

REBREATHERS: TIPOS.

Suele decirse que hay dos tipos de *rebreathers*, los de circuito cerrado y los de circuito semicerrado. Esta idea, que tiene su origen en dos sistemas militares revelados por ambos bandos tras la Segunda Guerra Mundial, resulta inexacta y confusa, al incluirse, hoy en día, como de circuito cerrado a los equipos capaces de controlar la mezcla de dos o más gases en tiempo real, manualmente, o gracias a un sistema electrónico.



El primer rebreather, el prototipo de Rouquayrol y Denayrouze de 1860



Un DESCO MKV mod 1 habilitado para buceo profundo con un sistema de recirculación de heliox. (modelo conocido como *china hat*)

Olvidándonos de los equipos históricos, que se remontan a mediados del siglo XIX, de los sistemas de recirculación de helio utilizados por los buzos de “Casco Duro” (*Hard Hat*) en inmersiones profundas y de ciertas *cosas ultrasecretas* que se están probando por ahí¹, actualmente existen tres tipos fundamentales de Rebreathers:

100% O₂ Rebreathers de oxígeno puro, los descendientes de los famosos ARO



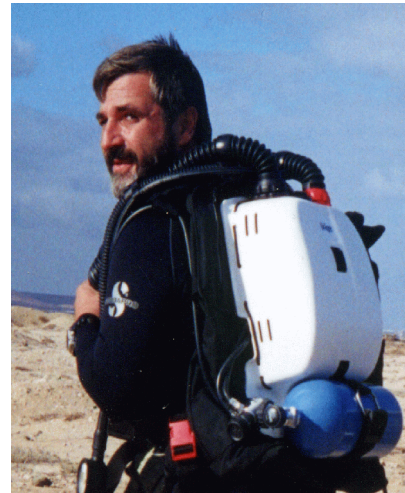
Un OMG C-96, un rebreather de O₂ compacto y de calidad.

(*AutoRespiratore ad Ossigeno*) de los hombres *gamma* italianos. Son máquinas simples y compactas, de circuito cerrado y por tanto de bajo consumo, pero presentan una gran limitación derivada de la neurotoxicidad del oxígeno hiperbárico (síndrome de Paul Bert); su máxima profundidad operativa es de 6 metros, para una PO₂ (presión parcial de oxígeno) de 1,6 ATA, con la que, según las tablas de la NOAA, es probable sufrir una crisis convulsiva a partir de una exposición de 45 minutos. El límite de seguridad, marcado por un 80% del reloj CNS, se extiende a 150 minutos si no se sobrepasan los 4 metros de profundidad. Por otro lado, al no haber respirado ningún gas inerte (Nitrógeno, helio, hidrógeno o algún otro diluyente exótico), el buceador no incurre en ninguna obligación descompresiva.

¹Los sistemas basados en líquido en vez de gas, por ejemplo

EANx. Rebreathers de Nitrox premezclado,

conocidos como de circuito semicerrado, fueron puestos a punto por los buzos de la británica Royal Navy y mantenidos durante mucho tiempo en secreto porque proporcionaban unos niveles de seguridad mucho mayores que los sistemas de oxígeno puro, al tiempo que permitían profundidades del orden de 40 metros o más. Fuera de los entornos militares y comerciales son los equipos más extendidos y conocidos, gracias a la popularidad que han obtenido dos modelos de Dräger, el Ray y, sobre todo, el Dolphin. Al utilizar nitrógeno como diluyente la neurotoxicidad se hace manejable, la descompresión es la propia del nitrox, mucho más favorable que la del aire, pero aparece un nuevo fantasma, la hipoxia.



El autor con un Dräger Dolphin en "El Cabrón", Gran Canaria.

