

Descompresión en el buceo con mezclas

(Aviso: este documento puede contener errores.)

Jaume Riba

jaume.riba@upc.edu

Actualizaciones del documento disponibles en:

<http://gps-tsc.upc.es/comm/jriba/personal.html>

(ratiodeco_riba_sp.pdf)

Enero de 2009

ÍNDICE

Acrónimos	3
1 Introducción	3
1.1 Historial de cambios	4
2 Mezclas estandarizadas	4
2.1 Gas de fondo.....	4
2.1.1 Criterio general.....	4
2.1.2 Mezclas más usadas	5
2.1.3 Elección de la mezcla de fondo.....	5
2.2 Gas descompresivo.....	6
2.2.1 Criterio general.....	6
2.2.2 Mezclas más usadas	6
2.2.3 Elección de la mezcla descompresiva	7
3 Ratio deco.....	7
3.1 Margen de aplicación	8
3.2 Ratio entre tiempo_deco_O2 y tiempo_fondo	8
3.3 Perfil global de ascenso.....	8
3.4 Perfil local de ascenso	9
3.4.1 Curva lineal (paradas profundas)	9
3.4.2 Curva exponencial (empuje del gradiente).....	10
3.4.3 Curva S (ventana de oxígeno)	12
3.5 Ejemplos comparativos con VPM-B.....	13
4 Elección del conjunto de mezclas	16
4.1 Inmersiones hasta 30m	16
4.2 Inmersiones en el margen de 30m a 51m.....	16
4.3 Inmersiones en el margen de 54m a 72m.....	17
4.4 Inmersiones en el margen de 72m a 90m.....	19
4.5 Procedimiento a seguir en el caso de pérdida de una botella de deco.....	21
5 Apéndices.....	22
5.1 A: Ecuación general de las mezclas estandarizadas.....	22
5.2 B: Preparación sencilla de mezclas estandarizadas.....	22
5.3 C: ¿Por qué escribir este documento?	23

ACRÓNIMOS

ATA	<i>Atmósferas de presión</i>
CNS	<i>Central Nervous System</i>
END	<i>Equivalent Narcotic Depth</i>
GUE	<i>Global Underwater Explorer</i>
ICD	<i>Isobaric Counter Diffusion</i>
MOD	<i>Maximum Operation Depth</i>
NDL	<i>Non Decompression Limit</i>
OTU	<i>Oxygen Tolerance Unit</i>
ppO2	<i>Presión parcial de oxígeno</i>
RD	<i>Ratio Deco</i>
RGBM	<i>Reduced Gradient Bubble Model</i>
VPM	<i>Variable Permeability Model</i>
VPM-B	<i>Variable Permeability Model - Boyle</i>
WKPP	<i>Woodville Karst Plain Project</i>

1 INTRODUCCIÓN

Este documento es un resumen de algunas de las ideas de carácter práctico sobre cómo realizar la descompresión en el buceo en circuito abierto usando varias mezclas. Se basa en distintos artículos y escritos disponibles en internet, de los que se ha filtrado lo esencial para el buceador, suprimiendo los aspectos más teóricos. En especial se habla de las mezclas estandarizadas de Trimix, de la ratio deco, y de algunos aspectos relacionados con la elección de las mezclas de fondo y de descompresión.

También se hacen comparaciones entre la ratio deco y los perfiles de ascenso obtenidos con modelos de ordenador. Para la comparación se ha elegido el algoritmo VPM-B, simplemente por el uso que en el mismo se hace de la ventana de oxígeno en los cambios de mezcla, lo que se asemeja mejor a las curvas S sugeridas por la ratio deco. De todos modos (aunque se han omitido en el documento) los perfiles de ratio deco también son muy similares a los asociados a Bullman fon factores de gradiente 30/85, así como a los asociados al V-planner con factor de conservadurismo de +2.

El documento está basado en su mayor parte en las siguientes fuentes:

http://5thd-x.com/index.php?option=com_wrapper&Itemid=64

<http://aquaxtrem.org/actividades/Articulos/pdf/Deco-por-ratios.pdf> (una traducción literal al español del artículo original anterior, aunque no actualizada)

<http://www.gue.com/>

<http://www.5thd-x.com/>

<http://www.geocities.com/vpm.open/contact.html>

<http://www.thedecostop.com/forums/showthread.php?t=3198>

WIKIPEDIA http://en.wikipedia.org/wiki/Ratio_decompression

Esta lista no pretende ser completa, y el documento contiene también (inevitablemente) información de otras fuentes de internet, libros y personas, además de ser deliberadamente incompleto como todo escrito vivo. Para más información sobre las motivaciones, ver el apéndice C.

1.1 HISTORIAL DE CAMBIOS

- V01-04 con respecto a V1-00. Corrección de 1.4ATA a 1.3ATA de las ppO₂ en las mezclas estandarizadas de fondo. Correcciones ortográficas y de estilo.
- V02-00 con respecto a V1-04. Enriquecimiento del texto a partir de observaciones de buceadores técnicos reconocidos en www.forobuceo.com y www.thedecostop.com. Pequeños cambios en el apéndice A. Correcciones ortográficas y de estilo.
- V03-00. Incorpora un apéndice sobre la preparación sencilla de mezclas estandarizadas. Correcciones menores. Corrección en los ratios 1 (de 66m a 60m) y 1.2 (de 81m a 75m). También es la primera versión traducida de español a inglés (también disponible en <http://gps-tsc.upc.es/comm/jriba/personal.html>).
- V03-01. Advertencia añadida en el ultimo ejemplo de la sección 3.5 acerca de la mezcla 15\55, gracias a <http://www.h2o.org.il/Forum/viewtopic.php?t=144>. Referencia a WIKIPEDIA añadida.

2 MEZCLAS ESTANDARIZADAS

GUE y WKPP proponen unas mezclas concretas para gas de fondo y para descompresión. A continuación se explican brevemente cuáles son estas mezclas, y se explican además algunos criterios con los que han sido diseñadas.

2.1 GAS DE FONDO

2.1.1 Criterio general

Las mezclas para el gas de fondo están calculadas imponiendo que:

- La ppO₂ es menor de 1.3 ATA a la MOD.
- La ppO₂ es de un promedio de 1.2ATA a las profundidades de trabajo.
- La END es de unos 30m. Esto significa que, estando a la MOD, la sensación de narcosis es la que se produciría usando aire a 30m, y ello se calcula suponiendo que el oxígeno es tan narcótico como el nitrógeno. Es interesante el hecho que, al haber fijado la

profundidad equivalente de narcosis, las mezclas estandarizadas tienen además la particularidad de que pueden obtenerse simplemente mezclando helio puro con Nitrox 32%, puesto que la MOD del Nitrox 32% es precisamente de 30m (para una ppO₂ de 1.3ATA).

Por ejemplo, la mezcla estandarizada para una profundidad de 52m es la 21\35, lo que significa que hay un 21% de oxígeno y un 35% de helio. El porcentaje de nitrógeno de esta mezcla es de 44% y el porcentaje global de nitrógeno y oxígeno es de 65%. La profundidad máxima para 1.3ATA de ppO₂ es efectivamente de $10 \cdot (1.3/0.21) - 10 = 51.9\text{m}$, y esta profundidad equivale a una END de $(51.9 + 10) \cdot 0.65 - 10 = 30.2\text{m}$ (aproximadamente los 30m mencionados antes).

Con este criterio puede establecerse una relación general útil y sencilla entre los porcentajes de oxígeno (O₂) y helio (He) en la mezcla, tales que la END a la MOD sea siempre la misma, es decir, END=30m. Esta relación general es (ver apéndice A):

$$He = 100 - 3O_2$$

que es muy simple y fácil de recordar. Por ejemplo, si el contenido de oxígeno es del 8%, el contenido adecuado de helio debería ser del 76% ($100 - 3 \cdot 8$) y la mezcla obtenida sería la 8\76. No es una mezcla estándar pero tiene asociada la misma END de 30m. Otra posible mezcla sería la 5\85, etc. Una que sí es estándar es, por ejemplo, la 10\70. Si nos restringimos a las mezclas que cumplan una ecuación como la relación anterior, el proceso de preparación de la mezcla se simplifica mucho, tal como se describe en el apéndice B.

