MANUAL DE BUCEO

ARMADA DE CHILE

ÍNDICE

PARTE 1

TRATADO 1 :

- HISTORIA DEL BUCEO PAG.: 1

TRATADO 2 :

- FÍSICA SUBMARINA PAG.: 51

TRATADO 3 :

- FISIOLOGÍA SUBMARINA PAG.: 101

TRATADO 4 :

- SISTEMAS DE BUCEO PAG.: 186

TRATADO 5 :

- OPERACIONES DE BUCEO ASISTIDO CON AIRE PAG.: 199

TRATADO 6 :

- OPERACIONES DE BUCEO AUTÓNOMO PAG.: 237

TRATADO 7 :

- OPERACIONES DE BUCEO EN AGUAS FRÍAS Y HIELO. PAG.: 271

TRATADO 8 :

- DESORDENES DEL BUCEO QUE REQUIEREN TERAPIA DE DESCOMPRESIÓN PAG.: 289

TRATADO 9 :

- PRIMEROS AUXILIOS PAG.: 300

TRATADO 10 :

- VIDA MARINA PELIGROSA PAG.: 310

TRATADO 1

HISTORIA DEL BUCEO

10101 INTRODUCCIÓN

a.- Propósito. Entregar una idea general del desarrollo de las técnicas de buceo en la historia del hombre, haciendo especial énfasis en las operaciones militares.

b.- Alcance. Referirse al duro trabajo y dedicación de un gran número de individuos que fueron pioneros en el desarrollo de la tecnología del buceo. Como cualquier empresa, es importante construir sobre los descubrimientos de nuestros predecesores y no repetir los errores del pasado.

c.- Rol de la Armada. La Armada es líder en el ámbito Nacional en técnicas de Buceo moderno y en Operaciones Submarinas de Salvataje. Las necesidades actuales de la Marina en operaciones de rescate y salvataje de buques, mantención submarina, construcción, reconocimiento submarino, demolición e investigación, continuamente dan ímpetu al entrenamiento y el desarrollo del buceo. Esta actividad no está sólo limitado a las operaciones tácticas de combate, salvataje en tiempos de guerra y naufragios submarinos. El buceo de mantención a flote de unidades se ha ido incrementando y diversificando, siendo en la actualidad una actividad constante. Una parte principal de las misiones de buceo es inspeccionar y reparar embarcaciones para minimizar el tiempo de baja y la necesidad de acudir a dique. Otros aspectos del buceo incluye la recuperación de torpedos de práctica e investigación, la instalación y reparación de arreglos electrónicos submarinos, construcciones submarinas y la localización y recuperación de elementos extraviados.

10102 BUCEO CON AIRE ALIMENTADO DESDE LA SUPERFICIE

Los orígenes del buceo están firmemente enraizados en la necesidad y el deseo del hombre de comprometerse con el comercio marítimo, conducir operaciones militares y de Salvataje, y expandir las fronteras del conocimiento a través de la exploración, la investigación y el desarrollo.

El buceo, como profesión, puede remontarse más de 5000 años atrás. Los primeros buzos limitaron sus esfuerzos a aguas con profundidades menores a 100 pies, realizando trabajos de salvataje y recolectando alimentos, esponjas, corales y madreperla. Un historiador griego, Heródoto, Registró la historia de un buzo llamado Scyllis, que fue empleado por el rey persa Jerjes para recobrar tesoros hundidos en el siglo quinto a.C.

Desde los primeros tiempos los buzos fueron utilizados en las operaciones militares. Sus misiones incluían cortar las maniobras de fondeo para dejar los buques enemigos a la deriva, romper el casco de los buques, construir defensas portuarias locales y destruir las de los enemigos foráneos. Alejandro el Grande envió nadadores para remover los obstáculos en la bahía de la ciudad de Tiro, en lo que hoy es El Líbano, la cual había tomado bajo su mando en el año 332 a.C.