PO2 Constante. Rebreathers mezcladores,

sobre el papel, la solución definitiva a los problemas del buceo. Son equipos de gran autonomía que permiten descender a grandes profundidades. Al controlar directamente la presión parcial de oxígeno en la mezcla respirada y al poder utilizar distintas mezclas de diluyente, se puede controlar a la perfección los niveles de neurotoxicidad al tiempo que se minimizan las obligaciones descompresivas. ¿Quién diría que no a un equipo que nos permitiera bajar a más de 200 metros o bucear ininterrumpidamente durante seis horas o más?.



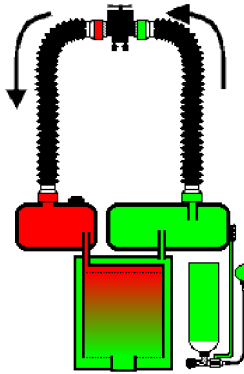
El Evolution es el sucesor del Inspiration de Ambient Pressure Diving (AP Valves).

El problema es que son una máquina extraordinariamente compleja y muy propensas a fallos, por lo que pueden matar y de hecho matan a sus usuarios o, como se ha matizado muy a menudo, confunden a sus usuarios hasta que éstos hacen que sus rebreathers los maten, de forma que el

Buddy Inspiration, el modelo más difundido entre los buceadores civiles, sea conocido como *Buddy Desperation*, o, en el peor de los casos, como *Buddy Expiration*.

Como se puede observar, esta clasificación no se basa en que el circuito sea más o menos cerrado, si no en la composición del gas que se respira, que es lo que realmente hace que unos rebreathers sean distintos de otros.

TODOS SE BASAN EN UN PRINCIPIO COMÚN.



Esquema simplificado de un rebreather

Porque básicamente todos los sistemas son similares. Todos ellos se fundamentan en un bucle respiratorio por el que el gas exhalado de los pulmones del buceador es recirculado a través de un recipiente que contiene un compuesto que elimina el CO_2 y vuelve a ser inhalado.

El circuito se compone de una boquilla en forma de T, con dos válvulas que establecen el sentido de la circulación, de dos gruesos tubos corrugados² a ambos lados, el conducto de inhalación y el de exhalación. Este último conduce a una trampa para recoger líquidos, a un pequeño contrapulmón (una bolsa) y al *canister*, un recipiente de buen tamaño que contiene el absorbente de anhídrido carbónico. El gas purificado pasa al contrapulmón principal (una bolsa más grande o un fuelle) y de ahí, a través del corrugado de inhalación, llega a la boquilla y es respirado de nuevo, cerrando el ciclo a través de los pulmones del buceador, responsables del bombeo. Una válvula de sobrepresión, permite ventilar el exceso de gas que pueda haber en el bucle.

INYECCIÓN DE GAS EN EL BUCLE.

Pero el buzo consume oxígeno, por lo que el bucle debe ser alimentado añadiendo gas. Qué gases son los que se utilizan y como se dosifica su inyección, es lo que diferencia a unos sistemas de otros.

El problema se complica porque además del consumo metabólico de oxígeno, es preciso compensar los efectos de los cambios de presión ocasionados por las variaciones de profundidad. Cuando el buzo desciende es necesario añadir una buena cantidad de gas para evitar que el circuito se colapse, mientras que durante el ascenso el bucle respiratorio debe ser ventilado para eliminar el exceso de volumen que se ocasiona al disminuir la presión ambiente.

Los sistemas de inyección de gas pueden ser **pasivos** (manuales o “*a demanda*”, como un regulador normal de circuito abierto) o **activos** (de caudal fijo, regulable o controlado por un sistema electrónico que responde a los datos proporcionados por una batería de sensores electroquímicos). En un mismo rebreather suelen coexistir dos o más sistemas de inyección que pueden trabajar simultáneamente o ser activados a voluntad del usuario.

² Algunos sistemas muy simples, llamados pendulares, utilizan un único tubo para la inhalación y la exhalación. Aunque el gas pasa dos veces por el absorbente en cada ciclo respiratorio, debido a los volúmenes muertos que se crean en el circuito, son menos eficaces en la eliminación del CO_2 y se usan sobre todo en sistemas de escape, penetración en cuevas o lucha contra incendios, pero no son recomendables en ambientes hiperbáricos.

