que durante buceo con circuito abierto se pueden producir por un aumento de densidad del gas respirado incrementando el esfuerzo respiratorio, aumento del ejercicio físico a profundidad y un regulador que no esta en perfectas condiciones y por tanto incrementa el esfuerzo respiratorio a profundidad.

El aumento de la densidad del gas lo vamos a corregir usando Helio que al ser mucho menos denso que el nitrógeno disminuirá la densidad del gas respirado.

El ejercicio físico a profundidad lo limitaremos al máximo para evitar la acumulación de CO₂. Si detectamos que nuestra respiración se acelera deberemos parar todo ejercicio físico y concentrarnos en nuestra respiración con inhalaciones y exhalaciones profundas y lentas sobre todo la exhalación con el objeto de ventilar mejor nuestros pulmones.

El esfuerzo respiratorio debido a un regulador con mantenimiento inadecuado, lo deberemos de evitar antes de bucear. EL regulador de buceo profundo tiene que ser un regulador de alta gama que proporcione un esfuerzo respiratorio muy bajo a profundidad, pero el mejor regulador del mundo si no se le hace un mantenimiento regular y adecuado deja de proporcionar los valores de fabrica y puede provocar un problema a profundidad. Si detectamos el problema una vez a profundidad debemos concentrarnos en una respiración lenta.

Aumentar la velocidad del gas pasando por el regulador aumenta la resistencia respiratoria, por tanto cuanto mas rápido respiremos más problema potencial. También dejaremos de movernos para reducir la producción de CO₂ que incrementara involuntariamente nuestra frecuencia respiratoria aumentando la resistencia respiratoria del regulador.

La pregunta es porque debemos tener tanto cuidado con el CO₂.

El aumento de CO₂ provoca tres efectos negativos que a profundidades recreativas no suelen ser un gran problema pero a profundidades de trimix si.

- Aumenta los efectos de la narcosis por Nitrógeno
- Aumenta significativamente el riesgo de Toxicidad por Oxígeno y
- Aumenta el riesgo de Enfermedad Descompresiva.

En buceos profundos a partir de 70 u 80 metros donde nuestro perfil nos pone al límite de niveles de toxicidad de nitrógeno, oxígeno y con descompresiones muy largas y poco validadas deberemos ser cuidadosos con todos los factores que puedan aumentar sus efectos.

Enfermedad Descompresiva

La enfermedad descompresiva ya se conoce incluso antes del buceo en trabajadores en cimientos de puentes o minas donde para evitar la filtración de agua dentro de la zona de trabajo se comprimía a diferentes presiones al salir de su turno a presión ambiente normal mucho trabajadores presentaban síntomas de lo que hoy conocemos como enfermedad descompresiva.

La enfermedad descompresiva se produce por la formación de burbujas durante el ascenso de un buceo. Al disminuir la presión ambiente se forman y se agrandan burbujas de gas inerte disuelto previamente en los tejidos debido a la presión durante el buceo.

Para controlar este problema a principios de siglo John Scott Haldane estableció los principios de la descompresión en etapas, es decir hacer paradas a diferentes profundidades por tiempos determinados para permitir que el exceso de gas inerte se elimine o al menos dejando la burbujas en un tamaño que no produzca efectos negativos en el organismo.

Esta técnica con algunas variaciones se sigue practicando hoy en día, aunque en los últimos años se esta imponiendo el uso de programas o algoritmos de cálculo de descompresión basado en diferentes premisas teóricas de las de Haldane, específicamente basados en factores que facilitan o dificultan la formación de burbujas en lugar de la simple concentración de gas inerte estimada en los tejidos.

Sea cual sea el programa de descompresión o tablas utilizadas todos estamos expuestos a la enfermedad descompresiva al finalizar un buceo, y mucho más aquellos que hacemos buceos técnicos mas profundos con Helio al someter a nuestro cuerpo a un mayor estrés fisiológico que en inmersiones llamadas recreativas sin necesidad de realizar paradas de descompresión obligatorias.

Como buceadores trimix deberemos estar más pendientes de posibles síntomas después de cada buceo. Los síntomas característicos son:

Cutaneos

Prurito. Mas típico de Cámaras de Recompresión que inmersiones en agua. Más probable con temperaturas altas. No suele ser un síntoma concluyente de enfermedad descompresiva

Erupciones cutáneas. Normalmente en el pecho, hombros, parte superior del abdomen y muslos.

Músculares y Oséos

Equipo

El equipo que necesitamos para realizar inmersiones profundas debe reunir una serie de características generales que son independientes de preferencias personales. Estas características son

Concepto de Redundancia / Concepto de Autosuficiencia

En una inmersión profunda deberemos adoptar una configuración de equipo que tenga la redundancia suficiente para poder ser autosuficientes y ser capaces de salir por nosotros mismos de cualquier situación, esto no implica que rechazemos la ayuda del compañero. Deberemos ser capaces de solucionarlo por nosotros mismos pero si la ayuda del compañero es posible y soluciona el problema mas rápidamente y eficazmente la aceptaremos e incluso la pediremos.

Concepto de Simplicidad

El concepto de redundancia se contrapone al de simplicidad deberemos adoptar una configuración lo mas simple posible con los menos puntos de fallo posible. Es decir redundancia suficiente para poder salir de cualquier emergencia pero no demasiada que provoque un exceso de equipo que limite la capacidad de acción del buceador. No hay que llevar nada que no se vaya a necesitar. Una configuración simple que proporcione soluciones para todos los problemas potenciales y que implique pocas opciones. Cuantas mas opciones tenemos ante una situación de emergencia mas lenta es nuestra reacción. Esto es la ley de Hicks. Por tanto cuanto mas simple sea la solución y menos opciones tengamos mejor configuración será.

Concepto de Estandarización

En los últimos años han surgido algunas agencias de certificación que promueven un alto grado de estandarización en el equipo y configuración de los buceadores técnicos. Este concepto es interesante y muy válido sobre todo para los miembros de un mismo equipo de buceo. Sin embargo como todas las cosas llevadas a extremos dogmáticos pueden provocar efectos contrarios a los pretendidos. En general hay que ser crítico con nosotros mismos y analizar nuestra configuración y probarla incluyendo simulaciones de situaciones de emergencia en ambientes controlados, esto se hace durante el curso pero también siempre que decidimos cambiar una configuración determinada. Por tanto la mejor configuración es aquella que funciona y cumple los conceptos mencionados.

Configuración Hogarthian

William Hogarth Main es un buceador e instructor de cuevas y técnico en Florida. Durante los años 80 se produjo una discusión muy intensa entre los diferentes grupos de buceo en cueva del norte de Florida acerca de la mejor configuración de equipo. Ante esto Will que es ingeniero de profesión decidió aplicar un enfoque científico al problema. Sistemáticamente realiza series de inmersiones con las distintas configuraciones propuestas en la época controlando parámetros como consumo, velocidad, penetración, tiempo de reacción a situaciones de emergencia y al final llego a la conclusión que la configuración mas eficaz era la

que hoy en día conocemos como Hogarthian (su segundo nombre) y que se está extendiendo en todo el mundo.

No confundir esta configuración con la configuración DIR (Do it Right, hazlo correcto). DIR es un movimiento que surgió en las exploraciones de cuevas de Florida que tomó la configuración Hogarthian como base y le aplicó unas reglas con objeto de estandarizar la configuración y optimizarla.

La configuración Hogarthian consta de

Un doble tanque de acero o aluminio con montaje dorsal (en la espalda) con una grifería que une las dos botellas (manifold) que tiene una válvula aislante en el medio. ¿Por qué es necesaria la válvula en el medio? Esta configuración nació en la cueva y el objeto es que si en una circunstancia tenemos una pérdida de aire en uno de los dos tanques que no sea la junta tórica del regulador, por ejemplo en el disco de sobreexpansión o en cualquiera de las juntas tóricas del puente que une las dos botellas, podemos cerrar la válvula y aislar un tanque, lo cual nos permitirá salir de la situación si hemos planificado el gas correctamente. Si no disponemos de esta válvula no habrá forma de detener la fuga y perderemos todo el gas de las dos botellas. En Europa se ha utilizado tradicionalmente un sistema de montaje en la espalda pero sin puente o conexión entre las botellas, de esta forma se tienen dos fuentes de gas independientes y se evitan juntas tóricas. En mi experiencia la configuración Hogarthian es más flexible y más extendida en todo el mundo lo que nos permite bucear en cualquier sitio del mundo con otros buceadores técnicos con similar configuración y similares procedimientos de emergencia.

En la grifería derecha se conecta un regulador preferiblemente DIN con un latiguillo de 2 metros aproximadamente y un inflador de baja presión del chaleco tipo ala. La razón del latiguillo de 2 metros viene también de la cueva. En caso de necesidad de compartir aire con un compañero a través de una restricción con latiguillos de longitud habitual no sería posible al no poder pasar los dos uno al lado del otro. En mar abierto no tiene tanta necesidad pero la realidad es un sistema muy cómodo para compartir aire y tiene otras ventajas como cualidades anti congelamiento en aguas frías de la segunda etapa, por ejemplo.

La razón de ponerlo en la derecha viene del buceo en cuevas. La válvula derecha si roza contra el techo de la cueva en sitios estrechos nunca se cerrará y al pasar por un sitio estrecho nunca nos quedaremos sin aire. La válvula izquierda, en cambio, si se cerrará y podríamos quedarnos sin aire al pasar por un sitio estrecho si conectáramos nuestro regulador principal ahí. Esta misma razón es válida para la penetración en barcos hundidos. Si no pensamos realizar ninguna penetración aún así es válida como estandarización. Si sabemos que siempre el regulador largo está en la derecha en nuestro equipo, el de nuestros compañeros y otros buceadores que nos podamos encontrar, nuestro tiempo de reacción para cerrar la válvula adecuada en nuestro equipo o el del compañero será mucho menor.

En la grifería izquierda se conecta un regulador preferiblemente DIN con un latiguillo normal y un manómetro. El latiguillo del manómetro debe ser de 58 a 60 cm de longitud frente a los 80 cm de los manómetros habituales. La razón es que los habituales crean un arco que interfiere con las botellas de etapa o "stage" y crea resistencia en el agua.

Un arnés de nylon pasado por una placa de aluminio, acero o plástico. Hay diferentes tipos de arneses, el más sencillo es una única cinta pasada por la placa y con anillos en forma de D en hombros y caderas. Otros tienen hebillas de zafado rápido en los laterales y cintas de pecho, por ejemplo. En general cualquiera es bueno, deberemos elegir una placa de acero si vamos a bucear en agua de mar para evitar usar plomos convencionales.

Lo más importante es el ajuste personal del arnés que nos va a dar el confort que necesitamos para este tipo de buceo. En esto será de mucha ayuda tu instructor.

Un compensador de flotabilidad tipo ala de capacidad adecuada para el buceo que vamos a realizar, normalmente van desde 30 libras 12 o 13 litros para una sola botella hasta 60 o 65 libras, 24 a 26 litros para técnico profundo donde tendrá que sostener al buceador en superficie con dobles y 3 o 4 botellas de etapa. Deberá tener dos infladores con dos vejigas internas independientes que nos aseguren una adecuada flotabilidad aún en caso de rotura de una de ellas. Algunas agencias de certificación promueven el uso de compensador simple con un traje seco, y el aire que se puede introducir en el traje seco se considera suficiente para ascender en caso de pérdida de flotabilidad del ala convencional. Personalmente prefiero el ala doble. En caso que se quiera utilizar el traje seco se deberá comprobar su capacidad para seguir una descompresión larga en una inmersión sin descompresión a poca profundidad simulando un fallo del compensador de flotabilidad antes de probarlo en una inmersión profunda.

Botellas de etapa o descompresión con regulador adecuado al contenido de oxígeno previsto con un manómetro con un latiguillo corto de unos 20 cm

Instrumentos de control. Serán necesarios dos instrumentos de control que indiquen profundidad y tiempo. Pueden ser ordenadores de buceo multigas que pueden llevar el control de la inmersión incluyendo los cambios de gases para la descompresión, profundímetros digitales que solo indican profundidad y tiempo pero no indican información de descompresión, o un simple profundímetro y un reloj cronometro que junto con una tablas de descompresión nos permitirá seguir la descompresión. Es importante que los instrumentos sean adecuados para la profundidad a la que se planea descender.

Una boya de descompresión, hay varios tipos de boya de descompresión, tipo globo, y tipo tubo.. Las de tipo globo crean mejor sustentación pero las de tubo sobresalen más en malas condiciones de mar, y son más detectables por el barco. Últimamente se tiende a usar dos boyas de colores diferentes, una naranja y otra amarilla. La tendencia actual es usar el naranja en situaciones normales y el amarillo en situaciones de emergencia. De esta manera el color dará información al equipo de superficie que espera y podrá organizar los buceadores de apoyo en caso necesario sin que los buceadores tengan que subir a la superficie. Ambas deberán ser de tamaño suficiente para sostener al buceador con todo su equipo durante la descompresión se considera un mínimo de 20 litros de flotabilidad.

Un carrete con hilo de nylon. Hay diversos tipos de carrete, pero lo importante es que usemos uno que tenga al menos 60 metros para poder enviar la boya de descompresión a la superficie desde bastante profundidad. Esto es primordial para nuestra seguridad si hacemos una descompresión con corriente a la deriva o por efecto de una corriente muy fuerte o un error perdemos el contacto con el cabo del ancla y no podemos volver a él, cuanto antes mandemos la boya es decir cuanto más profundo más posibilidades tendremos que el barco nos pueda localizar y seguir durante nuestra descompresión.

Al menos dos instrumentos de corte, que pueden ser cortalíneas, cuchillos, tijeras, o tijeras tipo podadora. Todos ellos deberán estar situados en el cuerpo en lugares poco predispuestos a engancharse ni interferir con otros elementos del equipo. Deberá ser posible alcanzar ambos con cualquier mano y deberán estar bien afilados.

Planificación

La principal diferencia entre buceo recreativo y buceo técnico probablemente sea la planificación de la inmersión. Todo buceo técnico debe planificarse y debe seguirse la planificación hasta el mínimo detalle, incluyendo planes de contingencia en caso que surja algún problema. Realizar un buceo profundo con una sola botella a 70 metros en un viaje al Mar Rojo por unos minutos y salir haciendo la descompresión que marca el ordenador....y salir indemne....eso no es buceo técnico. El buceo técnico implica equipo, técnicas y procedimientos que permitan hacer estos buceos con riesgos similares a los de un buceador recreativo a 30 metros. Es decir, que el buceo sea repetible y seguro, no una aventura temeraria.