Dentro de los precursores de las actividades de Salvataje se consideran aquellos que desarrollaron una activa industria de salvataje alrededor de los principales puertos comerciales del Este del Mediterráneo. Alrededor del siglo I a.C., las operaciones estaban tan organizadas, que la escala de pagos por este trabajo era establecida por ley, considerando que el esfuerzo y el riesgo aumentan con la profundidad. En 24 pies de agua, los buzos podían reclamar la mitad de todos los bienes recuperados. En 12 pies de agua, se les permitía reclamar un tercio del botín, y en tres pies de agua sólo la décima parte.

a.- **Tubos de Respiración**

El paso más obvio y crucial para ampliar la capacidad de los buzos, fue dotarlos de la provisión de aire necesaria para permanecer bajo el agua por mayor tiempo del que permitía el efectuar apnea. Cañas huecas o tubos que se extendían hasta la superficie le permitían a un buzo permanecer bajo el agua por un período prolongado, pero poco podía lograr en forma de trabajo útil. Los tubos de respiración fueron empleados en operaciones militares, permitiéndoles una aproximación indetectable a las plazas enemigas. A primera vista, parecía lógico que un tubo de respiración más largo era el único requisito para aumentar el rango de profundidad de un buzo. De hecho, un gran número de los primeros diseños usaban capas de cuero con largos tubos flexibles mantenidos sobre la superficie con flotadores. No hay registro; sin embargo, de que alguno de estos aparatos fuera realmente construido o probado. El resultado bien puede haber sido el ahogamiento del buzo. A una profundidad de 3 pies, es prácticamente imposible respirar a través de un tubo usando sólo la capacidad natural del cuerpo para respirar, ya que el peso del agua

ejerce una fuerza total de casi 100 kilogramos (200 libras) sobre el pecho del buzo. Esta fuerza aumenta proporcionalmente con la profundidad y es uno de los factores más importantes en el buceo. Las operaciones exitosas de buceo requieren, que la presión sea vencida, eliminada o equilibrada. A lo largo de la historia, se diseñaron muchos imaginativos aparatos para superar este problema, pero a pesar de ello, en un principio, el problema de la presión submarina no fue completamente comprendido y los diseños impracticables.

b.- **Bolsas de respiración**

Una completa serie de diseños estuvieron basados sobre la idea de una bolsa de respiración llevada por el buceador. Un gráfico Asirio del siglo IX a.C. muestra lo que parecen ser buceadores, usando pieles de animales infladas como sus acumuladores de aire. Sin embargo estos hombres eran probablemente nadadores usando las pieles para flotar, por que, se requeriría un enorme lastre para sumergirse al usar este aparato (Figura 1).

Un sistema de buceo practicable puede haber hecho una corta aparición al final de la Edad Media. En 1240, Roger Bacon hizo referencia a “instrumentos con los cuales el hombre puede caminar en el mar o en el lecho de los ríos sin peligro”.

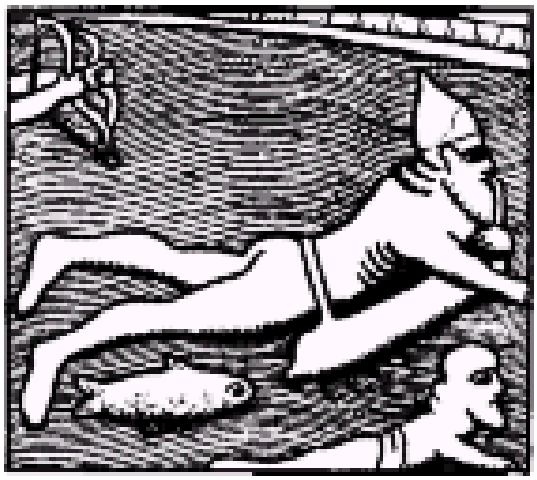


Figura 2. Gráfico Asirio (900 a.C.).

c.- **Campanas de respiración**

Entre 1500 y 1800 fue desarrollada la campana de buceo, capacitando a los buzos para permanecer bajo el agua por horas en lugar de minutos. La campana de buceo es un aparato con el fondo abierto hacia el mar.