2.1.2 Mezclas más usadas

La ecuación anterior es la que caracteriza (aproximadamente) a todas las mezclas estandarizadas. De las que guardan esta relación, las más usadas son las mostradas a continuación.

Mezcla	Prof. a distintas ppO ₂ :		
	1.2ATA	1.3ATA	1.4ATA
21\35	47m	52m	57m
18\45	57m	62m	67m
15\55	70m	77m	83m
12\65 (*)	90m	98m	106m
10\70	110m	120m	130m

(*) No siempre listada como estandarizada.

2.1.3 Elección de la mezcla de fondo

La elección de la mezcla de fondo se hace en función de la ppO₂ media del fondo, que no debe ser más alta de 1.2ATA (y menor de 1.3ATA a la MOD) para controlar los efectos de toxicidad del O₂, ni tampoco demasiado baja para que no crezcan demasiado los tiempos de descompresión.

2.2 GAS DESCOMPRESIVO

2.2.1 Criterio general

Las mezclas para el gas de descompresión están calculadas imponiendo que:

- La ppO_2 es de 1.6ATA a la MOD.
- La ppO_2 es de un promedio de 1.2ATA a las profundidades de trabajo de la mezcla (excepto para el O_2 que es constante de 1.6ATA).

El buceador las usará en el ascenso en el momento de alcanzar la MOD de la mezcla si se encuentra relajado. En caso contrario, en condiciones de elevado esfuerzo físico, el uso de la mezcla se iniciará unos metros más arriba de la MOD.

2.2.2 Mezclas más usadas

- O_2 100% a 6m
- Nitrox 50% (de 21m a 9m)
- Triox (*) 35\25 (de 36m a 24m)
- Trimix 21\35 (de 57m a 39m)

(*) El triox (también denominado helitrox) no es más que un Trimix con un contenido de oxígeno superior al 21% (Trimix hiperóxico).

2.2.2.1 Consideraciones sobre el helio en la descompresión

En las mezclas estandarizadas, el porcentaje de helio se considera que es un mínimo, lo que significa que pueden usarse también otras mezclas como la 50\25, 35\30, etc, e incluso el Heliox (es decir, una mezcla formada sólo por oxígeno y helio). El uso del helio en mezclas descompresivas puede aumentar (según haya sido el tiempo y profundidad del fondo) la eficiencia de la descompresión y reduce los posibles impactos de la narcosis así como (posiblemente) de la contradifusión isobárica (ICD) en el momento de hacer el cambio. En general, estos dos efectos se evitan impidiendo que el porcentaje de nitrógeno al realizar el cambio de mezcla se incremente de modo brusco. En este sentido existen cambios de mezcla desaconsejados, como por ejemplo pasar de Trimix a aire a los 57m o pasar al Nitrox 50% a los 21m viniendo de un Trimix muy rico en helio.

2.2.2.2 Consideraciones sobre el oxígeno puro en la descompresión (“gas breaks”)

En cuanto al oxígeno, cuando el tiempo de descompresión requerido con este gas supera los 20min, deben realizarse pausas usando el gas de fondo (en general con el gas disponible con mínimo contenido de oxígeno) según la siguiente pauta: 16min de O_2 seguidos de 6min de parada con el otro gas y así sucesivamente hasta terminar con el tiempo total de descompresión, teniendo en cuenta que el tiempo en el que se está respirando el otro gas se contabiliza también en el tiempo total. Está aceptado que esta técnica (conocida como “gas breaks”) reduce significativamente los peligros de la toxicidad. Además, el uso de O_2 a 6m durante demasiado tiempo provoca vasoconstricción que hace que la eliminación de gas sea ineficiente, y también provoca irritación en las mucosas de los pulmones, la cual reduce su eficiencia como filtro. Los

“gas breaks” logran atenuar estos dos efectos, y ello hace que respirar esos 6min con el gas de fondo sea mucho más efectivo para la descompresión que respirar O₂ puro todo el rato. Por esta razón, el tiempo respirando el otro gas se contabiliza como tiempo de O₂. Una vez finalizado el tiempo con O₂ a los 6m es necesario realizar un ascenso muy lento hasta la superficie.

En este sentido, cabe mencionar que algunos buceadores técnicos proponen dedicar un tercio del tiempo total de descompresión con O₂ a las cotas entre 4.5m y 1.5m, apelando a la ventaja de reducir la carga de O₂ en el sistema nervioso (CNS) además de asegurar un ascenso suficientemente lento hasta la superficie. Otros buceadores, por el contrario, afirman que los “gas breaks” son mucho más efectivos y que las CNS es mejor controlarlas bajando el contenido de O₂ en la mezcla de fondo y subiendo el de He.

2.2.3 Elección de la mezcla descompresiva

La elección de la mezcla, así como el número de botellas de descompresión requerido (básicamente de una, dos o tres, y excepcionalmente cuatro), depende tanto de la eficiencia deseada en la descompresión, como de la redundancia y cantidad de gas deseado, así como de la ligereza global del equipo. No obstante es muy aceptado que la mezcla usada para terminar la descompresión debe ser el O₂ a 6m, aunque hay alguna excepción. Este aspecto se explica con ejemplos en la última sección.

3 RATIO DECO

La ratio deco es un procedimiento sencillo para calcular el perfil de ascenso adecuado usando mezclas estandarizadas, a partir básicamente de la profundidad y el tiempo de fondo. Se utiliza para planificar inmersiones así como para calcular la descompresión durante el desarrollo de la inmersión (por este motivo se la denomina también “deco on the fly”). Es útil para realizar inmersiones sin ordenador y también como redundancia en el caso de fallo de éste durante la inmersión. Algunos buceadores usan la ratio deco como base, y consideran el ordenador como el elemento de redundancia. Asimismo, da indicaciones generales sobre las curvas más adecuadas a seguir durante el ascenso (aspecto ignorado por la mayoría de los ordenadores de buceo) que están muy en línea con las recientes investigaciones en teoría de descompresión (VPM-B y RGBM). Ello incluye los modelos que caracterizan aspectos importantes del comportamiento del gas en su fase libre (burbujas), además de la fase disuelta contemplada por los algoritmos clásicos (Bulhman con factores de gradiente).

Cabe mencionar que la ratio deco se desarrolla a partir de la identificación de patrones y fases de ascenso generados a partir de algoritmos de descompresión usando simulaciones con ordenador, y también a partir de la observación y comprensión de cómo los parámetros de estos patrones se modifican al variar el perfil de la inmersión (profundidad, tiempo de fondo, alargamiento de paradas, etc.). Para identificar estos patrones con mayor claridad suele ser útil (si el programa lo permite) reducir al mínimo la separación entre las paradas de descompresión que éste genera (3m o menos entre cotas), así como forzar la última parada con O₂ por encima de los 6m (por ejemplo para comprender si la parada a 6m que genera el algoritmo es de tipo gradiente de gas disuelto o de gas libre [ventana de oxígeno]) y poder de este modo aprender a gestionar mejor las CNS dentro del agua, si lo considerara adecuado. Por otra parte, la elección del modelo queda en

última instancia en manos del propio buceador, basándose en su propia experiencia y percepción de seguridad y confort que le proporcione dicho modelo. Por tanto las reglas que siguen a continuación son reglas de base que el propio buceador puede ir cambiando, adaptando y sofisticando según sus propias experiencias, necesidades y tipos de inmersión.

3.1 MARGEN DE APLICACIÓN

La ratio deco descrita en este documento es válida para inmersiones a una profundidad máxima de 120m con mezclas estandarizadas y que requieran un tiempo de descompresión con oxígeno puro de cómo máximo 70min. El método no resulta válido si se extrapola por encima de estos márgenes.