Veamos, uno por uno, los distintos sistemas que existen para inyectar gas en el bucle.

LOS SISTEMAS PASIVOS.



Detalle de la válvula manual de un ARO
OMG C-96.

En primer lugar trataremos los sistemas pasivos, es decir, aquellos que exigen una acción (explícita o implícita³) por parte del buceador para añadir gas al bucle respiratorio:

La inyección manual:

El buceador acciona una válvula cuando nota que el bucle está muy vacío por el consumo de su contenido o por un aumento de la presión al descender.

La inyección a demanda.



Válvula automática para la adición de
diluyente en un Inspiration o Evolution.

La adición de gas se puede automatizar por medio de una válvula de demanda (ADV), similar a la segunda etapa de un regulador convencional que, al descender la presión en el contrapulmón de inhalación, proporciona el gas necesario para rellenar el bucle. Este dispositivo sería más utilizado si se superase su tendencia a entrar en flujo continuo, derrochando gas y creando una sobrepresión en el bucle.

La ventilación proporcional, basada en el ritmo y volumen respiratorio.

Teniendo en cuenta que el ritmo respiratorio está directamente relacionado con el nivel de ejercicio físico y éste, a su vez, con el consumo metabólico de O_2 , en los sistemas de ventilación proporcional, al menos en teoría, la fracción de oxígeno del bucle se mantiene constante.

El contrapulmón está dividido en dos partes, la mayor se integra en el bucle respiratorio, la menor, desvía una fracción del contenido hacia el exterior. En cada inhalación se produce una pequeña cantidad de burbujas y un sistema a demanda repone el gas perdido. En los sistemas Halcyon los contrapulmones son dos fuelles (de bisagra en los primeros modelos y cilíndricos concéntricos en el RB-80). Unos mecanismos compensadores ajustan el volumen ventilado a la variación de profundidad (para mantener constante la masa de gas renovado, se ventila un volumen menor cuanto mayor sea la profundidad).

³ Por explícita entendemos una actuación directa sobre una válvula manual, por implícita, entendemos una acción consecuencia de la actividad respiratoria del buceador, sin una intervención consciente.

LOS SISTEMAS ACTIVOS.

Estos sistemas inyectan gas sin que sea necesaria ninguna acción por parte del buceador. Existen dos opciones fundamentales:

La inyección de flujo a masa constante.



Válvula de aguja ajustable para una inyección de gas a masa constante desde una primera etapa no compensada con la profundidad.

Una primera etapa de regulador modificado para no compensar con la profundidad. (típicamente un Apeks AXT 200 al que se sustituye la membrana flexible del sistema de compensación por un disco mecanizado de Delrin) proporciona, a través de una válvula limitadora de flujo, una alimentación continua de gas. Pueden tener distintos inyectores pretarados, cada uno con un orificio ajustado para un flujo determinado (medido en litros*bar o en gr. por minuto) o una válvula de aguja ajustable por el buceador durante la inmersión. El ajuste se realiza, previamente a la inmersión, por medio de medidores de flujo.

La inyección controlada por un solenoide actuado por un sistema electrónico a partir de una batería de sensores.

LA INYECCIÓN DE GAS EN LOS DISTINTOS SISTEMAS.

Veamos que posibilidades de construcción existen para alimentar con el gas necesario a cada uno de los tres tipos de rebreather. Empezaremos por los sistemas 100% O₂

Los ARO o sistemas de oxígeno puro son los rebreathers más sencillos. Habitualmente se alimentan con una pequeña botella de 2 a 4 litros con O₂ a 200 bares⁴. Al no existir ningún gas inerte (diluyente), el contenido del bucle se va consumiendo sin alterar su composición⁵ (siempre 100% O₂) y únicamente es necesario añadir más gas. Esta adición de gas suele ser pasiva y puede ser manual o a demanda. Algunos rebreathers cuentan, en paralelo, con un sistema activo de adición de oxígeno de masa constante, regulado ligeramente por debajo de la tasa prevista de consumo metabólico de O₂ del buceador. Los equipos más sencillos o primitivos son simplemente manuales, algunos modernos rebreathers de oxígeno cuentan con los tres sistemas, lo que los hace mucho más cómodos y seguros, pues no es estrictamente necesario actuar sobre la válvula manual. Ante un colapso del bucle, incluso durante un descenso, no hay que accionar nada, es suficiente con inspirar.