Las primeras campanas de buceo fueron tubos grandes y macizos, diseñados para hundirse en posición vertical, atrapando suficiente aire para permitir la respiración del buzo por varias horas. Campanas más tardías eran suspendidas por un cable desde la superficie. No poseían maniobrabilidad submarina significativa, exceptuando la dada por la movilidad de la embarcación de apoyo. El buzo podía permanecer dentro de la campana si esta era posicionada sobre la zona de trabajo, o podía aventurarse fuera de la campana por cortos períodos aguantando la respiración.

La primera referencia a una campana de buceo práctica data de 1531 y de esta fecha en adelante, se usaron con regularidad campanas rudimentarias pero efectivas. En los años 1680, un aventurero nacido en Massachussets, llamado William Phipps, mientras intentaba recobrar tesoros por valor de US$ 200.000, modificó la técnica de la campana de buceo, proveyendo a sus buzos de aire a través de una serie de cubetas contrapesadas e invertidas.

En 1690, el astrónomo inglés Edmund Halley desarrolló una campana de buceo en la cual la atmósfera era reaprovisionada enviando barriles de aire lastrados desde la superficie (Figura 2). En una temprana demostración de su sistema, él y cuatro personas más se mantuvieron a 60 pies en el río Támesis por casi una hora y media. Casi 25 años después, Halley estuvo más de 4 horas a 66 pies usando una versión mejorada de su campana.

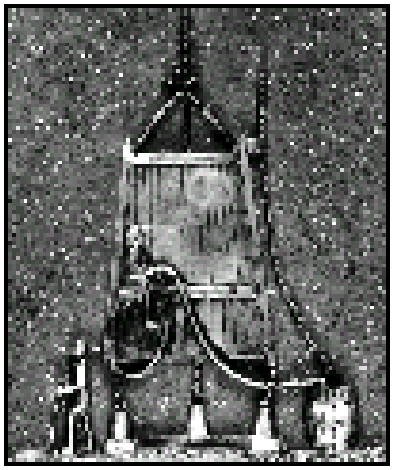


Figura 2. Grabado de la campana de buceo de Halley.

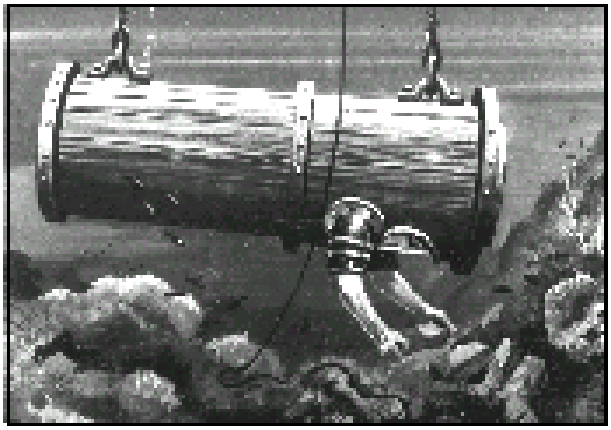


Figura 3. Traje de buceo de Lethbridge.

d.- **El diseño de trajes de buceo**

Con el creciente número de naufragios civiles y militares asolando las costas de gran Bretaña, se produjo un fuerte incentivo para desarrollar un traje de buceo que incrementara la eficiencia de las operaciones de salvataje.

1) El traje de buceo Lethbridge

En 1715, el inglés John Lethbridge desarrolló un traje de buceo completamente cerrado que permitía alojar a un hombre (Figura 3). El equipo de Lethbridge consistía de un barril reforzado cubierto con cuero, equipado con una mirilla de vidrio y dos agujeros para los brazos con bisagras estancas. Usando este dispositivo, el ocupante podía trabajar en forma útil.