3.2 RATIO ENTRE TIEMPO_DECO_O2 Y TIEMPO_FONDO

Se establece una relación fija (para una determinada profundidad de fondo) entre el tiempo de descompresión requerido con O2 a los 6m y el tiempo de fondo de la inmersión. Este ratio depende de la profundidad media de fondo del siguiente modo:

Profundidad	[Tiempo de O2]
45m	0.5 * tiempo de fondo
60m	1 * tiempo de fondo
75m	1.2 * tiempo de fondo
90m	1.5 * tiempo de fondo
105m	2.2 * tiempo de fondo
120m	3 * tiempo de fondo

La regla anterior puede interpolarse para otras profundidades. Así por ejemplo para 55m de profundidad puede ser adecuado tomar la relación 2/3 entre el tiempo de O2 y el tiempo de fondo.

3.3 PERFIL GLOBAL DE ASCENSO

Una vez determinado el tiempo de descompresión con O2 a 6m según la tabla anterior, la ratio deco establece un criterio sencillo con el que queda determinado todo el perfil global a seguir durante el ascenso. Para ello se establecen distintos intervalos de profundidades y a cada intervalo se le asigna un tiempo de permanencia en el mismo. La forma de definir los intervalos y la asignación de tiempos es la siguiente:

Intervalo 1: 6m (O2):	Tiempo total = [Tiempo de O2]
Intervalo 2: 21m a 9m (Nitrox 50):	Tiempo total = [Tiempo de O2]
Intervalo 3: 36m a 24m:	Tiempo total = [Tiempo de O2] / 2
Intervalo 4: 57m a 39m:	Tiempo total = [Tiempo de O2] / 4

donde [Tiempo de O2] es el determinado en la sección anterior. A profundidades mayores, se respetará la velocidad de ascenso máxima de 9m/min a partir del fondo, y se reducirá esta velocidad en el momento de iniciar la primera fase descompresiva.

3.4 PERFIL LOCAL DE ASCENSO

El modo de realizar el ascenso dentro de cada uno de los intervalos mencionados depende básicamente de la fracción parcial del oxígeno de la mezcla y de la profundidad.

3.4.1 Curva lineal (paradas profundas)

Para determinar el perfil a seguir al iniciar el ascenso, es necesario antes definir los conceptos de profundidad de inicio de la descompresión y profundidad máxima de parada:

- *Profundidad de inicio de la descompresión.* Es la profundidad en la que el cuerpo empieza a liberar gas a mayor velocidad que la de entrada. No tiene sentido realizar paradas profundas a mayor profundidad. Existen varios criterios para determinar esta profundidad siendo los siguientes los más habituales (y bastante equivalentes entre sí en el margen de aplicación):
 - Se corresponde aproximadamente con el 80% de la máxima profundidad.
 - Se corresponde aproximadamente con la profundidad que está a 20m por encima del fondo (reducción de presión ambiental de 2ATA).
- *Profundidad máxima de parada.* Es la profundidad en la que realizar una parada profunda empieza a ser eficiente y está normalmente algo por encima de la profundidad de inicio de la descompresión. Existen varios criterios para determinar esta profundidad siendo los siguientes los más habituales (y bastante equivalentes entre sí en el margen de aplicación):
 - Se corresponde aproximadamente con un porcentaje de la profundidad máxima que oscila entre el 75% y el 50%, siendo 65% un valor muy típico.
 - Se corresponde aproximadamente con la profundidad que está a 30m por encima del fondo (reducción de presión ambiental de 3ATA).

Esta descompresión inicial está controlada por los compartimentos rápidos y físicamente es necesaria para dar tiempo a que la sangre transporte las burbujas a los pulmones para su correcta eliminación. Deben ser paradas cortas para ser efectivas, de modo que no hagan aumentar el tiempo de descompresión posterior en paradas más superficiales. Como que la profundidad es elevada, el crecimiento de las burbujas es muy lineal con respecto a la disminución de profundidad, por lo que en estas primeras etapas de la descompresión se requiere que el buceador realice una curva lineal de ascenso.

Los primeros metros de ascenso hasta la profundidad de inicio de la descompresión pueden hacerse a la máxima velocidad de ascenso permitida (por ejemplo, 9m/min). Al llegar a esta cota, debe reducirse la velocidad de ascenso sustancialmente (por ejemplo, 3m/min) hasta llegar a la profundidad máxima de parada, donde tiene lugar la primera parada. A partir de esta parada, empieza una serie de paradas cada 3m de igual duración (curva lineal).

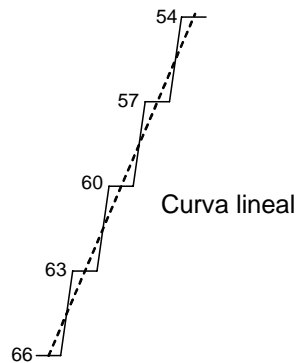
Según qué porcentaje con respecto a la máxima profundidad se haya usado para calcular esta primera parada profunda, el tiempo de estas paradas iniciales diferirá, siendo corto si se ha tomado el 75% y más largo si se ha tomado el 50%. La duración de estas paradas se muestra en la siguiente tabla:

Tiempo de fondo	Tiempo de las paradas asociado a los porcentajes 75% / 50%
< NDL	0min / 1min
30min	1min / 3min
60min	2min / 5min
90min	3min / 7min
120min	4min / 9min
150min	5min / 10min

Para tiempos de fondo cortos (menos de 30min) el tiempo mínimo de parada es de 20seg (equivalentes a un ascenso de 9m/min) y para tiempos de fondo muy largos (más de 150min) se puede considerar que es una inmersión a saturación, con lo que los tiempos de parada siguen siendo los asociados a 150min.

Por ejemplo, en una inmersión a 90m, la parada más profunda es de unos 66m (tomando un criterio el 75%), y si la descompresión total a realizar está entre 30min y 60min, será adecuado realizar el siguiente perfil inicial:

Profundidad	T. Parada
90m-72m (80%)	Velocidad de ascenso máxima (9m/min)
72m-66m (75%)	Velocidad de ascenso reducida (3m/min)
66 m	1 min
63 m	1 min
60 m	1 min
57 m	1 min
54 m	1 min



donde puede apreciarse claramente la curva resultante en forma lineal en estas paradas profundas iniciales del ascenso. Algunos buceadores ejecutan la curva lineal también mediante una velocidad de ascenso constante muy lenta equivalente.

Por último, se hace notar que estas paradas profundas sólo tienen sentido si se utilizan mezclas estandarizadas, y que no son eficientes si se bucea con aire, donde la descompresión útil empieza siempre bastante más arriba que con helio (típicamente en los 18m o 15m).

3.4.2 Curva exponencial (empuje del gradiente)

Si no hay cambio de gas y, por tanto, la presión parcial de oxígeno es baja (profundidades intermedias), entonces el ascenso tiene que ser de tipo exponencial, lo que significa que, progresivamente, las paradas deben ir aumentando en duración cada 3m.

Un modo sencillo de obtener este perfil consiste en calcular el tiempo de parada a la profundidad central del intervalo como el tiempo global dividido por el número de paradas a realizar. A partir de este tiempo, se calculan las paradas sucesivamente más profundas dividiéndolo por dos cada 3m hacia abajo (redondeando por exceso) y después calculando la duración de las paradas menos profundas sumando al tiempo medio, el tiempo que se ha ido eliminando en las paradas más profundas.