Yo lo comparo con conducir un coche a más de 200 km en una autopista. No siempre que lo haces tienes un accidente....pero si tienes un accidente suele ser muy grave. Hoy en día conducir a gran velocidad se considera temerario y estúpido, no solo por el riesgo que asume el conductor sino por el riesgo que supone para los demás conductores y usuarios de la carretera. Asimilándolo al buceo, no es mejor buceador el que hace una estupidez y vive para contarla....sino el que tiene la disciplina para planificar la mejor inmersión y seguir esa planificación.

Una planificación adecuada debe incluir los siguientes conceptos:

- Planificación de la Descompresión, tiempo de fondo, profundidad máxima y paradas de descompresión
- Planificación de la Narcosis
- Planificación de Gases, mezclas y consumos
- Planificación de la Toxicidad por Oxígeno
- Planificación Logística, Protección termal necesaria, equipo especializado, buceadores de apoyo si son necesarios, asignación de tareas a los diferentes miembros del equipo, etc...
- Planificación de contingencia, posibles escenarios donde algo falla

Planificación de la Descompresión

El primer paso en una inmersión técnica es decidir la profundidad máxima, el tiempo de fondo y que descompresión habrá que hacer.

Para ello usamos programas de ordenador que nos calculan la descompresión usando diferentes algoritmos. Un algoritmo es un conjunto de operaciones y procedimientos en una secuencia definida que sirven para resolver un problema. En nuestro caso nos da una descompresión determinada, según los datos de profundidad, tiempo de fondo, y mezclas de gases que introduzcamos como datos. Los procesos de cálculo pueden ser diferentes según los valores asignados por el creador del modelo de descompresión. Los algoritmos más utilizados en buceo técnico son:

Algoritmo Bühlmann con Factores de Gradiente

El algoritmo más habitual es el basado en los parámetros de descompresión de Bühlmann aunque para buceo profundo con mezclas de gases se corrige con los llamados Factores de Gradiente.

Estos factores son dos, superior (high) e inferior (low) estos factores modifican la descompresión haciéndola mas conservadora. Se expresan como porcentaje y van del 0 al 100%. Valores de 100% en ambos factores equivale a dejar el modelo descompresivo original sin ninguna corrección, y por tanto sin añadir ningún factor conservador al modelo.

El factor superior se refiere al valor de sobresaturación máximo permitido en cada compartimento. El modelo de descompresión admite un valor de sobresaturación máximo para cada compartimento conocido como valor M, el factor superior limita estos valores a un porcentaje del máximo.

Por ejemplo con un valor 85% implica que se permitirá el ascenso siempre que el valor no exceda el 85% del valor máximo del modelo original. Cuanto mas bajo sea el porcentaje mas profundas serán las paradas de descompresión, al permitir menos sobresaturación.

El valor inferior se refiere al valor máximo de sobresaturación en la última parada para poder ascender a superficie. Con un valor del 100% la ultima parada de descompresión será la mas corta permitida por el modelo original. Al reducir el porcentaje, se aumenta el tiempo de la última parada de descompresión.

Estas correcciones no tienen sentido en buceo recreativo porque los modelos originales sin correcciones están muy validados estadísticamente, sin embargo en buceo técnico profundo no hay suficiente validación estadística y se sabe en la practica que los modelos originales no son suficientemente conservadores, basados en pruebas y método de ensayo-error la comunidad de buceadores técnicos ha adoptado unos valores de corrección que parecen funcionar lo suficientemente bien.

Ejemplos de estos valores pueden ser los siguientes expresados como superior/inferior (high/low):

Inmersión de 0 a 40 metros con aire 90/95

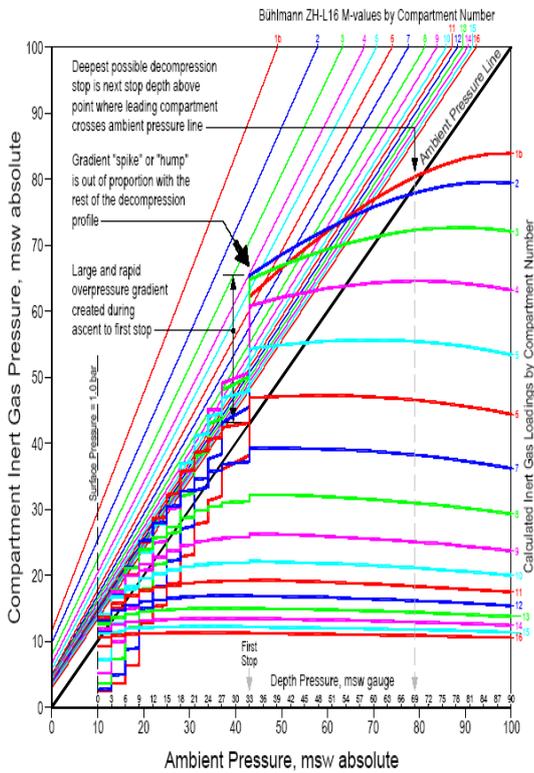
Inmersión de 40 a 85 metros con trimix y tiempo de fondo máximo de 20 minutos 50/90

Inmersión de 40 a 85 metros con trimix y tiempo de fondo máximo de 60 minutos 15/85

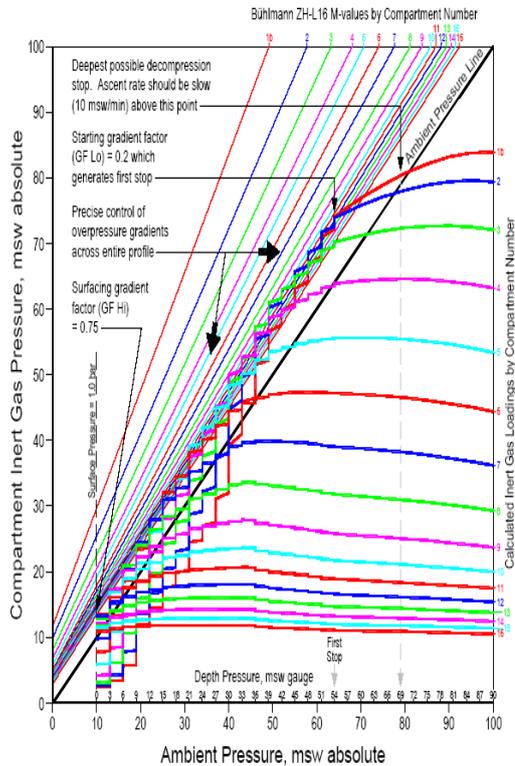
Inmersión de 85 a 100 metros con trimix y tiempo de fondo máximo de 20 minutos 30/85

Inmersión de 85 a 100 metros con trimix y tiempo de fondo máximo de 45 minutos 5/85

Pressure Graph: Complete Decompression Profile Using Conventional Calculation Method



Pressure Graph: Complete Decompression Profile Using Gradient Factors To Control Entire Profile



Aquí vemos dos gráficos usados por Eric Baker en uno de sus artículos para comparar el uso de factores de gradiente. Podemos ver en el grafico de la izquierda las líneas de colores representan la saturación de cada compartimento los mas arriba son los mas rápidos y los mas bajos los lentos. Al ascender, nos movemos hacia la izquierda en la grafica, la cantidad de nitrógeno disminuye, líneas de colores escalonadas. La línea negra en diagonal representa el punto en el que la presión ambiente iguala a la presión parcial en el compartimento.

Si miramos la línea roja superior en la derecha (marcada como compartimento 1b) vemos que conforme ascendemos (vamos hacia la izquierda) la línea desciende hacia la izquierda implicando que elimina nitrógeno de ese compartimento.

Una vez la línea roja sobrepasa la línea diagonal negra indica que este compartimento esta sobresaturado con respecto a la presión ambiente, lo cual es normal en todos los ascensos. Esa sobresaturación no puede exceder un determinado valor que puede provocar enfermedad descompresiva. Este valor esta representado por las líneas rectas inclinadas.

En el caso del compartimento 1b será la línea roja más a la izquierda también marcada como 1b y del mismo color. En ningún momento la línea representando la presión parcial actual del compartimento puede sobrepasar esta línea. Las demás líneas corresponden al mismo color de los otros compartimentos.

En este caso vemos una sobresaturación indicada por la distancia entre las líneas y la base diagonal negra. Si lo comparamos con el grafico de la derecha vemos que al no permitir más de un 75% de ese máximo las paradas de descompresión comienzan antes y la sobresaturación global (área por encima de la línea diagonal de sobresaturación) es mucho menor.

Lógicamente una sobresaturación menor implica menos riesgo de formación de burbujas, pero alarga la descompresión. De hecho sería posible realizar una descompresión sin sobresaturación y por tanto con riesgo mínimo de formación de burbuja debido al efecto de la ventana de oxígeno pero la descompresión sería interminable.

Algoritmos llamados de Burbujas

Strauss y Yount en la universidad de Hawai, tomando el concepto de formación de burbujas iniciado por Le Messurier, comenzaron a trabajar en un concepto de descompresión totalmente diferente al de de disolución de Haldane llamado VPM (Varying Permeability Model) Modelos de Permeabilidad Variable, este modelo se concentraba mas en la formación de burbujas y condiciones que favorecen su aparición mas que en la cantidad de nitrógeno disuelto del modelo Haldane tradicional. Con experimentos realizados en gelatina comprimida y descomprimida en cámara hiperbárica elaboró un modelo de cálculo de descompresión que hoy en día tiene muchos adeptos. Ordenadores de buceo y tablas de algunas agencias de certificación se basan en estos modelos. Muchos buceadores técnicos utilizan estos modelos. Ejemplos puede ser el V-Planner de Ross Hemingway y Eric Baker

Una variación o extensión de este modelo es el RGBM (Reduced Gradient Bubble Model) Model de Burbujas de Gradiente Reducido del Dr Bruce Wienke, básicamente es el mismo concepto del Dr Yount, pero al tener protegidos los derechos de copyright no es posible comparar las diferencias. Muchos expertos opinan que no hay grandes diferencias. Este modelo esta implementado en muchos ordenadores de buceo y en las tablas utilizadas por alguna agencia de certificación.

Estos algoritmos en general producen perfiles de descompresión que comienzan las paradas mucho mas profundas que las habituales de modelos clásicos como el Bulmann, y suelen dar menos tiempo en las paradas poco profundas de la descompresión.

En general se considera que los modelos clásicos proporcionan una descompresión poco adecuada para el buceo técnico o al menos obsoleto y aunque se han utilizado por muchos años para estas o similares descompresiones en buceo profesional y militar la calidad de la descompresión producida por los nuevos modelos o los clásicos corregidos con Factores de Gradiente es mejor. Aunque todavía no hay conclusiones científicas al no haber una validación estadística tan completa como con los modelos clásicos, la realidad es que el buceo técnico se esta extendiendo mucho y la mayoría utilizamos estos programas.

Paradas Profundas

Otro concepto que modifica el uso tradicional de las tablas y algoritmos de descompresión que se viene aplicando en buceo técnico y por extensión al buceo recreativo es la incorporación de paradas profundas en los perfiles de descompresión.

Estas paradas profundas ya fueron observadas por Hills y Le Messurier en 1965 en los pescadores de perlas de la isla de Okinawa. Estos buceadores realizaban un promedio de dos inmersiones por día de una hora de duración a 90 metros de profundidad y realizaban una descompresión que ellos mismos habían determinado por experiencia y ensayo-error. Estos procedimientos de descompresión incluían paradas mas profundas que las habituales en las tablas de la época y una descompresión total menor también. Sin embargo, el comportamiento satisfactorio de las tablas del modelo de Haldane prevaleció dejando esta información como algo anecdótico por mucho tiempo.

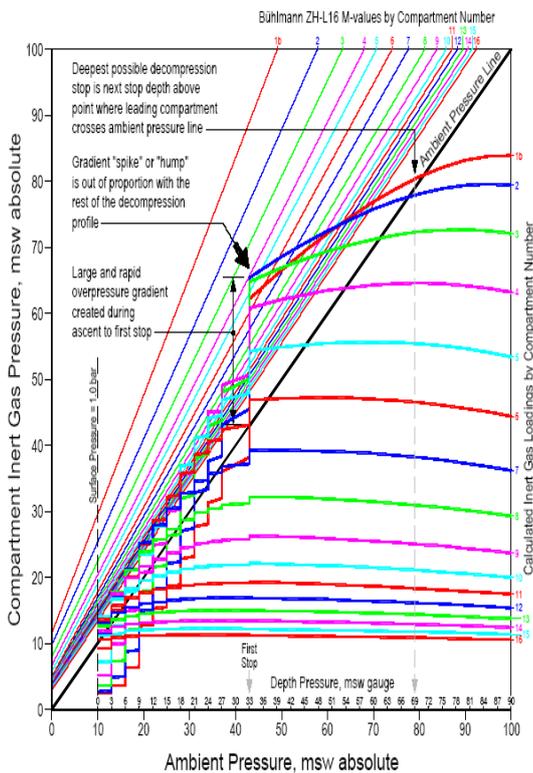
En los últimos años el ictiólogo Richard Pyle recupero el concepto con ciertas variaciones y por razones diferentes. El es un recolector de peces a gran profundidad alrededor de los 100 metros de profundidad, y documentaba muy precisamente todas sus inmersiones. Al cabo de un tiempo se dio cuenta que algunas veces salía de la inmersión menos cansado que en otras ocasiones y lo considero un síntoma de la calidad de la descompresión, al revisar sus notas observó que se sentía mucho mejor en las inmersiones que debía hacer una o varias paradas profundas en el ascenso por un par de minutos cada vez para extraer el aire de la vejiga natatoria de los peces capturados y evitar que sufrieran deformaciones por sobrepresión al llegar a superficie.

Comenzó a aplicar estas paradas sistemáticamente utilizando un método sencillo. Realizar una parada a la mitad de la profundidad entre el fondo y la primera parada de descompresión.

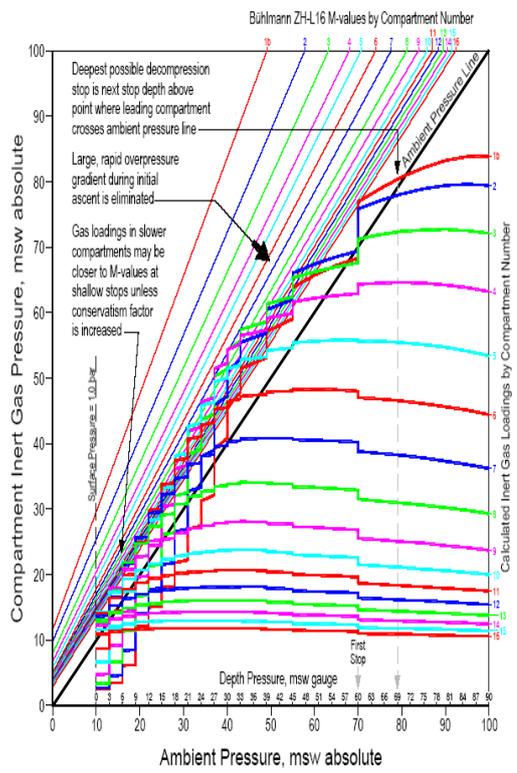
Este método fue comprobado por un estudio DAN que refleja que la cantidad de burbujas acumuladas después de una inmersión es mucho menor si se realizan este tipo de paradas.