Los equipos de nitrox premezclado forzosamente inyectan diluyente en el bucle, pues sólo disponen de gas premezclado, esto hace que la fracción de oxígeno del bucle disminuya con el tiempo (pues el oxígeno se consume y el diluyente no), por lo que cada cierto tiempo el contenido del bucle debe ser ventilado, al menos parcialmente, y sustituido por gas “fresco”, con la fracción de oxígeno nominal de la botella. De aquí surge el concepto de semicerrado que se aplica a estos equipos. Los más difundidos (como los Ray y Dolphin de Dräger o el Azimuth de OMG), disponen de un sistema de adición a flujo constante. El exceso de gas que se acumula en el bucle es ventilado por una válvula de sobrepresión (la misma que tienen todos los rebreathers para aliviar el exceso de gas producido en los ascensos, pero que aquí trabaja a lo largo de toda la inmersión). Algunos sistemas, entre los que son pioneros los rebreathers de Halcyon, disponen de un sistema pasivo, que ventila una parte proporcional del volumen total del bucle en cada ciclo respiratorio.



⁴ Ligeros, compactos y **terriblemente peligrosos** son los Rebreathers de Circuito Cerrado Químico (CCCR), como el IDA 71, desarrollado en la Unión Soviética, que además de recurrir a un botellín de alta presión, utiliza oxígeno de generación química, llamado Superóxido, basado en el uso de KO₂, un compuesto altamente tóxico e inflamable. Un sistema de este tipo fue el que ocasionó el devastador incendio de la estación espacial MIR.

⁵ Esto es cierto si toda la inmersión se desarrolla exclusivamente con oxígeno. En caso de utilizarse un rebreather de O₂ para realizar la descompresión después de una inmersión en circuito abierto con otros gases (aire, nitrox o trimix), los pulmones liberan diluyente al bucle respiratorio y será necesario ventilarlo cada cierto tiempo para evitar la hipoxia.

Los rebreathers mezcladores utilizan una botella de oxígeno y una o más de diluyente, que puede ser aire, nitrox, heliox o trimix. En función de la presión ambiente (profundidad) y del consumo metabólico de oxígeno, se inyecta de uno u otro gas, manteniendo el volumen del bucle y una PO_2 constante. Existen sistemas de control totalmente manual, otros son semiautomáticos y algunos han conseguido automatizar todas las funciones de inyección de gases. Veamos en primer lugar los sistemas más simples, del tipo del IDA 59 que aparece en la fotografía. Una manera muy “buceadora” de morir es comprar uno de estos equipos, llenar las botellas y el canister y tirarse al agua. No hay ningún sensor ni aparato de medida, antes del descenso se llena el bucle con una parte de aire y otra de oxígeno (¡ja ojo!). A medida que se baja se compensa el volumen con aire y cada tres o cuatro inspiraciones se añade un poco de oxígeno. Llegados a este punto ¿sabe alguien qué es lo que está respirando?. Demasiado O_2 y el buzo sufre una



El IDA 59 soviético, originariamente un sistema de escape desde submarinos es un rebreather mezclador totalmente manual.