Veámoslo con un ejemplo. Supongamos que estamos en el intervalo de 36m a 24m, para el que hemos calculado un tiempo total de permanencia de 15min. En este intervalo, el número de paradas es de $(36-24)/3+1=5$, correspondientes a las profundidades de 36m, 33m, 30m, 27m y 24m. La profundidad media del intervalo es de 30m. Para esta profundidad, el tiempo de parada se calcula como $15\text{min}/5=3\text{min}$, y los demás tiempos son:

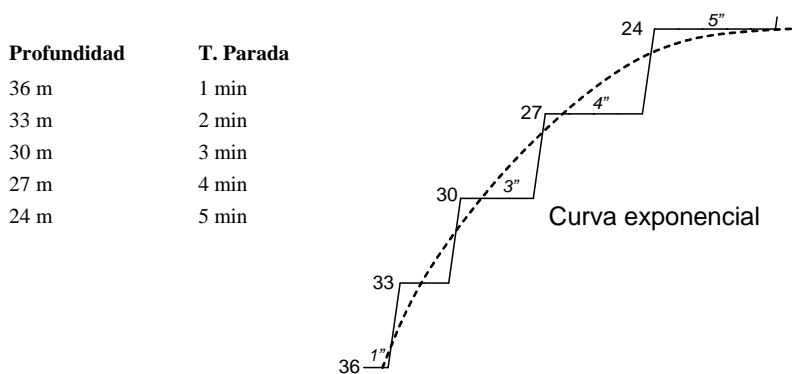
Tiempo a 33m = tiempo a 30m / 2 = $3/2 < 2\text{min}$ (hemos eliminado 1min al tiempo medio)

Tiempo a 36m = tiempo a 33m / 2 = $2/2 = 1\text{min}$ (hemos eliminado 2min al tiempo medio)

Tiempo a 27m = tiempo a 30m + tiempo eliminado a la parada de 33m = $3+1 = 4\text{min}$

Tiempo a 24m = tiempo a 30m + tiempo eliminado a la parada de 36m = $3+2 = 5\text{min}$

El perfil de ascenso dentro del intervalo quedaría del siguiente modo:



donde puede apreciarse claramente la curva resultante en forma exponencial.

De todos modos, el cálculo exacto no es lo esencial, sino que lo eficiente es seguir aproximadamente un cierto perfil exponencial aumentando progresivamente el tiempo de parada a medida que se asciende, respetando el tiempo total asignado al intervalo en su conjunto. Forzando este perfil exponencial se está actuando del modo más eficiente con el gradiente que controla la salida de gas disuelto en los tejidos. Cuanto más arriba, más fuerza ejerce este gradiente y más tiempo hay que dar para permitir la salida de gas lo suficiente como para que el propio gradiente no se incremente de forma excesiva. En los modelos Bulhman con factores de gradiente, el factor de gradiente bajo (“low gradient factor”) es el que acaba forzando este perfil exponencial de ascenso, así como la primera parada profunda a realizar, siendo el “high gradient factor” el que controla la duración de las paradas más superficiales.

Cuando la presión parcial del oxígeno es baja, el gradiente del gas disuelto es el único mecanismo que controla la eliminación de gas. Esto no es así cuando la presión parcial del oxígeno es elevada, siendo entonces conveniente cambiar la forma del perfil de ascenso con el objetivo de beneficiarse de la ventana de oxígeno y controlar mejor el gradiente del gas libre (burbujas). Esto es lo que se explica a continuación.

3.4.3 Curva S (ventana de oxígeno)

Durante el ascenso, en el momento de hacer un cambio a un gas más enriquecido, la presión parcial de oxígeno pasa de golpe a 1.6ATA, suponiendo que el cambio se ha realizado en el momento adecuado (aunque se aconseja llegar a este valor en condiciones de suficiente relajación muscular). En este momento, la descompresión se está realizando de un modo muy eficiente puesto que el exceso de ppO_2 juega ahora a favor del proceso. Esto es así puesto que el mecanismo de salida de gas en forma ya gaseosa (pequeñas burbujas ya creadas en el buceador) es distinto que el mecanismo de gradiente del gas disuelto que actúa al ir perdiendo cota, explicado anteriormente. Interesa mantener la cota un buen rato para presionar lo suficiente las burbujas que, siendo pequeñas, son más fáciles de disolver precisamente en este momento, en lugar de seguir subiendo y que se hagan más grandes y por tanto más difícil de eliminar a cotas más altas.

La consecuencia práctica para el buceador es que, cuando actúa la ventana de oxígeno (ppO_2 elevadas) debe permanecer a esa cota más tiempo del que debería estar si estuviera ascendiendo sin realizar ningún cambio de gas. Por tanto, los intervalos de ascenso que se inician con un cambio de gas (como por ejemplo al cambiar a Nitrox 50% a los 21m o al cambiar a Triox 35\25 o 35\30 a 36m) deben iniciarse con una parada más prolongada de lo normal y luego seguir progresivamente con el ascenso. Al ir perdiendo presión parcial de oxígeno con el ascenso, vuelve a actuar cada vez más (y únicamente) el mecanismo de gradiente de gas disuelto de nuevo, y por tanto vuelve a ser necesario realizar un ascenso exponencial.

La consecuencia es que, en conjunto, la forma de ascenso en los intervalos que se inician con un cambio a mezcla descompresiva (ppO_2 de 1.6ATA) deben seguir una forma como una S (más que exponencial) lo que se traduce en paradas que empiezan largas, se van haciendo más cortas por el medio del intervalo, y vuelven a hacerse progresivamente más largas al llegar a las cotas más altas del intervalo.

Un modo sencillo de obtener este perfil consiste en calcular el tiempo de parada a la profundidad mínima del intervalo como el tiempo global dividido por el número de paradas a realizar. A partir de este tiempo, se calculan las paradas sucesivamente más profundas dividiéndolo por dos cada 3m hacia abajo (redondeando por exceso) hasta llegar al centro del intervalo, y después se calcula la duración de las paradas más profundas sumando al tiempo medio, el tiempo que se ha ido eliminando en las paradas anteriores.

Veámoslo con un ejemplo. Supongamos que estamos en el intervalo de 36m a 24m, para el que hemos calculado un tiempo total de permanencia de 15min, y que al llegar a 36m iniciamos el uso de una mezcla descompresiva (como, por ejemplo, el Triox 35\25). En este intervalo, el

número de paradas es de $(36-24)/3+1=5$, correspondientes a las profundidades de 36m, 33m, 30m, 27m y 24m. La profundidad media del intervalo es de 30m. Para la profundidad mínima de 24m, el tiempo de parada se calcula como $15\text{min}/5=3\text{min}$, y los demás tiempos se obtienen del siguiente modo:

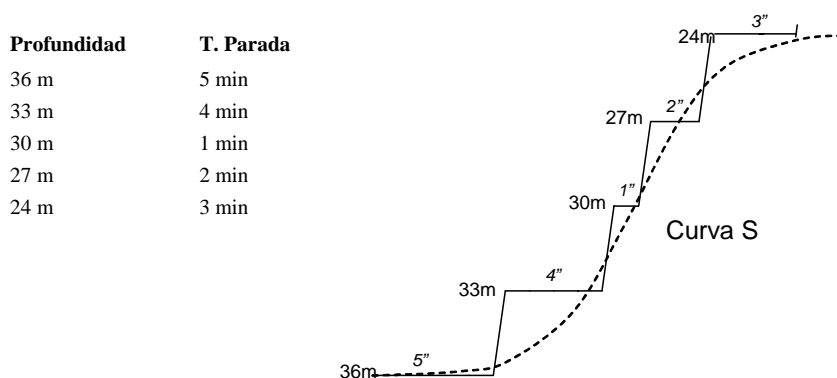
Tiempo a 27m = tiempo a 24m / 2 = $3/2 < 2\text{min}$ (hemos eliminado 1min al tiempo medio)

Tiempo a 30m = tiempo a 27m / 2 = $2/2 = 1\text{min}$ (hemos eliminado 2min al tiempo medio)

Tiempo a 33m = tiempo a 24m + tiempo eliminado a la parada de 27m = $3+1 = 4\text{min}$

Tiempo a 36m = tiempo a 24m + tiempo eliminado a la parada de 30m = $3+2 = 5\text{min}$

El perfil de ascenso dentro del intervalo quedaría del siguiente modo:



donde puede apreciarse claramente la curva resultante en forma de S.

Sin embargo, no es aconsejable superar la relación 1:4 entre el mínimo y el máximo tiempo de parada, con lo que un perfil más conveniente sería el siguiente:

Profundidad	T. Parada
36 m	4 min
33 m	4 min
30 m	2 min
27 m	2 min
24 m	3 min

perfil que conserva suficientemente la forma de S.