Algunos expertos consideran que las paradas profundas en buceos muy profundos están bien pero que con este método se realizan a demasiada profundidad. Pero en general es un procedimiento universalmente aceptado en la comunidad de buceadores técnicos. Si utilizamos los gráficos comparativos de Baker, podemos ver que la sobresaturación es menor que usando el perfil de descompresión tradicional.

Pressure Graph: Complete Decompression Profile Using Conventional Calculation Method



Pressure Graph: Complete Decompression Profile Using Richard Pyle's Method For Deep Stops



Selección Porcentaje de He en la mezcla (profundidad de narcosis equivalente)

Al mismo tiempo que decidimos que sistema utilizaremos para controlar nuestro perfil de descompresión tenemos que decidir con que gases haremos la inmersión. La primera decisión es la Narcosis Equivalente que queremos tener. Para ello calcularemos con la fórmula (método ya mencionado en este manual) o las tablas una mezcla a la profundidad máxima que nos produzca una narcosis equivalente a máximo 40 metros y mejor menos de 30 metros.

En nuestro ejemplo de buceo a 81 metros por 20 minutos si aplicamos la tabla vemos que necesitaremos un 57 % de helio para tener una narcosis equivalente a 30 metros con aire.

Selección Porcentaje de Oxígeno en la Mezcla

Ya sabemos cuanto helio debemos tener en nuestra mezcla, ahora deberemos calcular cuanto oxígeno deberemos tener. Para ello calculamos que porcentaje de oxígeno nos dará un máximo de presión parcial de oxígeno en el fondo (81 metros) de 1.4 bars.

$$\begin{aligned} \text{Presión Parcial máxima de Oxígeno} &= \text{Presión Total (profundidad)} \times \frac{\% \text{ de oxígeno}}{100} \\ 1.4 \text{ bar} &= 9.1 \text{ bar} \times \frac{?? \% \text{ de oxígeno}}{100} \end{aligned}$$

Despejando la incógnita

$$\% \text{ de Oxígeno} = \frac{1.4 \text{ bar} \times 100}{9.1 \text{ bar}} = 15 \% \text{ de Oxígeno}$$

Por tanto nuestra mezcla ideal deberá ser 15/57. Por otro lado deberemos elegir también los gases que utilizaremos en nuestra descompresión. Con los actuales programas de descompresión para PC podemos hacer cualquier combinación posible y nos dará una descompresión. Sin embargo no debemos olvidar que el programa de ordenador es solo una herramienta, muy útil si se sabe utilizar pero incluso peligrosa si se utiliza mal. Por tanto deberemos aplicar unos principios básicos a la hora de determinar que gases y que perfil de descompresión es mejor.

Como normal general se considera que al comparar varios perfiles aquel que de una descompresión mas corta será mejor perfil. La razón es que será el que más oxígeno y menos gas inerte aplique en las diferentes paradas y eso es siempre una mejor descompresión.

Procuraremos que la presión parcial de oxígeno esté siempre que sea posible por encima de 1.0 bar y máximo 1.6 bar. En buceos profundos no siempre es factible. Nos obligaría a llevar muchos gases de descompresión diferentes y por tanto muy poco practico. Por tanto podemos bajar a 0.8 bar pero en las menos paradas posibles.

Logística. Tendremos en cuenta el aspecto práctico de gas necesario. A veces la planificación nos obliga a llevar una botella de descompresión de 12 litros por solo unos litros de gas necesarios, mientras que reduciendo uno o dos minutos el tiempo de fondo o modificando

ligeramente las mezclas podemos hacer una descompresión similar pero solo con una botella de 7 litros de ese gas.

Planificación de Volumen de Gases y Reserva

Obviamente si planificamos una inmersión perfecta pero no tenemos o no podemos llevar suficiente gas para realizarla no servirá de gran cosa la planificación. Por tanto deberemos planificar el volumen de todos los gases que vamos a necesitar y sus reservas para imprevistos.

Para ello el primer paso será determinar nuestra Tasa de Consumo en Superficie (TCS)
Es posible que hayamos calculado nuestro consumo en otras ocasiones con equipo de buceo recreativo, este valor no será aplicable porque vamos a bucear con más botellas, y un equipo más voluminoso que crea una mayor resistencia y requiere mas uso de gas tan solo para llenar el compensador de flotabilidad. Por tanto durante este curso y con todo el equipo que se llevara durante una inmersión de trimix, se hará el cálculo. Un buen método es descender a una profundidad fija, alrededor de 10 metros esta bien, pero puedes ser cualquier otra si la mantenemos fija, y vamos a apuntar la presión de nuestro manómetro.

Nadaremos por al menos 5 minutos a esa profundidad a una velocidad razonable y volveremos a anotar la presión del manómetro. Es importante que al realizar este ejercicio respiremos de una de las botellas de descompresión ya que al ser mas pequeñas habrá un cambio mayor de presión y será mas exacto el calculo que si lo hacemos con una doble botella donde a 10 metros por 5 minutos apenas descenderá la aguja.

Con esos datos podremos calcular nuestro consumo en superficie de la siguiente manera.
Si por ejemplo, comenzamos a respirar de una botella de 7 litros que marca 180 bar y al cabo de 5 minutos tenemos 160 bar a 10 metros de profundidad, calcularemos nuestra TCS utilizando la fórmula del consumo.

$$\text{Consumo Total} = \text{Presión Total (profundidad)} \times \text{Tasa de Consumo en Superficie} \times \text{Tiempo}$$

En este caso nuestro consumo total en litros de gas será la diferencia de presiones en el manómetro multiplicada por el volumen de la botella.

$$180 \text{ bar} - 160 \text{ bar} = 20 \text{ bar} \times 7 \text{ litros} = 140 \text{ litros de gas}$$

A Presión total o absoluta será la que tendremos a la profundidad fija que hemos nadado.
En este caso 10 metros por tanto será 2 bar.

Despejando en la formula el TCS y sustituyendo los valores obtendremos nuestro consumo en superficie con equipo técnico que utilizaremos para planificar nuestra inmersión técnica

$$\text{Tasa de Consumo en Superficie} = \frac{\text{Consumo Total}}{\text{Presión Total (profundidad)} \times \text{Tiempo}}$$

$$\text{Tasa de Consumo en Superficie} = \frac{140 \text{ litros de gas}}{2 \text{ bar} \times 5 \text{ minutos}} = 14 \text{ litros por minuto}$$

Durante este curso haremos este ejercicio al menos 3 veces, una con velocidad moderada, similar a la de una inmersión normal, con velocidad alta y gran esfuerzo y en reposo durante

una parada de descompresión. Estos datos nos permitirán optimizar nuestras planificaciones de inmersiones.

Muchos buceadores expertos en buceo recreativo pueden tener una tasa de consumo en superficie que puede ir de 8 a 12 litros por minuto. Sin embargo en una inmersión técnica esos mismos buceadores aumentarán su consumo a 12 a 18 litros.

Los valores habituales en buceo técnico para un buceador de complejión media serán próximos a los siguientes:

Ejercicio moderado entre 12 y 18 litros por minuto
Ejercicio alto subirá entre 18 y 30 litros por minuto
Descompresión en reposo entre 9 y 15 litros por minuto

Obviamente estos datos son orientativos y dependerá mucho de la complejión del buceador su nivel de experiencia y las condiciones del buceo.

Algo que muchos buceadores expertos alardean es de un consumo de gas muy bajo como una indicación de gran experiencia y habilidad en el buceo. Esto hay que considerarlo con precaución.

En general estos buceadores que bajan mucho sus consumos medios de la mayoría de los buceadores de su misma complejión física puede presentar una retención de CO₂ al no ventilar suficientemente, esto se agrava debido a la mayor densidad del aire en profundidad (aunque compensaremos la densidad al introducir helio) y la retención de CO₂ es uno de los principales factores que contribuyen a la narcosis, toxicidad por oxígeno e intercambio de gases en la descompresión.

Por tanto, un consumo excesivamente bajo no necesariamente es mejor en buceo profundo. Mantenerse dentro de la media de buceadores de parecida complejión física es lo mejor, y por supuesto no intentaremos ninguna técnica respiratoria para disminuir ese consumo más allá de la relajación y la respiración lenta y tranquila pero sin excesos.

Para poder planificar todos los aspectos y cálculos de una inmersión técnica utilizaremos una tabla con los siguientes datos:

Profundidad	Tiempo	Runtime	Gas	Pr Parcial O ₂	% SNC/minuto	OTU/minuto	% SNC total	OTU Total

Si utilizamos nuestro ejemplo de antes una inmersión a 81 metros por 20 minutos de tiempo en el fondo usando trimix 15/57 y nitrox 50 y oxígeno para la descompresión obtendremos el siguiente perfil de descompresión en un programa V-planner

Dec to 18m (1) Nitrox 50 15m/min descent.
 Dec to 60m (4) Trimix 15/57 15m/min descent.
 Dec to 81m (5) Trimix 15/57 18m/min descent.
 Level 81m 14:50 (20) Trimix 15/57 1.33 ppO2, 22m ead, 29m end
 Asc to 69m (21) Trimix 15/57 -9m/min ascent.
 Level 69m 2:00 (23) Trimix 15/57 1.15 ppO2, 18m ead, 24m end
 Asc to 54m (25) Trimix 15/57 -9m/min ascent.
 Stop at 54m 1:00 (26) Trimix 15/57 0.93 ppO2, 12m ead, 17m end
 Stop at 51m 1:00 (27) Trimix 15/57 0.89 ppO2, 11m ead, 16m end
 Stop at 48m 1:00 (28) Trimix 15/57 0.85 ppO2, 10m ead, 15m end
 Stop at 45m 1:00 (29) Trimix 15/57 0.80 ppO2, 9m ead, 13m end
 Stop at 42m 1:00 (30) Trimix 15/57 0.76 ppO2, 8m ead, 12m end
 Stop at 39m 2:00 (32) Trimix 15/57 0.72 ppO2, 7m ead, 11m end
 Stop at 36m 2:00 (34) Trimix 15/57 0.67 ppO2, 6m ead, 10m end
 Stop at 33m 3:00 (37) Trimix 15/57 0.63 ppO2, 5m ead, 8m end
 Stop at 30m 3:00 (40) Trimix 15/57 0.59 ppO2, 4m ead, 7m end
 Stop at 27m 4:00 (44) Trimix 15/57 0.54 ppO2, 3m ead, 6m end
 Stop at 24m 5:00 (49) Trimix 15/57 0.50 ppO2, 2m ead, 4m end
 Stop at 21m 3:00 (52) Nitrox 50 1.52 ppO2, 9m ead
 Stop at 18m 4:00 (56) Nitrox 50 1.37 ppO2, 8m ead
 Stop at 15m 5:00 (61) Nitrox 50 1.23 ppO2, 6m ead
 Stop at 12m 7:00 (68) Nitrox 50 1.08 ppO2, 4m ead
 Stop at 9m 11:00 (79) Nitrox 50 0.94 ppO2, 2m ead
 Stop at 6m 4:00 (83) Oxygen 1.58 ppO2, 0m ead
 Stop at 5m 20:00 (103) Oxygen 1.48 ppO2, 0m ead
 Stop at 5m 5:00 (108) Trimix 15/57 0.22 ppO2, 0m ead, 0m end
 Stop at 5m 16:00 (124) Oxygen 1.48 ppO2, 0m ead
 Surface (124) Oxygen -9m/min ascent

Los números en paréntesis son el runtime o tiempo acumulado. Sería el tiempo que tendría que aparecer en la pantalla de nuestro ordenador de buceo. Ya hablaremos mas adelante del runtime en detalle. Trasladando estos valores a nuestra tabla de cálculo obtendremos:

Profundidad	Tiempo	Runtime	CS	Pr absoluta	Volumen de Gas	Gas
18	2	2	14	2.80	78.40	50
81	18	20	14	9.10	2293.20	15/57
asc (75)	2	22	14	8.50	238.00	15/57
69	2	24	14	7.90	221.20	15/57
asc (61.5)	2	26	14	7.15	200.20	15/57
54	1	27	14	6.40	89.60	15/57
51	1	28	14	6.10	85.40	15/57
48	1	29	14	5.80	81.20	15/57
45	1	30	14	5.50	77.00	15/57
42	1	31	14	5.20	72.80	15/57
39	2	33	14	4.90	137.20	15/57
36	2	35	14	4.60	128.80	15/57
33	3	38	14	4.30	180.60	15/57
30	3	41	14	4.00	168.00	15/57
27	4	45	14	3.70	207.20	15/57
24	5	50	14	3.40	238.00	15/57
21	3	53	14	3.10	130.20	50
18	4	57	14	2.80	156.80	50
15	5	62	14	2.50	175.00	50
12	7	69	14	2.20	215.60	50
9	11	80	14	1.90	292.60	50
6	4	84	14	1.60	89.60	100
5	20	104	14	1.50	420.00	100
5	5	109	14	1.50	105.00	15/57

5	16	125	14	1.50	336.00	100
5	5	130	14	1.50	105.00	100

En la primera columna colocaremos la profundidad de cada parada, en este caso añadiremos las profundidades medias de ascenso entre paradas que sean mayores de 3 metros.

En la segunda columna colocaremos los minutos de parada en cada una. En dos filas de ascenso serán los minutos que necesitaremos para ascender esa distancia a 10 metros por minuto y redondearemos al siguiente minuto completo. Por ejemplo el ascenso de 81 metros a 69 son 12 metros que necesitaran 1 minuto y 12 segundos, redondearemos a 2 minutos.

En la tercera columna colocaremos el runtime que es el tiempo acumulado total desde el inicio de la inmersión.

En la cuarta columna colocaremos el CS, consumo en superficie, se suele cambiar en la descompresión si hay una diferencia significativa en el CS en reposo o nadando. En este caso por simplificar hemos usado el mismo todo el tiempo.

En la quinta columna colocaremos la presión absoluta a esa profundidad

En la sexta columna realizaremos el calculo de consumo aplicando la formula. Multiplicaremos el tiempo por le consumo en superficie CS y por la presión absoluta. Esto nos dará el volumen de gas que necesitaremos en cada etapa de la inmersión.