Este aparato era bajado desde un buque y maniobrado de la misma forma que una campana de buceo.

Lethbridge tuvo un relativo éxito con su invención y participó en el salvataje de varios naufragios europeos. En una carta al editor de una popular revista en 1749, el inventor describía que su profundidad normal de operación eran 10 fathoms (18 metros), con un máximo de aproximado de 12 fhatoms, y que podía permanecer sumergido por 34 minutos.

Se usaron muchos diseños similares al de Lethbridge en los años venideros. Sin embargo, todos tenían la misma limitación básica que la campana de buceo, el buzo tenía poca libertad; ya que, no había una manera práctica de aprovisionarlo continuamente de aire. Un verdadero quiebre tecnológico se produjo con la llegada del siglo 19, cuando se desarrolló una bomba manual capaz de entregar aire a una presión adecuada.

2) El traje de buceo patentado de Deane

Muchos hombres produjeron aparatos exitosos al mismo tiempo. En 1823, dos operadores de salvataje, John y Charles Deane patentaron el diseño básico del traje de humo que permitió a los bomberos moverse dentro de edificios en llama. En 1828, el aparato evolucionó al Traje de Buceo Patentado de Deane, que consistía de un pesado traje para la protección contra el frío, un casco con mirillas y conexiones para las tuberías de provisión de aire desde la superficie. El casco descansaba sobre los hombros del buceador, fijado en su lugar por su propio peso y correas amarradas a un cinturón. El aire expulsado y el aprovisionado pasaban bajo los cantos del casco y no ocasionaban problemas mientras el buzo se mantuviera erguido. Si éste caía, el casco podría llenarse fácilmente de agua. En 1836, los hermanos Deane publicaron un Manual de Buceo, probablemente el primero desarrollado a esa fecha.

3) El traje de buceo mejorado de Siebe

El crédito por el desarrollo del primer traje de buceo práctico ha sido otorgado a Agusto Siebe. La contribución inicial de Siebe al buceo fue una modificación del traje de Deane. Siebe selló el casco al vestido al nivel del collar usando una pieza impermeable corta, del largo de la cintura, y añadió una válvula de escape al sistema (Figura 4). Conocido como el Traje de Buceo Mejorado de Siebe, este aparato es el ancestro directo del traje de buceo profundo estándar MK V.

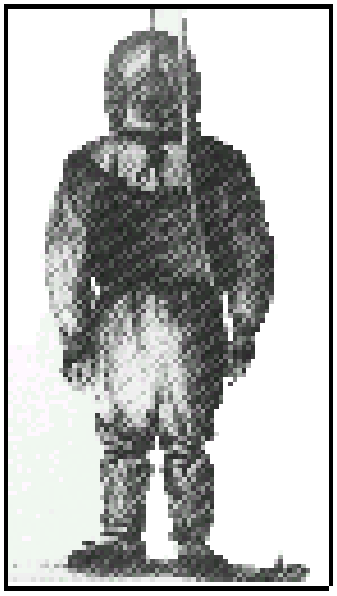


Figura 4. Primer traje cerrado y casco de Siebe.

Figura 5. Esclusas (caisson). Esta esclusa podía estar flotando libre en el sitio de buceo y bajada hasta el fondo inundando los estanques laterales.

4) Salvataje del HMS *Royal George*

En 1840, se usaba una gran variedad de tipos de trajes de buceo en operaciones corrientes. Durante aquél tiempo, una Unidad del British Royal Engineers fue reclutada para remover los restos hundidos del buque de guerra HMS Royal George. El buque estaba obstaculizando un fondeadero principal en las afueras del puerto Inglés de Portsmouth. El oficial de cargo, Coronel William Pasley, decidió que esta operación sería una oportunidad excepcional para probar y evaluar formalmente varios tipos de aparatos. Inquieto por la posibilidad de inundar el casco en el aparato de Deane, recomendó formalmente que se adoptaran los modelos Siebe en futuras operaciones.