Por último, en la realización de la curva S con un Nitrox 50%, suele aceptarse que si por algún motivo se alargan las paradas iniciales más de lo previsto en el transcurso de la inmersión, los minutos de más deben también sumarse a las últimas paradas, como si se tratara de un espejo.

3.5 EJEMPLOS COMPARATIVOS CON VPM-B

Veamos tres ejemplos a profundidades de 45m, 66m y 90m, respectivamente. En cada ejemplo se muestran las paradas aplicando la ratio deco y, entre paréntesis, el resultado que proporciona el algoritmo VPM-B con factor de conservadurismo de 1 (siendo 0 el menos conservativo y 6 el más conservativo).

1) Supongamos una inmersión a 45m con un tiempo de fondo de 40min. La descompresión con ratio deco se inicia a la profundidad de 33m (75% de 45m). El tiempo de O2 es de 20min (la mitad del tiempo de fondo) y el tiempo de Nitrox 50% es también de 20min. Dividiendo estos 20min en 5 paradas a 21m, 18m, 15m, 12m y 9m resulta un tiempo medio de parada de $20/5=4$ min. Como a 21m se produce el cambio a Nitrox 50% y la ppO2 es elevada, resulta conveniente repartir esos 20min usando una curva S, por ejemplo de modo 4min, 2min, 2min, 5min, 7min (de mayor a menor profundidad). Finalmente, a partir de 33m a 24m, realizamos 4 paradas de 2min con curva lineal (quizás algo exponencial), que dan casi los 10min que correspondería a ese margen.

En resumen, el perfil de ascenso quedaría del siguiente modo:

Profundidad	T. Parada (RD)	T. Parada (VPM-B)	Mezcla
45 m	40 min	40 min	Tx21/35
33 m	1 min	(9 m / min)	Tx21/35
30 m	2 min	(9 m / min)	Tx21/35
27 m	2 min	(9 m / min)	Tx21/35
24 m	2 min	1 min	Tx21/35
21 m	4 min	3 min	Nx50
18 m	2 min	1 min	Nx50
15 m	2 min	2 min	Nx50
12 m	5 min	4 min	Nx50
9 m	7 min	6 min	Nx50
6 m	20 min	20 min	O2

2) Supongamos una inmersión a 66m con un tiempo de fondo de 30min. La descompresión con ratio deco se inicia a la profundidad de 48m (75% de 66m). El tiempo de O2 es de 30min (el mismo que el de fondo) y el tiempo de Nitrox 50% es también de 30min. Dividiendo estos 30min en 5 paradas a 21m, 18m, 15m, 12m y 9m resulta un tiempo medio de parada de $30/5=6$ min. Como a 21m se produce el cambio a Nitrox 50% y la ppO2 es elevada, resulta conveniente repartir esos 30min usando una curva S, por ejemplo de modo 6min, 3min, 2min, 9min, 10min (de mayor a menor profundidad). En el margen de 36m a 24m tenemos un tiempo total de 15min (la mitad del tiempo de Nitrox 50%) a repartir en 5 tramos de forma exponencial. El tiempo medio de parada es de $15/5=3$ min y el perfil sería 1min, 2min, 3min, 4min, 5min (de mayor a menor profundidad). Finalmente, de 48m a 39m aplicaría una curva lineal a 1min cada 3m.

En resumen, el perfil de ascenso quedaría del siguiente modo:

Profundidad	T. Parada (RD)	T. Parada (VPM-B)	Mezcla
66 m	30 min	30 min	Tx18/45
48 m	1 min	(9 m / min)	Tx18/45
45 m	1 min	(9 m / min)	Tx18/45
42 m	1 min	1 min	Tx18/45
39 m	1 min	1 min	Tx18/45
36 m	1 min	1 min	Tx18/45
33 m	2 min	2 min	Tx18/45
30 m	3 min	3 min	Tx18/45
27 m	4 min	3 min	Tx18/45
24 m	5 min	4 min	Tx18/45

21 m	6 min	3 min	Nx50
18 m	3 min	3 min	Nx50
15 m	2 min	4 min	Nx50
12 m	9 min	6 min	Nx50
9 m	10 min	8 min	Nx50
6 m	30 min	29 min	O2

3) Supongamos una inmersión a 90m con un tiempo de fondo de 20min. La descompresión con ratio deco se inicia a la profundidad de 66m (75% de 90m). El tiempo de O2 es de 30min (1.5 veces el de fondo) y el tiempo de Nitrox 50% es también de 30min. Dividiendo estos 30min en 5 paradas a 21m, 18m, 15m, 12m y 9m resulta un tiempo medio de parada de $30/5=6$ min. Como a 21m se produce el cambio a Nitrox 50% y la ppO2 es elevada, resulta conveniente repartir esos 30min usando una curva S, por ejemplo de modo 6min, 4min, 2min, 8min, 10min (de mayor a menor profundidad). En el margen de 36m a 24m tenemos un tiempo total de 15min (la mitad del tiempo de Nitrox 50%) a repartir en 5 tramos, ahora también con curva S puesto que a 36m se realiza el cambio al Triox 35\30, con elevada presión parcial de O2. El tiempo medio de parada es de $15/5=3$ min y el perfil sería, por ejemplo, 3min, 2min, 1min, 4min, 5min (de mayor a menor profundidad). De 57m a 39m le corresponde un tiempo de 7 min (la mitad del tiempo anterior) lo que da 1min por cada 3m aplicando una curva lineal, pudiéndola hacer algo exponencial al llegar al final del tramo (2min en lugar de 1min a los 39m). Por debajo de esta profundidad, tendríamos 1min cada 3m hasta los 66m o 63m.

En resumen, el perfil de ascenso quedaría del siguiente modo:

Profundidad	T. Parada (RD)	T. Parada (VPM-B)	Mezcla
90 m	20 min	20 min	Tx15/55
66 m	(9 m / min)	(9 m / min)	Tx15/55
63 m	1 min	(9 m / min)	Tx15/55
60 m	1 min	1 min	Tx15/55
57 m	1 min	1 min	Tx15/55
54 m	1 min	1 min	Tx15/55
51 m	1 min	1 min	Tx15/55
48 m	1 min	1 min	Tx15/55
45 m	1 min	1 min	Tx15/55
42 m	1 min	2 min	Tx15/55
39 m	2 min	2 min	Tx15/55
36 m	3 min	3 min	Tx35/30
33 m	2 min	1 min	Tx35/30
30 m	1 min	1 min	Tx35/30
27 m	4 min	3 min	Tx35/30
24 m	5 min	3 min	Tx35/30
21 m	6 min	3 min	Nx50
18 m	4 min	3 min	Nx50
15 m	2 min	5 min	Nx50
12 m	8 min	6 min	Nx50
9 m	10 min	10 min	Nx50
6 m	30 min	31 min	O2

Advertencia: De acuerdo con las reglas explicadas, una mejor elección para este ejemplo hubiera sido Tx12\65 (en lugar de Tx15\55) como mezcla de fondo, con lo que este ejemplo debe tomarse solo como ilustración.

4 ELECCIÓN DEL CONJUNTO DE MEZCLAS

4.1 INMERSIONES HASTA 30M

Inmersiones cortas

Si el tiempo de fondo requiere menos de 20min de descompresión con el gas de fondo, no es imprescindible llevar botellas de descompresión.

- Gas de fondo
- Sin botellas de deco.

Inmersiones largas

Si el tiempo de fondo requiere 20min o más de descompresión con el gas de fondo, conviene llevar una botella de O₂ para su uso a 6m.

- Gas de fondo (del fondo a 9m)
- 1 botella de deco:
 - O₂ (6m).

4.2 INMERSIONES EN EL MARGEN DE 30M A 51M

Inmersiones cortas

Si el tiempo de fondo requiere menos de 30min de descompresión con Nitrox 50%, basta con llevar una sola botella de descompresión con Nitrox 50% para su uso a partir de 21m hasta la superficie. Esto ocurre aproximadamente en las siguientes situaciones (suponiendo 21\35 y VPM-B):

Profundidad	Tiempo máximo de fondo
30m	55min
36m	41min
42m	30min
48m	27min
51m	24min

- Gas de fondo (del fondo a 24m)
- 1 botella de deco:
 - Nitrox 50% (de 21m a 3m).