En la séptima columna especificaremos el gas respirado en cada etapa.

Una vez realizadas las operaciones sumaremos todos los consumos correspondientes a cada gas distinto. En nuestro ejemplo tendremos las zonas sombreadas en diferentes colores que corresponden a cada gas diferente.

15/57 - 4523.4 litros
50% 1048.6 litros
100% 950.6 litros

Este será nuestro consumo mínimo, por tanto tendremos que contemplar contingencias, situaciones imprevistas como corrientes o que nos hagan acelerar nuestra respiración y por tanto nuestro CS, compartir aire con el compañero en caso de necesidad etc....

Como regla general se considera que deberemos añadir un 50% de gas a este calculo como margen de seguridad. Por tanto multiplicaremos estos valores por 1.5

15/57 4523.4 litros x 1.5 = 6785.1 litros
50% 1048.6 litros x 1.5 = 1572.9 litros
100% 950.6 litros x 1.5 = 1425.9 litros

Ahora esta cantidad la tendremos que asociar a botellas y para ello compararemos el valor con los litros que tendrán nuestras botellas a 200 bar normalmente, aunque se puede comparar a cualquier otra presión.

Doble de 12 litros 24 litros x 200 bar = 4800 litros
Doble de 15 litros 30 litros x 200 bar = 6000 litros
Doble de 18 litros 36 litros x 200 bar = 7200 litros

Stage acero 10 litros	10 litros x 200 bar = 2000 litros
Stage acero 7 litros	7 litros x 200 bar = 1400 litros
Stage aluminio 5.6 litros	5.6 litros x 200 bar = 1120 litros
Stage aluminio 11.25 litros	11.25 litros x 200 bar = 2250 litros

En este caso podemos ver que de mezcla de fondo necesitaremos un doble de 18 litros porque el de 15 se queda corto, (ya veremos mas tarde otras estrategias de descompresión)

Para la descompresión necesitaremos dos de aluminio de 11.25 litros (80 pies cúbicos) o de 10 litros de acero. Siempre que sea posible recurrir a stage de aluminio que son mas cómodos y fáciles de manejar.

Algunos buceadores técnicos prefieren multiplicar por 2 los gases de la descompresión para poder dar gas al compañero. Ya veremos las opciones en las estrategias de descompresión y como se podría hacer.

Otros buceadores técnicos no multiplican la mezcla de fondo por 1.5, dejan sin multiplicar el gas usado en el fondo y multiplican el gas necesario en el ascenso por 2 o por 3. La idea es que cuando usemos el gas asignado al fondo subiremos, si lo usamos antes de lo previsto o se presenta un problema iniciaremos el ascenso inmediato por tanto no sería necesario reservar tanto gas al multiplicar el mayor volumen de gas por 1.5 en cambio en el ascenso es donde se pueden producir los problemas y por tanto multiplicaremos ese volumen necesario por 2 o por 3. Sin embargo como vemos abajo el resultado es muy similar a nuestro calculo multiplicando por 2 y por 3 da una reserva de gas excesiva que no tiene sentido.

En nuestro ejemplo tendríamos

2293.2 litros de 15/57 para el fondo
 2230.2 litros de 15/57 para el ascenso que se multiplicarla por 2 = 4460.4

Sumados ambos darán: 6753.6 litros que implicarían una cantidad semejante a la obtenida con nuestro calculo por 1.5

Si multiplicáramos por 3 el gas de ascenso nos daría 8986.8 litros que obviamente es exagerado

Presión mínima de ascenso

En buceo recreativo una parte muy importante de nuestro plan determina cuanta reserva de gas utilizaremos para iniciar el ascenso. Normalmente se utiliza 50 bar o 70 bar si se hace buceo profundo por ejemplo. Cuando el buceador llega a esta presión inicia el ascenso.

En buceo técnico deberemos hacer lo mismo, aunque hemos planificado cada etapa del buceo incluyendo la descompresión y hemos dejado un margen de seguridad, deberemos calcular cual será nuestra presión mínima de ascenso. Esta presión mínima corresponderá al consumo planificado en la etapa del fondo, que en teoría debería bastar para cubrir el tiempo planificado. Eso si nuestro consumo en superficie se mantiene según calculamos. Pero durante la inmersión puede haber imprevistos, corrientes, o simplemente que nos equivocamos al asignar nuestro CS y por tanto gastaremos esa cantidad de aire en menos tiempo. Si nos damos cuenta de ello podremos iniciar el ascenso antes de lo previsto manteniendo cierto margen de seguridad.

Para ello simplemente tomamos la cantidad de mezcla de fondo que hemos calculado que usaremos en el fondo, en nuestro ejemplo 2293.2 litros y lo dividiremos por la capacidad de la botella que usaremos un doble de 15 litros por tanto dividiremos por 30.

2293.2 litros / 30 litros = 76.44 bar que usaremos en el fondo.

Por tanto nuestra presión mínima de ascenso será:

$$200 - 77 = 123 \text{ bar}$$

Cuando nuestro manómetro de nuestros dobles alcance 123 bar o redondeando 130 bar, iniciaremos el ascenso, aunque no hayamos llegado a nuestro tiempo planificado.

Presión mínima para iniciar el buceo

Al hacer la planificación calcularemos los volúmenes de gases necesarios. Consideramos en general que nuestras botellas estarán llenas a 200 bares o la presión de carga estipulada. Es posible que al llegar al punto de inmersión nuestra presión en alguna de nuestras botellas no sea la de carga planificada. En este caso es muy útil transformar el volumen máximo que vamos a necesitar de cada gas a presión según la capacidad de las botellas que vamos a utilizar.

Para ello dividiremos esos volúmenes máximos de nuestro plan de contingencia que mas volumen requiera por la capacidad de las botellas y esto nos dará la presión mínima que deberemos tener en cada botella antes de iniciar la inmersión.

En nuestro ejemplo sin considerar los planes de contingencia que luego hablaremos sería:

- 15/57 4523.4 litros x 1.5 = 6785.1 litros/ 36 litros de capacidad = 188,5 bares
- 50% 1048.6 litros x 1.5 = 1572.9 litros/ 11.25 litros de capacidad = 139,9 bares
- 100% 950.6 litros x 1.5 = 1425.9 litros/ 11.25 litros de capacidad = 126,8 bares

Esto implica que nuestras presiones mínimas para iniciar el buceo serán 190 bares de la bibotella del gas de fondo, 140 bares de la de 50% y 130 bares de la de oxígeno. Sin tener este mínimo de presión en las diferentes botellas no podremos iniciar el buceo.

Planificacion de la Toxicidad de Oxigeno

Una vez se comprueba el volumen de gas necesario y si es viable entonces se debe comprobar la Toxicidad de oxigeno para ello en nuestra hoja de planificación de inmersiones tendremos algunas columnas mas para calcular en cada etapa el nivel de SNC y de OTU

HOJA DE PLANIFICACION DE INMERSIONES

Profundidad	Tiempo	Runtime	TCS	Pr absoluta	Volumen de Gas	% O2	% He	PpO2	SNC% min	SNC% total	OUT min	OTU Total
18	2	2	14	2.80	78.40	50		1.40	0.67	1.34	1.63	3.26
81	18	20	14	9.10	2293.20	15	57	1.37	0.67	12.06	1.63	29.34
asc (75)	2	22	14	8.50	238.00	15	57	1.28	0.56	1.12	1.48	2.96
69	2	24	14	7.90	221.20	15	57	1.19	0.48	0.96	1.32	2.64
asc 61.5)	2	26	14	7.15	200.20	15	57	1.07	0.42	0.84	1.16	2.32
54	1	27	14	6.40	89.60	15	57	0.96	0.34	0.34	1.00	1.00
51	1	28	14	6.10	85.40	15	57	0.92	0.34	0.34	1.00	1.00
48	1	29	14	5.80	81.20	15	57	0.87	0.28	0.28	0.83	0.83

45	1	30	14	5.50	77.00	15	57	0.83	0.28	0.28	0.83	0.83
42	1	31	14	5.20	72.80	15	57	0.78	0.23	0.23	0.65	0.65
39	2	33	14	4.90	137.20	15	57	0.74	0.23	0.46	0.65	1.30
36	2	35	14	4.60	128.80	15	57	0.69	0.18	0.36	0.47	0.94
33	3	38	14	4.30	180.60	15	57	0.65	0.18	0.54	0.47	1.41
30	3	41	14	4.00	168.00	15	57	0.60	0.14	0.42	0.26	0.78
27	4	45	14	3.70	207.20	15	57	0.56	0.14	0.56	0.26	1.04
24	5	50	14	3.40	238.00	15	57	0.51	0.14	0.70	0.26	1.30
21	3	53	14	3.10	130.20	50		1.55	2.22	6.66	1.93	5.79
18	4	57	14	2.80	156.80	50		1.40	0.67	2.68	1.63	6.52
15	5	62	14	2.50	175.00	50		1.25	0.56	2.80	1.48	7.40
12	7	69	14	2.20	215.60	50		1.10	0.42	2.94	1.16	8.12
9	11	80	14	1.90	292.60	50		0.95	0.34	3.74	1.00	11.00
6	4	84	14	1.60	89.60	100		1.60	2.22	8.88	1.93	7.72
5	20	104	14	1.50	420.00	100		1.50	0.84	16.80	1.78	35.60
5	5	109	14	1.50	105.00	15	57	0.23		0.00		0.00
5	16	125	14	1.50	336.00	100		1.50	0.84	13.44	1.78	28.48
5	5	130	14	1.50	105.00	100		1.50	0.84	4.20	1.78	8.90
										82.97		171.13

En las últimas 5 columnas colocaremos la presión parcial de oxígeno, % del SNC por minuto para esa PpO2 el total de % de SNC para esa etapa y lo mismo con los OTU en las siguientes dos columnas.

La presión parcial de oxígeno la calcularemos multiplicando el porcentaje de Oxígeno en cada mezcla dividido por 100 y multiplicado por la presión absoluta de acuerdo con la fórmula de las presiones parciales. Y el % de SNC y OTU por minuto los obtendremos de sus respectivas tablas en este manual. Los totales simplemente serán la multiplicación de % SNC o OTU por minuto multiplicados por los minutos de exposición de la columna 2.

Al final de las columnas de % SNC total y OTU Total sumamos todos los valores y esos serán nuestros niveles de %SNC y OTU para esta inmersión. En este ejemplo un 82.97 % de SNC y 172 OTU.

EL porcentaje de SNC está un poco alto pero dentro de los márgenes y los OTU están muy por debajo de su límite de 850 en una inmersión.

Ya hemos obtenido una planificación de la inmersión con una narcosis equivalente a 30 metros, que es muy razonable. También tenemos una descompresión calculada y mezclas de descompresión adecuadas con los cálculos de volumen de gas necesarios y su reserva de forma que podríamos hacer esta inmersión con un doble de 18 litros de acero y dos sencillos de 11 litros de aluminio.

Nuestra toxicidad de oxígeno estará dentro de límites razonables.

Solo nos queda verificar si esta descompresión es la mejor que podemos calcular. Para ello revisaremos los datos de descompresión introduciendo pequeñas modificaciones en nuestro programa de descompresión y comparando los resultados. En este caso si miramos la columna de las presiones parciales vemos una gran cantidad de números por debajo de 1.0, algunos muy bajos como 0.51. Esta descompresión no reúne los criterios que establecimos para una descompresión de buena calidad. En este caso ¿cómo corregir este problema?

Lo primero que podríamos pensar es que la mezcla de fondo no tiene suficiente oxígeno y conforme vamos ascendiendo la presión total disminuye y por tanto la presión parcial. Deberíamos añadir oxígeno a la mezcla de fondo.

Esto no será posible sin exceder el valor de seguridad de 1.4 bar en el fondo, por tanto no podemos aumentar el porcentaje de oxígeno en la mezcla de fondo. Tendremos que introducir otra mezcla de descompresión que tenga un % más alto de oxígeno. Esta mezcla no deberá ser aire, ya que aumentaría mucho la presión parcial de nitrógeno en la mezcla y lo que es peor disminuirá dramáticamente la presión parcial de helio.

El helio es un gas que difunde muy rápido y por tanto al haber mucha diferencia de presiones parciales dentro y fuera de los tejidos tendrá la tendencia a salir muy rápido incrementando la formación de burbujas.

Deberemos usar una mezcla Triox, es un trimix de descompresión con un porcentaje de oxígeno alto y un porcentaje de Helio bajo. Este porcentaje de Helio disminuye la diferencia de presiones dentro y fuera de los tejidos disminuyendo la velocidad de salida del He de los tejidos y su probabilidad de formar burbujas.

Para elegir los porcentajes adecuados de helio y oxígeno miraremos la columna de la presión parcial de oxígeno primero. Buscaremos a qué profundidades desciende por debajo de 1.0. En este caso vemos que a 54 metros obtenemos una presión parcial de oxígeno de 0.96 bar.

Calcularemos qué porcentaje de oxígeno nos daría 1.6 si estamos en reposo durante la descompresión a 54 metros y aplicando la fórmula vemos que:

$$\text{Presión Parcial máxima de Oxígeno} = \text{Presión Total a 54 metros} \times \frac{\% \text{ de oxígeno}}{100}$$

$$1.6 \text{ bar} = 6.4 \text{ bar} \times \frac{??\% \text{ de oxígeno}}{100}$$

$$\% \text{ de Oxígeno} = \frac{1.6 \text{ bar} \times 100}{6.4 \text{ bar}} = 25 \% \text{ de oxígeno}$$

En este caso deberemos usar un triox con un % de oxígeno del 25% lo cual optimiza la descompresión a partir de 54 metros, ahora deberemos comprobar en el otro extremo de la descompresión que pasará con la presión parcial de oxígeno. Es decir a 21 metros donde haremos nuestro cambio a 50%.

Un 25% de oxígeno nos dará una presión parcial a 24 metros justo antes de cambiar al 50% de

$$\text{Presión Parcial de Oxígeno} = \text{Presión Total a 24 metros} \times \frac{25 \% \text{ de oxígeno}}{100}$$

$$\text{Presión Parcial de Oxígeno} = 3.4 \text{ bar} \times \frac{25\% \text{ de oxígeno}}{100} = 0.85 \text{ bar}$$

Vemos que la presión parcial en la parte de la descompresión menos profunda con esta mezcla triox es de 0.85 bar. Menor que 1.0 que era nuestro mínimo ideal pero por encima del aceptable de 0.8 bar.