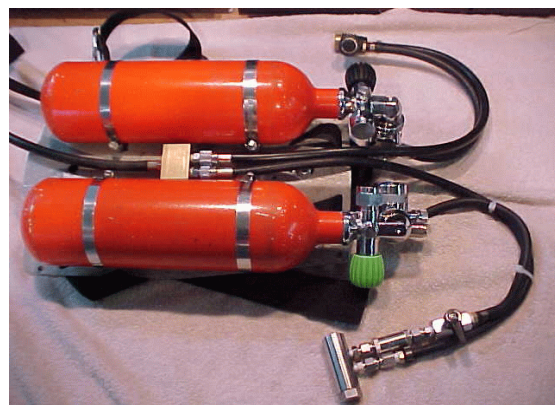
Batería de tres sensores de O_2 y tres displays independientes.

añadir manualmente oxígeno o diluyente. Si en vez de un sensor instalamos tres, con circuitos totalmente independientes, tendremos además una indicación fiable, pero todavía será necesario añadir oxígeno cada tres o cuatro inspiraciones para evitar la hipoxia..

Un concepto que ha tenido enorme éxito entre los detractores de los equipos de control electrónico es el de la válvula KISS, que permite la inyección continua

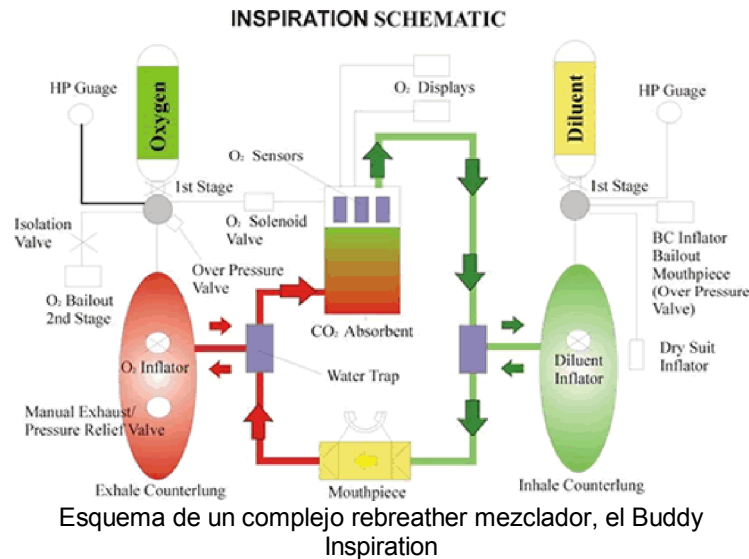
crisis convulsiva, demasiado poco y sobreviene la hipoxia, ambas suelen conducir a la muerte. Sistemas así son los responsables de buena parte de la pésima fama que tienen los equipos de circuito cerrado entre los buceadores civiles.

Si instalamos un sensor de PO_2 a la salida del canister tendremos una indicación de la respirabilidad de la mezcla y una guía para



La botella con pomo negro contiene el diluyente, en la parte superior puede verse la válvula manual para su adición. La botella con pomo verde contiene O_2 , en la parte inferior puede verse la válvula KISS. En el centro, entre las dos botellas se ve, de color dorado, la caja donde se realiza la mezcla.

de O₂ a un ritmo ligeramente inferior al consumo metabólico del buceador. Correctamente ajustada permite espaciar la adición manual de O₂ a una vez cada 10 o 20 minutos. Estos sistemas se llaman semiautomáticos. La adición del diluyente puede ser manual o realizarse por medio de una válvula a demanda (ADV),.



Los sistemas totalmente automáticos de control electrónico, del tipo de los Buddy Inspiration y Evolution, los Cis-Lunar MK4 y MK5-P o el CCR 2000, utilizan una batería de sensores y un circuito que controla unas electroválvulas (llamadas solenoides) que regulan el flujo de oxígeno.

La boquilla, en un equipo moderno, es una verdadera obra de precisión mecánica,

FUENTES

Además de la experiencia propia, buceando con los equipos Ray y Dophin de Dräger, hemos de citar los manuales de los fabricantes y la abundante documentación que existe en sus páginas WEB, fundamentalmente en las de Dräger, Halcyon y Cis-Lunar, esta última, lamentablemente desaparecida

Además, existen algunas páginas que son imprescindibles, y de las que proceden la mayoría de las ilustraciones de este artículo.