Ejemplo (VPM-B). Inmersión a 51m de 15min de fondo con Trimix 21\35, que requiere un tiempo total de deco con el Nitrox 50% de 17min. Se compara con el perfil necesario usando O₂ en lugar de Nitrox 50%, pudiendo ver cómo se incrementa el tiempo de deco. También se compara con el perfil requerido con dos botellas de deco (Nitrox 50% y O₂), pudiendo ver cómo el ahorro en tiempo de deco no compensa el tener que llevar una botella adicional.

51 m	15 min (Tx21/35)	15 min (Tx21/35)	15 min (Tx21/35)
21 m	3 min (Nx50)	1 min (Tx21/35)	3 min (Nx50)
18 m	1 min (Nx50)	2 min (Tx21/35)	1 min (Nx50)
15 m	1 min (Nx50)	1 min (Tx21/35)	1 min (Nx50)
12 m	1 min (Nx50)	3 min (Tx21/35)	1 min (Nx50)
9 m	1 min (Nx50)	5 min (Tx21/35)	1 min (Nx50)
6 m	3 min (Nx50)	9 min (O ₂)	7 min (O ₂)
3 m	7 min (Nx50)	-	-

Total: 35 min 39 min 32 min

Es importante hacer notar que esta configuración con gas de fondo y Nitrox 50% como único gas descompresivo no tiene sentido si se utiliza aire como gas de fondo (en lugar de Trimix). En estas condiciones, al pasar al Nitrox 50%, la descompresión no es eficiente pues queda aún mucho nitrógeno del gas de fondo por eliminar, lo cual no empezará a suceder hasta alcanzar cotas más superficiales. Es sólo con el uso del Trimix de gas de fondo cuando el Nitrox 50% se convierte en una mezcla descompresiva única eficiente.

Inmersiones largas

Si el tiempo de fondo requiere 30min o más de descompresión si se usara sólo Nitrox 50% (tiempos de fondo mayores a los de la tabla anterior), entonces deben llevarse dos botellas de deco, una de Nitrox 50% (para su uso de 21m a 9m) y otra de O2 (para su uso a los 6m). Esta botella de O2 adicional proporciona una mayor eficiencia en la descompresión y además proporciona redundancia de gas al buceador, que puede hacer frente a la pérdida eventual de cualquiera de las dos botellas de deco.

- Gas de fondo (del fondo a 24m)
- 2 botellas de deco:
 - Nitrox 50% (de 21m a 9m).
 - O2 (6m)

Ejemplo (VPM-B). Inmersión a 51m de 45min de fondo con Trimix 21\35, que requiere un tiempo total de deco con el Nitrox 50% de 61min. Se compara con el perfil necesario usando O2 en lugar de Nitrox 50%, pudiendo ver cómo se incrementa el tiempo de deco. También se compara con el perfil requerido con dos botellas de deco (Nitrox 50% y O2), pudiendo ver ahora cómo el ahorro en tiempo de deco es más significativo, y llevar una botella adicional de deco compensa, además de proporcionar más cantidad global de gas y la redundancia necesaria.

51 m	45 min (Tx21/35)	45 min (Tx21/35)	45 min (Tx21/35)
30 m	1 min (Tx21/35)	1 min (Tx21/35)	1 min (Tx21/35)
27 m	2 min (Tx21/35)	2 min (Tx21/35)	1 min (Tx21/35)
24 m	3 min (Tx21/35)	3 min (Tx21/35)	3 min (Tx21/35)
21 m	3 min (Nx50)	4 min (Tx21/35)	3 min (Nx50)
18 m	2 min (Nx50)	5 min (Tx21/35)	2 min (Nx50)
15 m	4 min (Nx50)	8 min (Tx21/35)	4 min (Nx50)
12 m	5 min (Nx50)	11 min (Tx21/35)	5 min (Nx50)
9 m	9 min (Nx50)	18 min (Tx21/35)	9 min (Nx50)
6 m	13 min (Nx50)	33 min (O2)	27 min (O2)
3 m	25 min (Nx50)	-	-
Total:	114 min	132 min	102 min

4.3 INMERSIONES EN EL MARGEN DE 54M A 72M

Inmersiones cortas

Si el tiempo de fondo requiere menos de 50min de descompresión con un Nitrox 50% y O2 en total (menos de 25min para cada botella), entonces basta con llevar dos botellas de

descompresión, una de Nitrox 50% (para su uso de 21m a 9m) y otra de O2 (para su uso a los 6m).

- Gas de fondo (del fondo a 24m)
- 2 botellas de deco:
 - Nitrox 50% (de 21m a 9m).
 - O2 (6m)

Ejemplo (VPM-B). Inmersión a 72m de 15min de fondo con Trimix 15\55, que requiere un tiempo total de deco con el Nitrox 50% y el O2 de 33min. Se compara con el perfil necesario usando además una tercera botella de Triox, pudiendo ver cómo no compensa llevar esta botella adicional dada la poca reducción en el tiempo total de deco.

72 m	15 min (Tx15/55.0)	15 min (Tx15/55.0)
42 m	1 min (Tx15/55.0)	1 min (Tx15/55.0)
39 m	1 min (Tx15/55.0)	1 min (Tx15/55.0)
36 m	1 min (Tx15/55.0)	3 min (Tx35/25)
33 m	1 min (Tx15/55.0)	1 min (Tx35/25)
30 m	2 min (Tx15/55.0)	1 min (Tx35/25)
27 m	2 min (Tx15/55.0)	1 min (Tx35/25)
24 m	3 min (Tx15/55.0)	1 min (Tx35/25)
21 m	3 min (Nx50)	3 min (Nx50)
18 m	1 min (Nx50)	1 min (Nx50)
15 m	2 min (Nx50)	1 min (Nx50)
12 m	4 min (Nx50)	3 min (Nx50)
9 m	5 min (Nx50)	5 min (Nx50)
6 m	18 min (O2)	17 min (O2)
Total:	62 min	57 min

Inmersiones largas

Si el tiempo de fondo requiere de 50min o más de descompresión con un Nitrox 50% y O2 en total, entonces se llevarán tres botellas de deco, una de Triox 35\25 (para su uso de 36m a 24m), una de Nitrox 50% (para su uso de 21m a 9m) y otra de O2 (para su uso a los 6m). Esta botella de Triox adicional proporciona una mayor eficiencia en la descompresión en las paradas profundas y además proporciona redundancia de gas al buceador, que puede hacer frente a la pérdida eventual de cualquiera de las tres botellas de deco.

- Gas de fondo (del fondo a 39m)
- 3 botellas de deco:
 - Triox 35\25 (de 36m a 24m)
 - Nitrox 50% (de 21m a 9m).
 - O2 (6m)

Ejemplo (VPM-B). Inmersión a 72m de 30min de fondo con Trimix 15\55, que requiere un tiempo total de deco con el Nitrox 50% y el O2 de 73min. Se compara con el perfil necesario usando además una tercera botella de Triox, pudiendo ver ahora cómo el ahorro en tiempo de deco es más significativo, y llevar una botella adicional de deco compensa, además de proporcionar más cantidad global de gas y la redundancia necesaria.

72 m	30 min (Tx15/55)	30 min (Tx15/55)
51 m	1 min (Tx15/55)	1 min (Tx15/55)
48 m	1 min (Tx15/55)	1 min (Tx15/55)
45 m	1 min (Tx15/55)	1 min (Tx15/55)
42 m	1 min (Tx15/55)	1 min (Tx15/55)
39 m	2 min (Tx15/55)	2 min (Tx15/55)
36 m	3 min (Tx15/55)	3 min (Tx35/25)
33 m	3 min (Tx15/55)	1 min (Tx35/25)
30 m	4 min (Tx15/55)	1 min (Tx35/25)
27 m	5 min (Tx15/55)	3 min (Tx35/25)
24 m	6 min (Tx15/55)	3 min (Tx35/25)
21 m	3 min (Nx50)	3 min (Nx50)
18 m	5 min (Nx50)	3 min (Nx50)
15 m	5 min (Nx50)	6 min (Nx50)
12 m	8 min (Nx50)	7 min (Nx50)
9 m	11 min (Nx50)	10 min (Nx50)
6 m	41 min (O2)	35 min (O2)
Total:	132 min	113 min

4.4 INMERSIONES EN EL MARGEN DE 72M A 90M

Inmersiones cortas

Si el tiempo de fondo requiere menos de 70min de deco con un Triox 35_, un Nitrox 50% y O2 en total, entonces basta con llevar tres botellas de descompresión, una de Triox 35\30 (para su uso de 36m a 24m), una de Nitrox 50% (para su uso de 21m a 9m) y otra de O2 (para su uso a los 6m).