Cuando el proyecto de Paisley se completó, un historiador oficial del gobierno notó que "de los buceadores de la temporada, ninguno de ellos escapó a los repetidos ataques de reumatismo y gripe." Los buzos habían estado trabajando 6 o 7 horas diarias, muchas de ellas bajo los 60 o 70 pies de profundidad. Paisley y sus hombres no comprendieron las implicancias de esta observación. Lo que parecía reumatismo no era sino un síntoma de un problema fisiológico mucho mayor, que en el futuro iba a adquirir gran importancia para la profesión del buceo.

e.- Caissons (Esclusas)

Al mismo tiempo que el traje de buceo era perfeccionado, los inventores trabajaban en mejorar la campana de buceo, aumentando su tamaño y añadiendo bombas de aire de alta capacidad, que pudieran suministrar suficiente aire para mantener el agua completamente fuera del interior de la campana. Las bombas mejoradas pronto llevaron a la construcción de cámaras con capacidad de varios hombres para un trabajo seco en el fondo del mar. Esto fue particularmente ventajoso para proyectos como la excavación de los fundamentos de puentes o secciones de túneles, donde se requerían largos períodos de trabajo. Estas cámaras secas fueron conocidas como *caissons (esclusas)*, una palabra francesa que significa " *cajas grandes*" (Figura 5). Las caissons se diseñaron para tener rápido acceso desde la superficie. Usando un candado de aire, la presión interna podía mantenerse mientras los materiales y los hombres entraban o salían. Las caissons fueron un paso principal en ingeniería tecnológica y su uso creció rápidamente.

f.- **Descubrimientos fisiológicos**

1) **Enfermedad de Caisson (Enfermedad de descompresión Inadecuada o mal de presión)**

Con el incremento de las construcciones submarinas, una nueva e inexplicable afección comenzó a afectar a los trabajadores submarinos. Después de retornar a la superficie después de una misión, los buzos frecuentemente eran estremecidos por pérdidas de conciencia esporádicas, dificultades para respirar y agudos dolores en las articulaciones y el abdomen. El afectado usualmente se recuperaba, pero muchos de los síntomas continuaban estando presentes. A menudo los trabajadores presentaban un alivio significativo al volver a estar sometidos a presión, pero lo atribuían erróneamente a estar más descansados al comienzo de una nueva jornada de trabajo.

Mientras el trabajo submarino se extendía a mayores proyectos y a presiones de operación crecientes, los problemas fisiológicos crecieron en número y gravedad. Las fatalidades se sucedían con frecuencia alarmante. La afección fue llamada, lógicamente, mal de cassion. Sin embargo, los trabajadores en el proyecto del puente de Brooklyn le dieron a la enfermedad un nombre mucho más descriptivo que ha trascendido, “Bends” (Lo anterior debido a la forma en que los afectados se “doblaban” por efecto del dolor).

Hoy en día la Enfermedad de Descompresión Inadecuada es el peligro más conocido del buceo. Aunque el hombre llevaba buceando miles de años, pocos habían permanecido trabajando bajo grandes presiones atmosféricas sin sufrir del caissons. Individuos como Paisley, que había experimentado algunos aspectos de la enfermedad, simplemente no estaban preparados para reconocer algo más que una indigestión, reumatismo o artritis.

1) **Causas de la Enfermedad de Descompresión Inadecuada (EDI)**

La verdadera causa de la EDI fue clínicamente descrita por primera vez en 1878 por el fisiólogo francés Paul Bert. Estudiando el efecto de la presión sobre la fisiología humana, Bert determinó que la respiración en ambientes hiperbáricos forzaba grandes cantidades de nitrógeno en solución a ingresar a los tejidos y la sangre del cuerpo. Mientras la presión se mantuviera constante, el gas se

mantenía en solución. Cuando disminuía súbitamente la presión, que era cuando un trabajador dejaba el ambiente hiperbárico, el nitrógeno volvía rápidamente a su estado gaseoso, no permitiendo su eliminación del organismo de una manera natural. La acumulación del nitrógeno forma burbujas de gas a través del cuerpo, causando el amplio rango de síntomas asociados a la enfermedad. Los daños producidos pueden llegar a parálisis y en algunos casos graves, la muerte en caso de que las burbujas obstaculicen el flujo sanguíneo a zonas sensibles.