La parte de la descompresión más importante es la parte menos profunda porque es donde mas minutos estamos descomprimiendo. Esta es la parte que queremos tener con una buena presión parcial de oxígeno. En este caso nuestra presión parcial en la parte profunda es buena y aceptable en la parte menos profunda.

Si quisiéramos hacerlo al revés, es decir, que la parte menos profunda sea mejor que la mas profunda lo que tiene mas sentido tendríamos que aumentar el porcentaje de oxígeno para que fuera adecuado en la parte menos profunda, eso nos impediría empezar a usar esta mezcla a 54 metros y tendríamos que usarla en las paradas posteriores dejando algunas paradas con una presión parcial de oxígeno menos adecuada. Pero que seria una estrategia de descompresión más lógica.

Para calcular el nuevo porcentaje de oxígeno calculamos a la profundidad menor, 24 metros, que % de oxígeno nos dará al menos 1.0 bar de PpO2.

$$\text{Presión Parcial máxima de Oxígeno} = \text{Presión Total a 24 metros} \times \frac{\% \text{ de oxígeno}}{100}$$

$$1.0 \text{ bar} = 3.4 \text{ bar} \times \frac{?? \% \text{ de oxígeno}}{100}$$

$$\% \text{ de Oxígeno} = \frac{1.0 \text{ bar} \times 100}{3.4 \text{ bar}} = 30 \% \text{ de Oxígeno}$$

Vemos que un 30% de oxígeno nos dará una mejor descompresión en la parte menos profunda y podremos usar esta mezcla a partir de:

$$1.6 \text{ bar} = \text{Presión Total (profundidad)} \times \frac{30 \% \text{ de oxígeno}}{100}$$

$$\text{Presión Total (profundidad)} = \frac{1.6 \text{ bar}}{0.30} = 5.3 \text{ bar}$$

5.3 bar equivale a una profundidad de 43 metros si vemos en nuestras tabla de calculo en la columna de presiones parciales nos dara una presiones parciales desde 54 metros hasta 45 entre 0.96 bar a 0.83 que esta por encima de nuestro nivel aceptable.

El siguiente paso será introducir los nuevos datos de la mezcla en el programa de descompresión e introducir un valor de helio que sea no menor de la mitad del porcentaje usado en la mezcla anterior. En este caso 57% la mitad será 28.5, podremos usar un 30% de Helio para empezar. Luego veremos como optimizarlo. Introduciendo entonces los datos en el V-planner obtendremos el siguiente perfil.

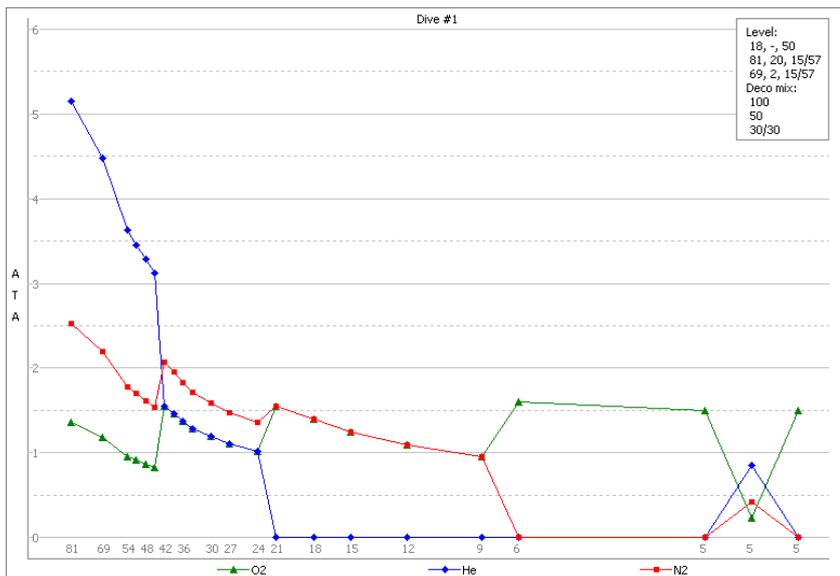
Dec to descent.	18m	(1)	Nitrox 50	15m/min	Dec to descent.	18m	(1)	Nitrox 50	15m/min		
Dec to descent.	60m	(4)	Trimix 15/57	15m/min	Dec to descent.	60m	(4)	Trimix 15/57	15m/min		
Dec to descent.	81m	(5)	Trimix 15/57	18m/min	Dec to descent.	81m	(5)	Trimix 15/57	18m/min		
Level	81m	14:50	(20)	Trimix 15/57	1.33 ppO ₂ ,	Level	81m	14:50	(20)	Trimix 15/57	1.33 ppO ₂ ,
Asc to ascent.	69m	(21)	Trimix 15/57	-9m/min	Asc to ascent.	69m	(21)	Trimix 15/57	-9m/min		
Level	69m	2:00	(23)	Trimix 15/57	1.15 ppO ₂ ,	Level	69m	2:00	(23)	Trimix 15/57	1.15 ppO ₂ ,
Asc to ascent.	54m	(25)	Trimix 15/57	-9m/min	Asc to ascent.	54m	(25)	Trimix 15/57	-9m/min		
Stop at	54m	1:00	(26)	Trimix 15/57	0.93 ppO ₂ ,	Stop at	54m	1:00	(26)	Trimix 15/57	0.93 ppO ₂ ,
Stop at	51m	1:00	(27)	Trimix 15/57	0.89 ppO ₂ ,	Stop at	51m	1:00	(27)	Trimix 15/57	0.89 ppO ₂ ,
Stop at	48m	1:00	(28)	Trimix 15/57	0.85 ppO ₂ ,	Stop at	48m	1:00	(28)	Trimix 15/57	0.85 ppO ₂ ,
Stop at	45m	1:00	(29)	Trimix 15/57	0.80 ppO ₂ ,	Stop at	45m	1:00	(29)	Trimix 15/57	0.80 ppO ₂ ,
Stop at	42m	1:00	(30)	Triox 30/30	1.52 ppO ₂ ,	Stop at	42m	1:00	(30)	Trimix 15/57	0.76 ppO ₂ ,
Stop at	39m	1:00	(31)	Triox 30/30	1.43 ppO ₂ ,	Stop at	39m	2:00	(32)	Trimix 15/57	0.72 ppO ₂ ,
Stop at	36m	1:00	(32)	Triox 30/30	1.34 ppO ₂ ,	Stop at	36m	2:00	(34)	Trimix 15/57	0.67 ppO ₂ ,
Stop at	33m	1:00	(33)	Triox 30/30	1.26 ppO ₂ ,	Stop at	33m	3:00	(37)	Trimix 15/57	0.63 ppO ₂ ,
Stop at	30m	2:00	(35)	Triox 30/30	1.17 ppO ₂ ,	Stop at	30m	3:00	(40)	Trimix 15/57	0.59 ppO ₂ ,
Stop at	27m	2:00	(37)	Triox 30/30	1.08 ppO ₂ ,	Stop at	27m	4:00	(44)	Trimix 15/57	0.54 ppO ₂ ,
Stop at	24m	3:00	(40)	Triox 30/30	1.00 ppO ₂ ,	Stop at	24m	5:00	(49)	Trimix 15/57	0.50 ppO ₂ ,
Stop at	21m	2:00	(42)	Nitrox 50	1.52 ppO ₂ ,	Stop at	21m	3:00	(52)	Nitrox 50	1.52 ppO ₂ ,
Stop at	18m	4:00	(46)	Nitrox 50	1.37 ppO ₂ ,	Stop at	18m	4:00	(56)	Nitrox 50	1.37 ppO ₂ ,
Stop at	15m	4:00	(50)	Nitrox 50	1.23 ppO ₂ ,	Stop at	15m	5:00	(61)	Nitrox 50	1.23 ppO ₂ ,
Stop at	12m	6:00	(56)	Nitrox 50	1.08 ppO ₂ ,	Stop at	12m	7:00	(68)	Nitrox 50	1.08 ppO ₂ ,
Stop at	9m	8:00	(64)	Nitrox 50	0.94 ppO ₂ ,	Stop at	9m	11:00	(79)	Nitrox 50	0.94 ppO ₂ ,
Stop at	6m	4:00	(68)	Oxygen	1.58 ppO ₂ ,	Stop at	6m	4:00	(83)	Oxygen	1.58 ppO ₂ ,
Stop at	5m	20:00	(88)	Oxygen	1.48 ppO ₂ ,	Stop at	5m	20:00	(103)	Oxygen	1.48 ppO ₂ ,
Stop at	5m	5:00	(93)	Trimix 15/57	0.22 ppO ₂ ,	Stop at	5m	5:00	(108)	Trimix 15/57	0.22 ppO ₂ ,
Stop at	5m	5:00	(98)	Oxygen	1.48 ppO ₂ ,	Stop at	5m	16:00	(124)	Oxygen	1.48 ppO ₂ ,
Surface			(98)	Oxygen	-9m/min ascent.	Surface			(124)	Oxygen	-9m/min ascent

Si comparamos el nuevo perfil con el original vemos que las zonas de presión parcial de oxígeno por debajo de 1.0 sombreadas en gris, son muy pocas y por encima de 0.8 al menos. Y vemos que el incorporar una mezcla triox reduce el tiempo total de descompresión en rojo, en 26 minutos que es un 20%. Nuestro primer criterio para una buena descompresión era que la más corta era la mejor. El inconveniente de una botella más nos proporciona una descompresión de mucha más calidad.

Nos quedaba comprobar si el porcentaje de Helio que hemos puesto usando la regla del disminuir el He de la mezcla anterior a la mitad era la mejor mezcla para la descompresión.

Para ello tenemos una función en el programa V-planner muy útil que representa en un gráfico las diferentes presiones parciales de los gases durante la descompresión.

En este caso daría el gráfico siguiente:

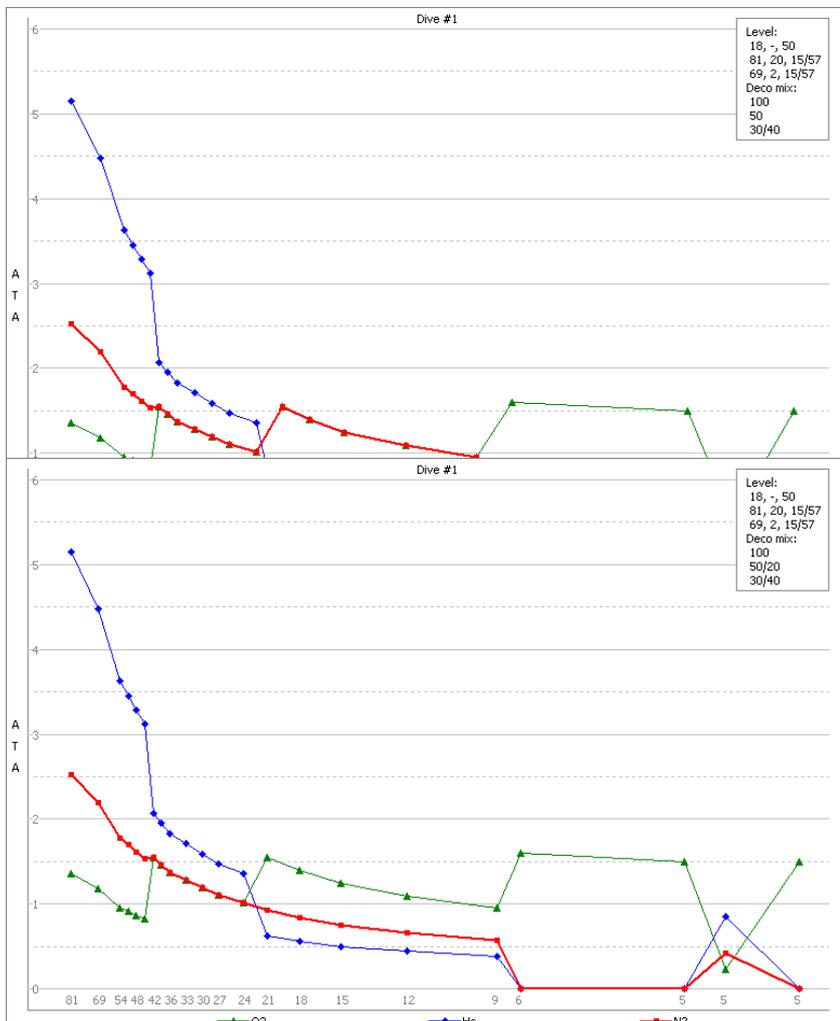


Vemos en la línea azul el He y dos descensos bruscos a los dos cambios de gases a 30/30 y 50%.

También vemos la línea roja del N2 que presenta dos elevaciones en los mismos cambios de gases. Teóricamente la mejor descompresión será la que presente un descenso constante de las presiones parciales de los gases inertes. Con el He lo conseguimos pero no así con el N2.

Sin embargo esta elevación no es muy significativa, y estos gases de descompresión serían muy adecuados, pero buscando una mejor descompresión teórica podemos aumentar un poco el % de He en el triox lo cual reducirá el descenso de He, menos rápido saldrá el He de los tejidos y hará que el N2 descienda. Por ejemplo podemos hacer un 40% de He usando un triox 30/40

Si hacemos estos cambios en nuestro programa obtendremos el siguiente nuevo gráfico:



Vemos que la línea de N2 ya no sube apenas en el primer cambio de gases y el He desciende mas moderadamente. Sin embargo seguimos teniendo un ascenso en rojo del N2 en el cambio al 50%. Para evitarlo podríamos usar un poco de He en la mezcla del 50%. Normalmente se usa entre un 10 y un 20 %

En este caso vamos a probar nuevamente en el programa usando un triox 50/20 en lugar del nitrox 50%. Obtendremos el siguiente grafico:

Este gráfico se ve mucho mejor. Los descensos de presiones parciales de He son menos acusados y el N2 tiene una curva suave de descenso de PpN2

constante. El pico del final se debe a un "air break" que es necesario para controlar la toxicidad por oxígeno aunque no sea lo mejor para la descompresión. Ya veremos este pico más adelante.

Este proceso de selección de parámetros y gases de descompresión es teórico y no está científicamente comprobado ni validado estadísticamente con perfiles de buceo realizados con este método comparado con el método tradicional. Pero tampoco hay ningún argumento en contra y resulta mucho más lógico que otras descompresiones con grandes saltos de gases inertes durante la descompresión.

Por tanto nuestro buceo a 81 metros por 20 minutos de tiempo de fondo lo haremos con 15/57 de mezcla de fondo, 30/40 y 50/20 de triox de descompresión y finalmente oxígeno 100%.