- Gas de fondo (del fondo a 39m)
- 3 botellas de deco:
 - Triox 35\30 (de 36m a 24m)
 - Nitrox 50% (de 21m a 9m).
 - O2 (6m)

Ejemplo (VPM-B). Inmersión a 90m de 15min de fondo con Trimix 12\65, que requiere un tiempo total de deco con el Triox 35\25, Nitrox 50% y el O2 de 58min. Se compara con el perfil necesario usando además una cuarta botella de Trimix 21\35, pudiendo ver cómo no compensa llevar esta botella adicional dada la poca reducción en el tiempo total de deco.

90 m	15 min (Tx12/65)	15 min (Tx12/65)
60 m	1 min (Tx12/65)	1 min (Tx12/65)
57 m	1 min (Tx12/65)	3 min (Tx12/65)
54 m	1 min (Tx12/65)	1 min (Tx12/65)
51 m	1 min (Tx12/65)	1 min (Tx21/35)
48 m	1 min (Tx12/65)	1 min (Tx21/35)
45 m	1 min (Tx12/65)	1 min (Tx21/35)
42 m	2 min (Tx12/65)	1 min (Tx21/35)
39 m	2 min (Tx12/65)	1 min (Tx21/35)
36 m	3 min (Tx35/25)	3 min (Tx35/25)
33 m	1 min (Tx35/25)	1 min (Tx35/25)
30 m	1 min (Tx35/25)	1 min (Tx35/25)
27 m	1 min (Tx35/25)	1 min (Tx35/25)

24 m	3 min (Tx35/25)	1 min (Tx35/25)
21 m	3 min (Nx50)	3 min (Nx50)
18 m	3 min (Nx50)	2 min (Nx50)
15 m	3 min (Nx50)	4 min (Nx50)
12 m	6 min (Nx50)	6 min (Nx50)
9 m	8 min (Nx50)	7 min (Nx50)
6 m	26 min (O2)	26 min (O2)
Total:	86 min	83 min

Inmersiones largas

Si el tiempo de fondo requiere de 70min o más de descompresión con un Triox 35_, un Nitrox 50% y O2 en total, entonces se llevarán cuatro botellas de deco, una de Trimix 21\35 (para su uso de 57m a 39m), una de Triox 35\30 (para su uso de 36m a 24m), una de Nitrox 50% (para su uso de 21m a 9m) y otra de O2 (para su uso a los 6m).

- Gas de fondo (del fondo a 60m)
- 4 botellas de deco:
 - Trimix 21\35 (de 57m a 39m)
 - Triox 35\30 (de 36m a 24m)
 - Nitrox 50% (de 21m a 9m).
 - O2 (6m)

Ejemplo (VPM-B). Inmersión a 90m de 30min de fondo con Trimix 12\65, que requiere un tiempo total de deco con el Triox 35\25, Nitrox 50% y el O2 de 123min. Se compara con el perfil necesario usando además una cuarta botella de Trimix 21\35, pudiendo ver ahora cómo el ahorro en tiempo de deco es más significativo, y llevar una botella adicional de deco compensa, además de proporcionar más cantidad global de gas y la redundancia necesaria.

90 m	30 min (Tx12/65)	30 min (Tx12/65)
69 m	1 min (Tx12/65)	1 min (Tx12/65)
66 m	1 min (Tx12/65)	1 min (Tx12/65)
63 m	1 min (Tx12/65)	1 min (Tx12/65)
60 m	1 min (Tx12/65)	1 min (Tx12/65)
57 m	1 min (Tx12/65)	3 min (Tx21/35)
54 m	2 min (Tx12/65)	1 min (Tx21/35)
51 m	2 min (Tx12/65)	1 min (Tx21/35)
48 m	3 min (Tx12/65)	1 min (Tx21/35)
45 m	3 min (Tx12/65)	1 min (Tx21/35)
42 m	4 min (Tx12/65)	1 min (Tx21/35)
39 m	4 min (Tx12/65)	3 min (Tx21/35)
36 m	3 min (Tx35/25)	3 min (Tx35/25)
33 m	2 min (Tx35/25)	2 min (Tx35/25)
30 m	3 min (Tx35/25)	3 min (Tx35/25)
27 m	5 min (Tx35/25)	3 min (Tx35/25)
24 m	5 min (Tx35/25)	5 min (Tx35/25)
21 m	5 min (Nx50)	5 min (Nx50)
18 m	6 min (Nx50)	5 min (Nx50)
15 m	8 min (Nx50)	8 min (Nx50)
12 m	12 min (Nx50)	10 min (Nx50)
9 m	17 min (Nx50)	15 min (Nx50)
6 m	57 min (O2)	50 min (O2)
Total:	178 min	156 min

4.5 PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN EL CASO DE PÉRDIDA DE UNA BOTELLA DE DECO

Si una de las botellas de deco está inservible en el momento de su uso, simplemente se duplicará el tiempo de deco asociado con la botella perdida, usando las mezclas de deco disponibles menos ricas o el gas de fondo.

5 APÉNDICES

5.1 A: ECUACIÓN GENERAL DE LAS MEZCLAS ESTANDARIZADAS

En este apéndice se deriva la ecuación general que cumplen las mezclas Trimix para una determinada END, y se particulariza para el caso de END=30m.

Condición para la END:

$$(MOD + 10) \frac{100 - He}{100} - 10 = END$$

Condición para la MOD (para el caso de máxima ppO2 de 1.3ATA):

$$MOD = 10 \frac{1.3}{O_2/100} - 10$$

Sustituyendo en la otra ecuación y despejando la fracción de He, resulta la siguiente ecuación general:

$$He = 100 - O_2 \frac{END + 10}{13}$$

En particular, para END=30m, resulta la ecuación de las mezclas estandarizadas:

$$He = 100 - 3O_2$$

5.2 B: PREPARACIÓN SENCILLA DE MEZCLAS ESTANDARIZADAS

Se describe a continuación un método sencillo de preparación de mezclas estandarizadas usando sólo un analizador de oxígeno y muy pocas ecuaciones. Se supone que disponemos de tiempo suficiente para dejar enfriar la botella después de cada operación de trasvase y que prescindimos de los aspectos de compresibilidad de los gases, ya que la relación final entre el Helio y el Nitrógeno en la mezcla no es crítica.

Sea P la presión deseada de la mezcla final, típicamente $P = 200bar$. Sea O_2/He la mezcla de Trimix estandarizada deseada, por ejemplo, 21\35, 10\70, etc. Partimos de la botella destino totalmente vacía y empezamos trasvasando Helio hasta una presión de:

$$P_{He} = \frac{He}{100} P$$

A partir de aquí, basta con rellenar el resto de presión de la botella con Nitrox 32% usando un compresor con membrana. Si esto no es factible, entonces debemos tener la propia botella de Oxígeno. Ello nos permite trasvasar una cierta cantidad de O2 después del Helio y rellenar el resto con un compresor de aire, de acceso más sencillo. La presión de O2 a trasvasar viene dada por:

$$P_{O_2} = \frac{0,47O_2}{100} P$$

lo que implica dejar la botella a una presión final de $P_{He} + P_{O_2}$. Estos bares de O₂ suelen ser pocos en comparación con los bares de Helio ($P_{O_2} \ll P_{He}$), con lo que la precisión del manómetro afecta más en esta operación. Por esta razón, es conveniente analizar el contenido de Oxígeno en este punto, y comprobar que es de:

$$O_2' = \frac{47}{\frac{100}{O_2} - 2,53} \%$$

y mejor quedarse corto en este punto y corregir después. Obsérvese que en el caso de una mezcla normóxica en que $O_2=20.9$, se obtiene que la O_2' debe ser también de O_2 , es decir, 20.9%. En el caso de Trimix tal que $O_2 < 20.9$, ocurre que $0.47 * O_2 < O_2' < O_2$.