1) **Prevención y tratamiento de la EDI**

Bert recomendaba que los trabajadores que estuvieran sometidos a ambientes hiperbáricos se descomprimieran gradualmente y que los buzos retornaran a la superficie gradualmente. Sus estudios llevaron a una inmediata mejora para todos aquellos que presentaban síntomas, quienes descubrieron que su dolor era aliviado cuando retornaban a la misma presión.

A los pocos años, cámaras hiperbáricas especialmente diseñadas se instalaron en los sitios de trabajo para disponer de una situación mucho más controlada en el manejo de las enfermedades de descompresión inadecuada. La presión dentro de las cámaras podía ser aumentada o disminuida de acuerdo a las necesidades del individuo. Uno de los primeros usos exitosos de la cámara hiperbárica ocurrió durante la construcción de un túnel submarino bajo el río Hudson, entre New York y New Jersey. La cámara hiperbárica redujo marcadamente el número de casos serios y fatalidades causadas por EDI.

La recomendación de Bert para que los buceadores ascendieran gradual y constantemente no fue un éxito total, ya que algunos trabajadores siguieron sufriendo de EDI. La creencia general de la época era que los buceadores habían llegado al límite práctico y que 120 pies era lo más profundo que alguien podía trabajar. Esto fue debido a la repetida incidencia de la enfermedad de descompresión inadecuada y la ineficiencia de los buzos bajo esa profundidad. Ocasionalmente, los buzos perdían la conciencia trabajando a 36 metros (120 pies).

1) **Ventilación inadecuada**

El fisiólogo inglés J.S. Haldane condujo experimentos con buzos de la Royal Navy desde 1905 a 1907. Él determinó que parte del problema era debido a que los buzos no ventilaban adecuadamente sus cascos, provocando la acumulación de altos niveles de dióxido de carbón. Para solucionar el problema, estableció una tasa estándar de provisión de aire (1,5 pies cúbicos de aire por minuto, medido a la presión del buzo). Se usaron bombas capaces de mantener el flujo y la ventilación del casco de manera continua.

Haldane también creo un grupo de tablas de buceo que establecía un método de descompresión por etapas. Aunque revisadas y mejoradas a lo largo de los años, estas tablas constituyen la base del método aceptado para traer un buzo a la superficie.

Como resultado de los estudios de Haldane, la profundidad de operación práctica para los buzos fue extendida ligeramente sobre los 60 metros (200 pies). El límite no estaba impuesto por factores fisiológicos sino por las capacidades de los compresores manuales disponibles para el suministro de aire.

1) **Narcosis de Nitrógeno**

Debido al avance tecnológico, los buzos pronto pudieron aumentar las profundidades de operación. Este aumento de profundidad desencadenó un nuevo e inexplicado efecto sobre los buzo. El buzo aparecía intoxicado, algunas veces sintiéndose eufórico y frecuentemente perdiendo el juicio al punto de olvidar el propósito del buceo. En 1930, esta “Borrachera de profundidad” fue relacionada al aumento de la presión parcial del nitrógeno en la mezcla gaseosa que respiraba el buzo. Conocida como “Narcosis del nitrógeno”, esta condición ocurre debido a las propiedades narcóticas del nitrógeno, las cuales se agravan con el aumento de la presión parcial de este. Para evitar el problema, se desarrollaron mezclas especiales de respiración como el helio-oxígeno

g.- **Trajes de buceo rígidos (actualmente denominados trajes atmosféricos)**

Muchos inventores, la mayoría con poca o ninguna experiencia submarina, trabajaron para crear un traje rígido que liberara al buzo de los problemas de la presión (Figura 6). En un traje rígido, el buzo podría respirar aire a la presión atmosférica y descender a mayores profundidades sin sufrir problemas por efecto de la presión. El aparato de buceo de barril, diseñado por Jonh Lethbridge en 1715 había sido en esencia un traje acorazado, pero con un limitado rango de operación.