Ahora deberemos hacer la comprobación final de Toxicidad por oxígeno al haber aumentado sus presiones parciales en algunos tramos y los volúmenes de gases que ahora serán diferentes al ser la descompresión mas corta y tener un gas mas. Nuestro perfil de descompresión será:

Dec to	18m	(1)	Triox 50/20	15m/min descent.
Dec to	60m	(4)	Trimix 15/57	15m/min descent.
Dec to	81m	(5)	Trimix 15/57	18m/min descent.
Level	81m	14:50 (20)	Trimix 15/57	1.33 ppO ₂ , 22m ead, 29m end
Asc to	69m	(21)	Trimix 15/57	-9m/min ascent.
Level	69m	2:00 (23)	Trimix 15/57	1.15 ppO ₂ , 18m ead, 24m end
Asc to	54m	(25)	Trimix 15/57	-9m/min ascent.
Stop at	54m	1:00 (26)	Trimix 15/57	0.93 ppO ₂ , 12m ead, 17m end
Stop at	51m	1:00 (27)	Trimix 15/57	0.89 ppO ₂ , 11m ead, 16m end
Stop at	48m	1:00 (28)	Trimix 15/57	0.85 ppO ₂ , 10m ead, 15m end
Stop at	45m	1:00 (29)	Trimix 15/57	0.80 ppO ₂ , 9m ead, 13m end
Stop at	42m	1:00 (30)	Triox 30/40	1.52 ppO ₂ , 10m ead, 21m end
Stop at	39m	1:00 (31)	Triox 30/40	1.43 ppO ₂ , 8m ead, 19m end
Stop at	36m	1:00 (32)	Triox 30/40	1.34 ppO ₂ , 7m ead, 17m end
Stop at	33m	2:00 (34)	Triox 30/40	1.26 ppO ₂ , 6m ead, 16m end
Stop at	30m	2:00 (36)	Triox 30/40	1.17 ppO ₂ , 5m ead, 14m end
Stop at	27m	2:00 (38)	Triox 30/40	1.08 ppO ₂ , 4m ead, 12m end
Stop at	24m	3:00 (41)	Triox 30/40	1.00 ppO ₂ , 3m ead, 10m end
Stop at	21m	3:00 (44)	Triox 50/20	1.52 ppO ₂ , 2m ead, 15m end
Stop at	18m	4:00 (48)	Triox 50/20	1.37 ppO ₂ , 0m ead, 12m end
Stop at	15m	5:00 (53)	Triox 50/20	1.23 ppO ₂ , 0m ead, 10m end
Stop at	12m	8:00 (61)	Triox 50/20	1.08 ppO ₂ , 0m ead, 8m end
Stop at	9m	11:00 (72)	Triox 50/20	0.94 ppO ₂ , 0m ead, 5m end
Stop at	6m	3:00 (75)	Oxygen	1.58 ppO ₂ , 0m ead
Stop at	5m	20:00 (95)	Oxygen	1.48 ppO ₂ , 0m ead
Stop at	5m	5:00 (100)	Trimix 15/57	0.22 ppO ₂ , 0m ead, 0m end
Stop at	5m	9:00 (109)	Oxygen	1.48 ppO ₂ , 0m ead
Surface		(109)	Oxygen	-9m/min ascent.

Una descompresión ligeramente más larga que usando nitrox 50 pero más lógica en cuanto a presiones parciales de gases inertes. Introduciendo los datos en nuestra hoja de cálculo (estos datos los proporciona el programa pero durante este curso siempre los calcularemos manualmente también) obtendremos:

HOJA DE PLANIFICACION DE INMERSIONES

Profundidad	Tiempo	Runtime	TCS	Pr absoluta	Volumen de Gas	% O2	% He	PpO2	SNC% min	SNC total	%	OUT min	OTU Total
18	2	2	14	2.80	78.40	50	20	1.40	0.67	1.34		1.63	3.26
81	18	20	14	9.10	2293.20	15	57	1.37	0.67	12.06		1.63	29.34
asc (75)	2	22	14	8.50	238.00	15	57	1.28	0.56	1.12		1.48	2.96
69	2	24	14	7.90	221.20	15	57	1.19	0.48	0.96		1.32	2.64
asc (61.5)	2	26	14	7.15	200.20	15	57	1.07	0.42	0.84		1.16	2.32
54	1	27	14	6.40	89.60	15	57	0.96	0.34	0.34		1.00	1.00
51	1	28	14	6.10	85.40	15	57	0.92	0.34	0.34		1.00	1.00
48	1	29	14	5.80	81.20	15	57	0.87	0.28	0.28		0.83	0.83
45	1	30	14	5.50	77.00	15	57	0.83	0.28	0.28		0.83	0.83
42	1	31	14	5.20	72.80	30	40	1.56	2.22	2.22		1.93	1.93
39	1	32	14	4.90	68.60	30	40	1.47	0.84	0.84		1.78	1.78
36	1	33	14	4.60	64.40	30	40	1.38	0.67	0.67		1.63	1.63
33	2	35	14	4.30	120.40	30	40	1.29	0.56	1.12		1.48	2.96
30	2	37	14	4.00	112.00	30	40	1.20	0.48	0.96		1.32	2.64
27	2	39	14	3.70	103.60	30	40	1.11	0.48	0.96		1.32	2.64
24	3	42	14	3.40	142.80	30	40	1.02	0.42	1.26		1.16	3.48
21	3	45	14	3.10	130.20	50	20	1.55	2.22	6.66		1.93	5.79
18	4	49	14	2.80	156.80	50	20	1.40	0.67	2.68		1.63	6.52
15	5	54	14	2.50	175.00	50	20	1.25	0.56	2.80		1.48	7.40
12	8	62	14	2.20	246.40	50	20	1.10	0.42	3.36		1.16	9.28
9	11	73	14	1.90	292.60	50	20	0.95	0.34	3.74		1.00	11.00
6	3	76	14	1.60	67.20	100		1.60	2.22	6.66		1.93	5.79
5	20	96	14	1.50	420.00	100		1.50	0.84	16.80		1.78	35.60
5	5	101	14	1.50	105.00	15	57	0.23		0.00			0.00
5	9	110	14	1.50	189.00	100		1.50	0.84	7.56		1.78	16.02
											75.85		158.94

Si sumamos las cantidades necesarias de cada gas obtendremos:

15/57	3390.8 litros x 1.5 = 5086.2 litros	suficiente con un doble de 15 litros
30/40	684.6 litros x 1.5 = 1026.9 litros	suficiente con stage de 5.6 litros
50/20	1079.4 litros x 1.5 = 1619.1 litros	suficiente con stage de 11 litros
100	676.2 litros x 1.5 = 1014.3 litros	suficiente con stage de 5.6 litros

Si comparamos la logística de ambos buceos, vemos que originalmente necesitábamos un doble de 18 litros mas dos stages de 11 litros. En el nuevo plan, cambiando una botella de 11 litros de aluminio por dos de 5.6 con mezclas ligeramente diferentes nuestra descompresión será mucho mejor al menos a nivel teórico y no implicará un inconveniente de número de botellas o tamaño, ya que será más o menos similar.

Hemos visto los pasos que deberemos realizar al planificar nuestras inmersiones técnicas y como deberemos analizar críticamente los datos obtenidos del programa de descompresión para poder planificar la mejor descompresión posible y por tanto la que menos riesgo implique. Este no es un proceso simple pero el disponer de una herramienta como un programa de descompresión computerizado nos permite hacerlo con relativa sencillez y comodidad.

Técnicas y Procedimientos de Inmersión

Preparación

La preparación es una parte muy importante de la inmersión técnica. Esta preparación incluye la revisión del equipo a usar y verificar que disponemos de todo el equipo necesario. Una forma sencilla es tener una lista de equipo y poner el equipo en una bolsa o caja conforme comprobamos la lista.

Se deberá comprobar la presión de las botellas, deben de estar en los mínimos que hemos calculado en nuestro plan. Si planificamos suficiente gas con una botella a 200 bares si la tenemos a 170 bares en el momento de realizar la inmersión no cumpliremos con la planificación y nuestro buceo no será seguro.

También deberemos analizar todas y cada una de la mezclas que vamos a usar personalmente y marcar las botellas. Existen pegatinas comerciales aunque la mayoría de los buceadores técnicos usamos cinta tipo americana y rotulamos los datos con un marcador indeleble. Los datos que deberán figurar en cada botella serán:

- Nombre del buceador, muy importante en barcos o equipos de buceo grandes donde se pueden confundir y bajar con un gas que no corresponde a mi planificación.
- Mezcla
- Profundidad máxima operativa de esta mezcla.

Estos datos deberán estar duplicados en la ojiva de la botella de forma que sean fáciles de leer por el propio buceador y en un lateral de la botella para que pueda ser leído por el o los compañeros. (ver ejemplos en las fotos)

Verificar el plan de inmersión y de contingencia. Una vez hemos realizado nuestro plan normal deberemos calcular dos planes alternativos de contingencia. Uno unos 3 a 5 minutos mas del tiempo de fondo por si nos pasamos de tiempo y otro 3 metros mas profundo por si nos pasamos de profundidad. Estos planes se imprimirán y se plastificaran por duplicado. Se llevara un juego de los tres planes en una tablilla en el antebrazo y el otro juego en el bolsillo. También se pueden escribir en un block de notas sumergible en el bolsillo y en la tablilla de plástico con

un lápiz. Sin embargo es fácil que se borren datos y es preferible la versión impresa y plastificada.

Siempre llegaremos al lugar de inmersión con tiempo de antelación suficiente para montar el equipo tranquilamente sin prisas y hacer la comprobación entre compañeros pre-inmersión.

Esta comprobación debe cubrir los siguientes puntos:

- Válvula derecha de la bibotella abierta completamente.
- Regulador largo, respirar y comprobar botón de purga
- Inflador del ala principal, comprobar conexión, inflando y desinflando.
- Válvula de purga del ala, comprobar
- Válvula aislante de la bibotella abierta completamente
- Válvula izquierda de la bibotella abierta completamente
- Regulador corto, respirar y comprobar botón de purga
- Inflador secundario o inflador del traje seco, comprobar conexión, inflado y desinflado. Una vez realizado desconectar si es el inflador del ala secundaria.
- De cada stage por orden:
 - Abrir Válvula, comprobar regulador, respirar y comprobar botón de purga. Volver a cerrar la válvula
 - Comprobar que los latiguillos están recogidos dentro de las bandas elásticas
 - Comprobar marcas de identificación y mezcla
- Comprobar ordenador multigas si se dispone, activar, comprobar nivel de batería y mezclas seleccionadas que correspondan con las que se van a usar
- Comprobar de igual manera el ordenador multigas secundario si se dispone de él. Si no se deberá comprobar el profundímetro digital, y reloj cronómetro sumergible.
- Comprobar Boyas de descompresión. Mínimo una, comprobar ubicación y que este bien sujeta no se pueda soltar durante el buceo.
- Comprobar Carrete, Comprobar el mecanismo de bloqueo, Comprobar ubicación.
- Comprobar cuchillos o corta líneas. Dos ubicados en áreas que sean alcanzables con las dos manos
- Comprobar Mascara. Comprobar cincha.
- Comprobar Mascara de repuesto. Comprobar cincha. Comprobar ubicación
- Comprobar Tablilla sumergible de escritura
- Comprobar Tablas de Descompresión. Un buceador las lee en voz alta comprobando que todos tienen el mismo plan. Apuntar la presión mínima de ascenso calculada en la planificación.
- Comprobar Aletas. Comprobar Cinchas.
- Comprobar Linterna primaria si se va a usar
- Comprobar Linterna de seguridad si se va a usar

La mayoría de las embarcaciones de buceo no están diseñadas o adaptadas para el buceo técnico y no disponen de espacio suficiente y los bancos son demasiado bajos para poder equiparse cómodamente. Deberemos planificar nuestra ubicación en el barco y las botellas stage para que estén en la posición adecuada cuando nos equipemos.

Si la embarcación dispone de una plataforma abierta en la popa nos situaremos lo mas cerca posible de ella para no tener que andar por el barco sobrecargado con el equipo, tratar que la entrada al agua no implique mas de 3 o 4 pasos. El buceador técnico pide ayuda a tripulantes u otros buceadores para equiparse, y se deja ayudar. Es necesario para que nos podamos equipar adecuadamente en un tiempo razonable.

Algunos buceadores técnicos, sin embargo no les agrada que verifiquen sus válvulas, por tanto si ayudamos a algún buceador técnico evitaremos tocar o comprobar las válvulas a no ser que nos diga lo contrario.

Entrada al Agua

Una vez equipados, entraremos al agua de la mejor manera posible según la embarcación. Si es posible la mejor manera es por la plataforma de popa de paso adelante. Si la embarcación no dispone de esta plataforma probablemente deberemos hacer una entrada rodando hacia atrás. Dependiendo del número de stage que usamos podemos decidir hacer una entrada con todas las botellas, lo que dependerá de nuestra complejión y fuerza física. Si decidimos esta forma es muy importante que coloquemos los brazos de forma que sujeten los stage para que al golpear con el agua no nos golpeen en la cara o el mentón....no es una experiencia muy agradable.

También podemos hacer la entrada solo con los dobles en la espalda y colocarnos los stage en el agua. Este método es el más recomendable siempre que no haya una corriente demasiado fuerte. En este caso no nos quedará otra opción que entrar al agua con todo el equipo.

Nadar contra corriente con todo el equipo técnico puede ser agotador y provocar calambres y lesiones antes de iniciar el buceo. Si detectamos una corriente fuerte, el barco deberá disponer de una línea de alcance en la popa del barco con una boya que continuara por un lateral del barco hasta el cabo del ancla o de descenso.

Esto nos permitirá ayudarnos para poder alcanzar el cabo de descenso sobre todo cuando buceamos en barcos hundidos donde un descenso libre no es una opción, si queremos encontrar el pecio.

El equipo de buceo que no deberá de ser mayor de 3 buceadores para facilitar la comunicación y procedimientos de emergencia entre los miembros del equipo. Se nombrará un líder del equipo de buceo que será el encargado de dirigir la inmersión. Esto agiliza la comunicación y mejora la coordinación del equipo de buceo. Esto no implica que los demás miembros del equipo no sepan donde van o carezcan de información importante de la inmersión. Todos los miembros del equipo deberán tener toda la información y planificación necesaria para poder efectuar y completar la inmersión sin ayuda de ningún otro buceador, incluyendo situaciones de emergencia.

Una vez reunido el equipo en superficie se iniciará el descenso. Si se utiliza un cronometro sumergible el líder indicará la orden de comenzar la inmersión y todos los buceadores activaran el cronometro al mismo tiempo.