Un truco para aumentar la precisión del manómetro y puede poner la cantidad correcta de O₂ is usar la botella de O₂ de deco más pequeña disponible para hacer el trasvase (si tiene la presión suficiente). Entonces, la presión deseada P_{O_2} se verá amplificada por la relación de volúmenes de la botella de fondo y la botella de deco y podemos medir el descenso en presión de la botella de deco (en vez del aumento de presión en la botella destino). Por ejemplo, si el volumen de la botella destino es de $L_b=24L$ y el de la botella de deco es de $L_d=5.5L$, debemos medir un descenso de presión en la botella de deco de $P_{O_2} L_b / L_d = 4,36 P_{O_2}$, lo que mejora la precisión de la medida.

Si se mide un porcentaje de Oxígeno inferior al deseado, se trasvasa más Oxígeno hasta obtener el valor correcto. Finalmente se lleva la mezcla de Heliox a un compressor de aire, se rellena hasta una presión P, se deja enfriar y mezclar bien, se analiza el oxígeno y listos.

5.3 C: ¿POR QUÉ ESCRIBIR ESTE DOCUMENTO?

De hecho, sólo hay un motivo: conseguir no volver a tener la necesidad de escribir nunca más este apéndice tan largo como éste con sabor a justificación y, por lo tanto, ni siquiera plantearse esta pregunta de su título. Si el lector no se la plantea, es que no hace falta que siga leyendo. En caso contrario, estas son las respuestas que se me ocurren a mi pregunta fuera de lugar.

Mis conocimientos y experiencia sobre este tema son muy limitados, con lo que me parece adecuado clarificar los motivos que me llevan a escribirlo existiendo por ahí tantas fuentes de información de calidad así como personas y equipos mucho más expertos. Como son reflexiones personales, las he puesto en este apéndice para que no molesten. Equivocadas o no, son ideas, y lo más nefasto para su anquilosamiento sería relegarlas al inconsciente. Desvelándolas, permito al viento hacer de las suyas.

- La información sobre descompresión es muy amplia y especializada pero el buceador no necesita conocer todos los detalles. Sólo necesita saber cómo aplicar los conceptos a la inmersión para aumentar su seguridad. No se trata por tanto de hacernos todos matemáticos para comprender los modelos, sino de desarrollar algunos criterios mínimos

que nos permitan poner en práctica los resultados de las investigaciones más recientes, las cuales además evolucionan con gran celeridad.

- La mejor formación e información la tienen y la dan las organizaciones punteras que se dedican a la exploración subacuática rompiendo moldes y límites (no hace falta dar nombres), cuyo perfil de inmersiones queda muy fuera del alcance de la mayoría de buceadores que sólo pretendemos extender un poco la profundidad y tiempo de nuestros buceos. Muchas veces no hace falta saber tanto como ellos aunque sí conocer y reconocer lo esencial para que su elevada experiencia nos sea útil en nuestras inmersiones más modestas, que nosotros consideramos “de rango extendido”.
- Puro divertimento. Escribir convierte en saber lo que sólo se creía saber, la estructura del propio escrito es un indicador de lo que falta por saber, y la lectura de lo escrito es un nuevo impulsor a escribir, por parte del que ya ha escrito o por parte del seducido o indignado por la lectura. En esencia, se trata de la motivación egoísta de compartir la información. Ojalá alguien ponga al alcance de todos otros documentos personales más o menos madurados que permitan el fluir sencillo de la información.
- No existe el libro ideal sobre este tema y es muy común que algunos buceadores técnicos hagan citas de textos disponibles en internet en inglés u otras lenguas extranjeras que, dicho sea de paso, no siempre son muy didácticos ni parecen escritos para ser leídos, aunque nadie lo reconozca por el peligro que esto tiene de constatar que no los ha entendido. Innumerables veces se me han citado textos técnicos que he estudiado con detenimiento y que no los he comprendido del todo, y al preguntar ciertas dudas sobre los mismos he podido constatar que no estaba solo en mi incomprensión e ignorancia, lo que tampoco me ha alegrado en absoluto. Estoy convencido de que escribir y/o re-escribir lo que uno ha entendido (o ha creído entender) sobre un texto puede contribuir a la mejora de la propia calidad de la información así como al diálogo entre buceadores.
- Como suelen advertir todos los textos que uno encuentra por ahí, el auto-estudio no sustituye a la correcta formación, aunque yo creo que sí que es un requisito para poder identificar dónde puede hallarse esta deseada formación, la cual debe completar lo que se sabe, y no simplemente partir de cero. Quien inicia una carrera de matemáticas, no lo hace con la mente vacía, sino que ya se ha sentido llamado, y la llamada le ha venido de una pequeña dosis inicial de auto-estudio y motivación de origen interior. Del mismo modo, me parece totalmente inadecuado iniciar un curso de buceo de este nivel con la cabeza vacía, y sin haberse interesado antes lo más mínimo sobre las cosas más básicas y esenciales de la temática que sobre la que uno pretende profundizar. Esto es importante porque existe formación muy buena, pero también demasiado cara, lo que no necesariamente es garantía de su calidad (depende del formador más que de la agencia formadora). Basta decir que los propios manuales de las agencias de formación más prestigiosas son mucho más caros de lo que debería ser un precio razonable para un libro actual. Además de esto, sin un claro criterio de dónde formarse, uno puede verse fácilmente defraudado al final, y con la cartera bastante más vacía.

- La siguiente reflexión se la oí a RV. “Si bien en el buceo de primer nivel, un 80% es la práctica y un 20% la teoría, en buceo técnico, un 80% es la teoría y un 20% es la práctica”, idea que comparto, aunque soy consciente que no es ampliamente aceptada. La práctica se aprende de un buceador que sabe mucho más que tú, pero la teoría debería poder aprenderse del papel con el único impulsor de la curiosidad. Como ya he comentado, comprendo que el acceso a esta información escrita no deba ser gratuito, pero la información teórica no debería ser más cara que un buen libro, y he constatado que esto no es así. No puedo evitar citar otra frase que oí de la misma persona y que cada uno la coja por donde mejor le guste: “el verdadero buceador técnico lo es de dentro hacia fuera, y nunca de fuera hacia adentro”.

- Por último, he podido constatar que fuera de España se sabe mucho más sobre buceo que aquí, pero la gente que verdaderamente sabe no hace ruido. Con ello no quiero decir que aquí no haya buenos expertos pero, bajo mi percepción personal, se tiende al elitismo injustificado e improductivo. En particular, ha sido muy reconfortante encontrar entornos de un gran nivel técnico, muy amigable y desinteresado, en foros de buceo técnico NO españoles. La disposición de la gente es excepcional, desde el que me manda documentos con información muy valiosa con un simple y sano ánimo de servicio, como el que me informa y me manda sin conocerme de nada unos adaptadores para botellas grandes de helio y oxígeno para hacerme mis propias mezclas de Trimix, para no citar otra persona singular que ha programado ella misma el algoritmo VPM-B y lo pone a disposición pública, así como un largo etcétera. Su estilo me ha llevado de un modo natural a explicarles por internet más cosas y confesiones a ellos sin verlos (que están muy lejos) que a los buceadores que tengo más cerca. A mi me gustaría encontrar este entorno en el propio país y, a mi entender, esto se logra saneando no sólo la aptitudes sino la actitudes, y con ello quiero decir... (este texto continuaba con más parrafadas, pero seguro que cualquier lector lo habrá dejado de lado antes de llegar hasta esta frase, y por eso lo corto ya).