Descenso y Comprobación de Equipo a 6 metros

Se descenderá manteniendo contacto visual con el resto del equipo y se realizara una parada a 6 metros durante el descenso. En esta parada se verificará el equipo del compañero por si se detectan burbujas indicando un problema con el equipo o algo que se observe fuera de lugar.

Si los compañeros asignados nunca han buceado juntos es importante que se practique un simulacro de falta de aire. Esto servirá también para demostrar la accesibilidad del regulador largo que puede haber quedado atrapado por las botellas stage al equiparnos en el agua por ejemplo.

Una vez todo esté en orden se continua el descenso. Si se está realizando una inmersión con trimix hipóxico, es decir que no es respirable en la superficie, iniciaremos el buceo con uno de los stage de descompresión, y continuaremos hasta la profundidad planificada para hacer el cambio al gas de fondo.

Cuando se alcance esta profundidad el líder indicará la señal de parar a esta profundidad y cambiar gases. Todos los miembros lo harán al mismo tiempo. Para ello los pasos siempre deben ser los mismos para evitar confusiones y tomar una mezcla que no sea respirable a esa profundidad.

Los pasos a seguir serán:

1. Comprobar la profundidad
2. Desenganchar el regulador largo del anillo superior derecho donde debe estar siempre que no estemos respirando de él. Comprobar que es el largo pasándolo por encima de la cabeza como cuando lo damos a un compañero sin aire verificando que es el largo. Si no lo fueran no podríamos separarlo de nosotros mucho.
3. Purgar brevemente el regulador que vamos a respirar para comprobar que funciona
4. Cambiar los reguladores y respirar del regulador largo.
5. Enganchar adecuadamente el regulador de la botella de etapa y asegurarse que el latiguillo queda sujeto en las bandas elásticas de la botella.
6. Comprobar que los compañeros están respirando del regulador correcto
7. Cambiar el gas de la o las computadoras multigas
8. Señalar OK y continuar descenso hasta la profundidad máxima planificada.

Posición

Una vez a la profundidad máxima mantener una posición paralela a unos 2 metros de distancia aproximadamente. Nunca situarse detrás de un compañero o encima. Con el equipo técnico es mucho más difícil voltearse para ver al compañero por tanto colocarse uno al lado del otro ayuda mucho a la comunicación y la gestión de situaciones de emergencia. Yo personalmente si buceo con un compañero de buceo técnico que no presta atención a la posición, o no demuestra una disciplina adecuada para mantener la posición y seguir el plan de buceo, simplemente ya no buceo nunca más con él.

La posición de buceo será horizontal con las botellas de etapa (stage) a lo largo del cuerpo sin descolgarse demasiado creando resistencia al avance. Para ello será muy importante el ajuste del arnés y de las anillas.

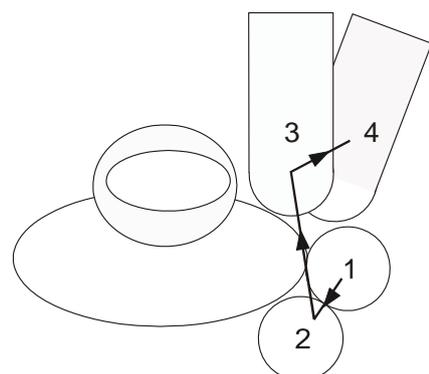
Configuración de botellas de etapa (stage)

En buceo con trimix llevaremos mas botellas de descompresión algunas veces podremos llevar 4 o 5 botellas de etapa. Es muy importante la colocación de estas botellas para que todo el equipo sea accesible y cómodo.

Hay dos formas de configurar las botellas de descompresión.

Todas a la izquierda.

Algunas agencias de certificación promueven que se coloquen todas las botellas de etapa en el lado izquierdo, la razón es que de esta manera el lado derecho queda libre y si fuera necesario desplegar el latiguillo largo para compartir



aire con un compañero no tendría posibilidades de quedar atrapado con alguna de las botellas de etapa.

Con 2 botellas o incluso 3 este método puede ser factible y siempre que se usen botellas de etapa de aluminio. Si se usa de acero será prácticamente imposible mantener una posición estable sin inclinarse a la izquierda. La forma más típica es colocar dos botellas debajo del brazo una encima de la otra. La botella que se usará primero estará encima. Las botellas que se usarán mas tarde se llevarán sujetas solo por el mosquetón superior enganchado en la anilla de la cadera izquierda.

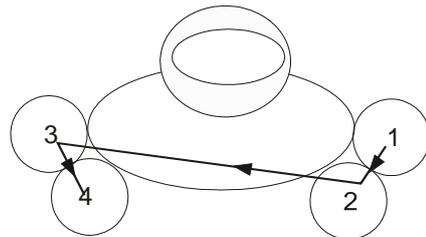
Repartidas en ambos lados.

De esta forma se tiene una forma más hidrodinámica pero hay que ser cuidadosos al poner y quitar las botellas de etapa para no atrapar con ellas el latiguillo largo del regulador y dificultar la maniobra de compartir aire en una emergencia.

En este caso se colocarán las botellas con mayor contenido en oxígeno a la derecha y las de menor a la izquierda.

Por tanto el orden por ejemplo podría ser:

- 1 - Botella de trimix 15/57 izquierda arriba
- 2 - Botella de 30/40 izquierda abajo
- 3 - Botella de 50% derecha arriba
- 4 - Botella de oxígeno derecha debajo



Ascenso

Mantendremos contacto visual frecuente con nuestro o nuestros compañeros de buceo y al alcanzar el tiempo máximo establecido en el plan o la presión del manómetro acordada para iniciar el ascenso, el líder comunicara las señales de ascenso y por números la profundidad de la siguiente parada. Los demás miembros del equipo repetirán las señales para corroborar que han entendido y se inicia el ascenso a la siguiente parada. Las estadísticas muestran que los buceadores técnicos solemos ascender entre 4 y 6 metros por minuto, es una velocidad de ascenso que nos sentimos más cómodos. Esta velocidad es lenta si se ha planificado con un algoritmo a 10 metros por minuto y hará que lleguemos invariablemente a la parada profunda tarde. Si esto ocurre deberemos pasar a nuestro plan de contingencia de más tiempo de fondo. Personalmente comienzo la comunicación con los compañeros y el ascenso 2 minutos antes del tiempo de fondo planificado. Esto me permite ascender a una velocidad más moderada que me es más confortable sin salirme del runtime normal planificado.

Una vez se alcanza la parada el líder indicará las señales de parar a esta profundidad, señalará el cronometro e indicara por números los minutos de parada. Los demás miembros repetirán estas señales y se comenzara a contar el tiempo.

Hay dos estrategias o métodos de contar el tiempo de una descompresión.

Cronometro (Stop watch)

Con este método al llegar a la parada correspondiente el cronometro se ajusta a cero y al finalizar el intercambio de señales todos los miembros del equipo activan el cronometro a una señal de la cabeza del líder. Al finalizar el tiempo o un poco antes contando el tiempo

requerido para comunicación, se inicia el ascenso a la siguiente parada. Una vez allí, se vuelve a poner a cero el cronometro y de nuevo a indicación del líder se activa el cronometro. Este método es el más sencillo y probablemente es mejor durante el curso. Tiene el inconveniente que se suele sobrepasar el tiempo total de buceo al perder algo de tiempo en los ascensos por diversas razones. En la mayoría de los buceos no será un problema pero en buceos muy profundos y largos no podemos permitirnos alargar un buceo 20 o 30 minutos mas de lo necesario porque incrementaría nuestro consumo de gases planificado y nuestra toxicidad de oxígeno calculada.

Runtime

El runtime o tiempo acumulado es el tiempo transcurrido desde que se inicia el buceo. En nuestra tabla de descompresión tendremos una columna con profundidades y tiempos, similar a la siguiente

12 metros	40 minutos
9 metros	43 minutos
6 metros	48 minutos
5 metros	59 minutos

El tiempo se refiere al tiempo que deberá aparecer en nuestro cronometro u ordenador de buceo al dejar esa parada y dirigirse a la siguiente. En este caso cuando marque 40 minutos iniciaremos el ascenso a 9 metros. Obviamente llegaremos a 9 metros en unos 20 segundos si seguimos la velocidad de ascenso de 9 metros por minuto y esperaremos en 9 metros hasta que el cronometro marque 43 minutos e iniciaremos el ascenso a la siguiente parada de 6 metros y allí esperaremos hasta 48 minutos...etc.....

Este método es muy simple requiere menos comunicación y acciones del equipo de buceo, sin embargo presenta el problema si nos retrasamos por cualquier razón y no llegamos a tiempo a alguna parada. Si solo es una parada puede ser fácil corregir el tiempo en dos o tres paradas un poco en cada una hasta alcanzar el tiempo adecuado y entonces seguir el perfil planificado.

Si el retraso es muy grande o se produce varias veces, algo relativamente frecuente en buceadores novatos, es muy difícil seguir el cálculo mental de la descompresión ya que nuestra tabla impresa y plastificada ya no nos será muy útil. Si en el ejemplo anterior, llegamos a la parada de 12 metros con 41 minutos, vamos un minuto retrasado, entonces seguiríamos y recortaríamos 20 segundos a cada una de las siguientes paradas hasta coincidir con la tabla de nuevo. Si de nuevo en la parada de 9 nos retrasamos y llegamos con 45, el minuto de retraso anterior y uno mas, ya se complica y si nos vuelve a pasar en la siguiente parada.... Aquí solo hemos representado 4 paradas, pero en un buceo trimix típico se comienzan las paradas a 50 o 60 metros y se realiza una cada 3 metros. Muchas opciones de retrasarse y por tanto de perder el control de la descompresión al ser muy difícil la corrección.

Esto pasa al inicio, debido a los cambios de gases y al largado de la boya donde en un buceo de una hora de tiempo total es fácil que se produzca un retraso de 8 a 10 minutos en los primeros buceos.

Conforme se adquiere experiencia y el equipo esta mas compenetrado estos retrasos se minimizan y el método es muy útil y simple.

Cambio de Gases (gas switch)

Cualquiera que sea el método se seguirá durante el ascenso mediante la comunicación adecuada de los miembros hasta la parada donde se haya planificado el largado de la boya de descompresión o el primer cambio de gases lo que se haya planificado primero.

Suponiendo que sea el cambio de gases se realizara de la siguiente manera:

1. Comprobar la etiqueta de la botella que se pretende usar
2. Comprobar la profundidad y asegurarse que es respirable
3. Desplegar el regulador de un movimiento sacándolo de las bandas elásticas
4. Abrir la válvula de la botella, comprobar el manómetro y purgar el regulador para comprobar que funciona
5. Cambiar los reguladores, enganchar con su clip el regulador largo en el anillo del hombro derecho
6. Comprobar siguiendo visualmente el latiguillo del regulador del compañero hasta la botella y comprobar que es respirable
7. Cambiar el gas en la computadora multigas y/o activar el cronometro

Hay dos estrategias básicas al cambiar de gases.

La primera un buceador cambia de gas y los demás observan que no cometa errores. Una vez realizado otro buceador hace el cambio y así sucesivamente hasta que todos han realizado el cambio. Este método es muy seguro pero puede provocar un gran retraso en el ascenso haciendo que el método del runtime sea muy difícil de aplicar.

Buceadores técnicos expertos y en equipos bien compenetrados inician los pasos de cambio de gases durante el ascenso al dejar la parada anterior. Esto acelera la preparación y produce mínimos retrasos permitiendo el uso del método de runtime.

La otra estrategia es que todos se preparan al mismo tiempo y cambian gases al mismo tiempo. Esta es menos segura ya que si se produce un mal cambio es más difícil de detectarlo por los otros miembros del equipo.

Desplegado de la boya de descompresión

Se continuará el ascenso hasta la parada donde se haya planificado el despliegado de la boya de descompresión. Este procedimiento no se aplicará si se dispone del cabo de descenso/ascenso, por ejemplo cuando buceamos desde un barco y no hay corriente. Podremos ascender por este cabo sin problemas y no será necesario el despliegue de la boya de descompresión.

Sin embargo cuando hacemos buceos en zona de corrientes fuertes o simplemente nos perdemos debido a la mala visibilidad, tendremos que hacerlo para indicar al barco nuestra posición y permitir que nos sigan.

Es muy importante que se haga también con una buena técnica porque es muy fácil que al inflar la boya el cabo del carrete se enganche con cualquier parte del equipo que cargamos y nos haga ascender a la superficie con la consiguiente omisión de descompresión.

Por tanto seguiremos siempre una técnica adecuada que limite este riesgo, como por ejemplo:

1. Sacar la boya de su compartimento.
2. Introducir un poco de aire colocando la abertura abierta al lado del deflector de burbujas del regulador que estamos respirando, inclinando la cabeza para que todo el

- aire exhalado entre dentro de la boya. Solo introduciremos gas suficiente para mantener la boya en posición vertical pero sin que provoque cambios de flotabilidad.
3. Sacaremos el carrete de su localización y engancharemos el clip de la cinta de sujeción de la boya a la gaza del hilo del carrete. Pasarlo dos o tres veces para que no se suelte durante el ascenso o descompresión.
 4. Desbloquear el carrete
 5. Con la mano izquierda mantener el orificio de la boya pegado al deflector del regulador y extender el brazo derecho con el carrete en la mano hacia delante para que el hilo del carrete quede despejado del resto de nuestro equipo.
 6. Mantener el hilo tenso.
 7. Tomar una buena inspiración y exhalar en la boya de descompresión.
 8. Extender el brazo izquierdo. Comprobar rápidamente que no hay nada enganchado y soltar la boya a la vez que mantenemos el brazo derecho extendido controlando la velocidad de giro del carrete con el dedo índice extendido y frenando el carrete.

Se despliega una sola boya por equipo. Si la boya estuviera pinchada o se volcara en la superficie perdiendo aire y por tanto sustentación, utilizaremos la boya del compañero que engancharemos al cabo del carrete por medio del clip y la llenaremos de gas de la misma manera que la primera, inclinando la cabeza y exhalando el gas en el interior por medio del deflector del regulador.

Continuaremos el ascenso recogiendo el hilo en el carrete conforme vayamos ascendiendo. Al alcanzar la parada de 6 metros cambiaremos a oxígeno al 100%. Es en este momento donde la toxicidad por oxígeno es más peligrosa ya que respiraremos la mayor concentración de oxígeno.

Los buceadores de pecios han desarrollado un método alternativo de ascenso usando la boya de descompresión. Al tener los restos del pecio como elemento fijo, colocan un cabo de tres milímetros de grosor alrededor de una parte firme del barco y pasan el carrete por el dejando al otro lado la boya sujeta al cabo del carrete con un mosquetón. Se infla la boya y se manda arriba. El ascenso se realiza desenrollando el carrete que permanece tenso al barco.

Este método permite un ascenso cómodo y seguro sin derivar con la corriente mucha distancia mientras se realiza una descompresión muy larga. Esto es muy importante cuando hay muchos buceadores en un pecio y el barco de apoyo no puede seguir todos los equipos si hacen la descompresión a la deriva.

Interrupciones con aire o "air breaks"

Para controlar la toxicidad por oxígeno se incorporaran los "air Breaks". Estos consisten en respirar la mezcla más baja en concentración de oxígeno para reducir la PpO₂ y retrasar la aparición de síntomas de toxicidad por oxígeno.

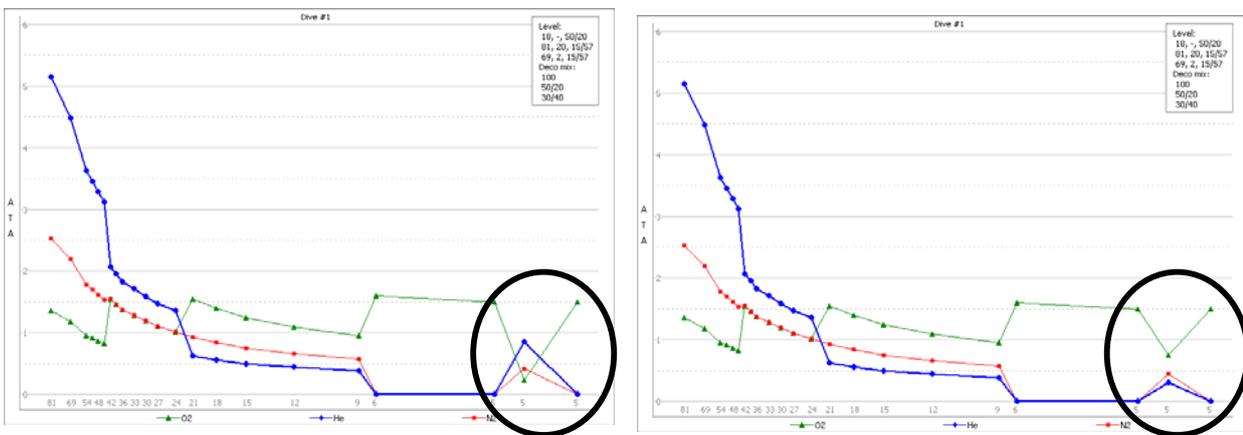
Estas interrupciones se harán cada 20 o 25 minutos por unos 5 minutos. Este tiempo no cuenta para la descompresión.

Algunos buceadores técnicos prefieren intervalos más cortos de 10 o 12 minutos seguidos de 3 a 5 minutos de la mezcla baja en oxígeno. La razón es que se considera que el oxígeno provoca una irritación a nivel pulmonar que aunque no llegue a causar síntomas de toxicidad

limita o afecta el intercambio de gases en los alvéolos afectando por tanto a la descompresión. No es una teoría aceptada universalmente todavía pero tiene lógica y se esta aplicando en la práctica. Lo que si es seguro es no hacerlo a mas de 25 minutos.

Estos "air breaks" pueden incrementar el tiempo de tolerancia al oxígeno a mas del doble que con una exposición continua. Aplicando este método se han realizado buceos extraordinarios con un 23000% de SNC sin síntomas de toxicidad por oxígeno.

En el buceo con trimix en la practica cambiar a la mezcla mas pobre en oxígeno implica la mezcla de fondo que tiene un gran contenido en helio. Este cambio es bueno para el oxígeno pero no muy bueno para la descompresión al aumentar de golpe la presión parcial de He. En general no se han detectado problemas al hacerlo en buceos reales y la presión parcial de he al ser en la parada de 6 o 5 metros no es significativa.



Comparando el grafico de presiones parciales anterior (izquierda) con el nuevo (derecha) vemos las zonas del air break en los círculos donde vemos la línea azul He mostrando un pico. Al hacer el air break con el 50/20 ese pico se reduce y por tanto el posible efecto teórico de contra-difusión isobárica. Sin embargo nuestra presión parcial de O₂ será de 0.75 bares y se considera que la presión parcial del O₂ en un "air break" deberá ser de menos de 0,5 para ser más efectiva. Usaremos mejor la mezcla de fondo o el triox 30/40 aunque disminuya la eficiencia de la descompresión, pero en este caso evitar convulsiones (algo que sería fatal) es más importante que mantener la eficiencia de la descompresión, sobre todo en periodos cortos como es el caso. También recordar que los "air breaks" no cuentan como descompresión por esta razón. Por tanto si observamos estos picos en nuestro gráfico al hacer nuestra planificación no deberemos preocuparnos.

Paradas de seguridad o parada de superficie

Al terminar nuestra descompresión en la última parada ascenderemos a superficie tomando al menos un minuto, (en buceo extremo se asciende los últimos 5 metros a 1 pie o medio metro por minuto) y continuaremos respirando oxígeno en la superficie por al menos 5 minutos a modo de parada de seguridad. No realizaremos ejercicios físicos como nadar al barco o subir a este con el equipo puesto. Permaneceremos en superficie relajados por esos 5 minutos. Y luego procuraremos no hacer ejercicio físico extenuante por unas dos o tres horas.

Algunos buceadores incrementan en 5 minutos la última parada a modo de margen de seguridad. En buceos con aire más cortos y con menos proximidad a los límites de toxicidad por

oxígeno es una práctica aceptable e incluso recomendable. Sin embargo en los buceos con Trimix puede incrementar el riesgo de toxicidad por oxígeno al respirar alta concentración de Oxígeno por más tiempo.

Sustituirla por la parada en superficie respirando oxígeno es una práctica más razonable ya que el riesgo mayor que serían convulsiones no sería tan peligroso al estar ya en superficie.

Procedimientos de Emergencia

Descompresión Omitida

Una parada omitida

Si durante una larga descompresión perdemos el control de la flotabilidad por cualquier razón, y nos saltamos una parada, se considera que si somos capaces de volver a la profundidad de nuestra parada en menos de un minuto podremos continuar nuestra descompresión añadiéndola a la parada el minuto de retraso.

Toda la descompresión omitida

Si omitimos toda una descompresión abarcando varias paradas debemos permanecer calmados.

Si disponemos de un kit de oxígeno y una cámara hiperbárica operativa a menos de 2 o 3 horas la recomendación general es respirar O₂ al 100%, mantenerse hidratado y organizar evacuación o traslado a la cámara hiperbárica.

En casos extremos y lugares muy remotos, donde el traslado a una cámara hiperbárica puede requerir más de 24 horas como ocurre en muchas exploraciones remotas existen procedimientos de recompresión en el agua.

Hay una gran controversia respecto a estos procedimientos y muchos especialistas hiperbáricos los desaconsejan incluso en lugares remotos. En estos casos deberemos usar el sentido común.

También es cierto que estos procedimientos se desarrollaron como necesidad durante los años 70 cuando aumentó el uso de buceadores en Armadas y compañías de buceo profesional en zonas remotas pero sin tener suficientes cámaras hiperbáricas adecuadas para los tratamientos en caso de accidentes. La armada australiana fue uno de esos casos en que durante mucho tiempo tenían solo una instalación hiperbárica para cubrir una extensa zona de práctica de buceo. En esas condiciones se empezaron a idear y usar procedimientos de descompresión en el agua. Estos procedimientos han tenido un éxito considerable, dadas las circunstancias y algunos buceadores técnicos y exploradores ilustres los han utilizado con éxito.

Básicamente hay 3 métodos de recompresión en el agua:

- Royal Navy Británica. Descender en menos de 5 minutos a una profundidad 9 metros mayor que la primera parada de descompresión requerida. Permanecer a esta profundidad por 5 minutos y añadir 10 minutos al tiempo de fondo planificado y realizar la descompresión resultante.
- Marina Americana US Navy. Este es el método más extendido probablemente y consiste en descender en menos de 3 minutos y media a 12 metros, permanecer a 12 metros por un 25% del tiempo de la parada a 3 metros.

Ascender a 9 metros y permanecer 1/3 del tiempo de la parada a 3 metros
Ascender a 6 metros y permanecer 1/2 del tiempo de la parada a 3 metros
Ascender a 3 metros y permanecer 1 vez y media el tiempo de la parada original a 3 metros

Algunas agencias de certificación de buceo técnico utilizan una versión más simplificada de este procedimiento.

Consiste en descender a 12 metros en menos de 3 minutos si es posible y realizar las paradas de 9,6 y 5 o 3 metros extendiéndolas un 50% de su tiempo original. Este método tiene la ventaja de la simplicidad, facilidad para recordarlo y menos requerimiento de gas para la recompresión.

- La Marina Australiana. Probablemente el método más efectivo, pero requiere una gran cantidad de oxígeno y una máscara facial para proteger al paciente de posibles convulsiones.

El método consiste en descender a 9 metros de profundidad y administrar oxígeno al 100% por 30 a 60 minutos según mejoren los síntomas del paciente. Luego se asciende a una velocidad de 12 minutos por metro. El tratamiento requiere de dos a tres horas, y deberemos disponer de suficiente oxígeno para ese tiempo.

Si no se dispone de máscara facial no se debe bajar al paciente a más de 6 metros y entonces se modificara haciendo una parada a 6 metros por 30 minutos, ascender a 5 metros en al menos 12 minutos y hacer una parada por 30 a 60 minutos, y luego ascender a 12 minutos por cada metro.

No es nuestro objetivo acumular demasiada información de poca utilidad en este manual, pero dado que el tema es controvertido consideramos que si se va a realizar esta práctica aunque no recomendada al menos se debe tener toda la información posible.

Los principales inconvenientes de estos procedimientos son que no se pueden hacer en un paciente que esta semi-consciente o demasiado debilitado.

Se requieren grandes cantidades de gas que normalmente no están disponibles tampoco en lugares remotos.

Perdida de gas de descompresión

En general deberemos ser precavidos al dejar las botellas de descompresión en el cabo de descenso o colgando en el barco porque debido a imprevistos podemos no acceder a ellas. Por tanto llevaremos con nosotros las botellas de descompresión que vayamos a necesitar, pero puede ocurrir que alguna de ellas no sea utilizable por cualquier razón.

En buceos técnicos con aire, las descompresiones no son demasiado largas y sería posible en la mayoría de los casos terminar la descompresión con en gas de fondo, aire en este caso. Con trimix, normalmente nos quedará poco gas y al ser trimix con mucho He alargaría tanto nuestra descompresión que no tendríamos suficiente gas para terminarla.

Si el problema es el regulador, podremos intercambiar los reguladores de nuestras botellas de descompresión en el agua. Por ejemplo si me falla la botella de 50% cambiare el regulador por el de la botella de O2 y una vez finalizada mi descompresión volveré a cambiar el regulador a la botella de O2 para completar mi descompresión con O2. Esto no es recomendable pero el regulador funcionará, aunque luego deberíamos llevarlo a una tienda especializada para una

revisión y limpieza. Pero mejor gastar en un kit de reparación de un regulador que en un viaje a la cámara hiperbárica.

Si el cambio de regulador no soluciona el problema, podremos quedarnos respirando de la mezcla de descompresión anterior mientras nuestro compañero termina su descompresión, luego nos pasará su botella y podremos terminar la descompresión. El tiempo que estamos respirando del gas de fondo o el gas de descompresión anterior no lo contamos para la descompresión.

Podremos terminar la descompresión con los gases que tenemos disponibles, cambiando en nuestro ordenador multigas al gas que estemos usando y seguir sus indicaciones.

En nuestra planificación, los programas de descompresión tienen la capacidad de generar planes alternativos en caso de pérdida de gases de descompresión. Se pueden y se deben realizar estos planes para comprobar cuanto se alargaría nuestra descompresión y si tendríamos la capacidad de terminarla con los gases restantes. De esta forma seremos independientes y podremos salir de cualquier situación incluso sin la ayuda del compañero.

Pérdida del compañero

Si durante un buceo técnico perdemos al compañero lo intentaremos localizar en un tiempo razonable, a estas profundidades, tiempo razonable suele ser muy poco. Si no lo conseguimos localizar, iniciaremos el ascenso realizando nuestras paradas de descompresión. Muchas veces la visibilidad en el fondo es muy mala, sobre todo en barcos hundidos y puede ser la causa de perder al compañero, al iniciar el ascenso el agua puede estar mas clara y es posible reencontrarse con el compañero sobre todo si se sigue un solo cabo de ascenso como el cabo del ancla sujeto al pecio.

Regulador en flujo continuo incontrolable.

Si algún regulador entra en flujo continuo incontrolable, nuestra reacción dependerá de cual regulador es.

Regulador largo de los dobles. Está conectado a la válvula derecha por tanto cerraremos esta válvula y cambiaremos al regulador corto y abortaremos la inmersión. Si se produce otro fallo en el regulador corto no podremos respirar ninguna mezcla, ya que las de descompresión no serán respirables en el fondo.

Regulador corto de los dobles. Está conectado a la válvula izquierda. Cerraremos esta válvula y seguiremos respirando del regulador largo. Cancelaremos la inmersión.

Reguladores de descompresión. Las botellas de descompresión deben abrirse para poner presión en el circuito y cerrarse luego para evitar pérdidas accidentales de gas. Por tanto si esto sucede será cuando abramos la válvula para comenzar a respirar esa mezcla.

Si eso pasa, podremos controlar el flujo del regulador simplemente abriendo la válvula un poco para que de gas al regulador, inhalar de él y cerrar de nuevo la válvula mientras exhalamos y así sucesivamente durante las paradas de descompresión de este gas.

Sobrepasar la profundidad máxima o tiempo de fondo máximo planificados

En caso de que nos despistemos (nunca debería suceder) o por alguna razón hayamos descendido mas de nuestra profanidad planificada o permanecido más tiempo que el planificado.

Deberemos llevar una tabla de descompresión de contingencia con dos planes alternativos. Uno que contemple una descompresión para un buceo 3 metros mas profundo del que planeamos y otra que cubra 3 a 5 minutos mas del tiempo de fondo.

Si se da el caso simplemente señalaremos a nuestro compañero el cambio al plan que corresponda y seguiremos el nuevo plan de descompresión.

Si se dispone de un ordenador multigas, podremos seguir las indicaciones del ordenador. Que normalmente nos darán una descompresión mas corta al estar mas ajustada a nuestro perfil real. El hecho de llevar uno o dos ordenadores multigas no evita que tengamos que hacer los dos planes de contingencia descritos igualmente, simplemente para ver si tendremos suficiente gases para realizar la descompresión en caso de cualquiera de las dos contingencias.