La utilidad de la mayoría de los trajes rígidos es discutible. Eran muy incómodos para que el buzo desarrollara una tarea y demasiado complicados para proveer protección contra las presiones extremas. La máxima profundidad teórica para algunos de los trajes desarrollados en 1930 era de 700 pies, pero nunca fue alcanzada en inmersiones reales. Investigaciones más reciente en el área de los trajes rígidos, llamados actualmente “Trajes atmosféricos”, han demostrado capacidad para efectuar inmersiones de hasta 600 metros de profundidad (2000 pies de agua salada (fsw)).

Fig. 6. Traje de buceo rígido.

h.- **MK V Traje de alta profundidad**

Para 1905, en Estados Unidos, para un grupo de construcción y reparación submarina diseñó el casco MK V, el cual solucionaba muchos de los problemas encontrados en el buceo. Este fue diseñado para un extensivo y duro trabajo submarino, entregando al buzo de una protección corporal máxima y una maniobrabilidad adecuada.

El MK V traía un codo de entrada con una válvula de retención que permitía el ingreso de aire al casco, pero no la salida desde este al umbilical si el aire de alimentación era interrumpido. El aire era descargado desde el casco a través de una válvula de extracción que estaba en el lado derecho, debajo de la portezuela. La válvula de descarga salía desde la parte superior del casco para que las burbujas no interfirieran el campo de visión del buzo.

Para 1916, distintos mejoramientos fueron hechos al casco, incluyendo un rudimentario sistema de comunicaciones vía cable telefónico y una válvula de regulación operada desde el interior por un botón. La válvula de regulación permitía algo de control sobre la presión atmosférica. Una válvula suplementaria de relieve, conocida como “Spitcock“, fue agregada al lado izquierdo del casco. Fue incorporado un gancho de seguridad para mantener el casco atado al plato del pecho. La válvula de extracción y el sistema de comunicaciones fueron improvisados en el ano 1927, y el peso del casco fue disminuyendo para ser más confortable y liviano para el buzo.

Después del 1927, el MK V prácticamente no sufrió cambios, usando el mismo casco en las operaciones de Salvataje, asociando trajes más modernos, tanto en tiempos de paz como durante la Segunda Guerra Mundial. El MK V fue el equipo de buceo estándar de la Marina Norteamericana hasta ser reemplazado por el MK 12 en febrero de 1980 (Fig. 7). El MK 12 fue reemplazado por el MK 21 en diciembre de 1993. En la Armada de Chile el MK V fue usado en operaciones de buceo hasta la década de los ochenta donde fue reemplazado por las máscaras Superlite 16 y posteriormente en los años noventa por el casco Superlite 17 B. En la actualidad el equipo MKV es usado en la Escuela de Buceo como equipo introducción al Buceo de Salvataje.

Fig. 7 MK 12 y MK V.

10103. BUCEO AUTONOMO (SCUBA)

El equipo de buceo desarrollado por Charles y John Deane, Augustus Siebe, entre otros inventores, dieron al hombre la habilidad de estar y permanecer por periodos más largos bajo el agua, pero el movimiento fue limitado debido a la provisión de aire. Diferentes inventores buscaron métodos para incrementar los movimientos del buzo sin aumentar los riesgos. La mejor solución fue proveer al buzo de un acumulador de aire portátil. Por muchos años, este sistema fue una posibilidad teórica. Los primeros intentos de este sistema de aire comprimido, provocaban problemas por las burbujas y por su poca capacidad de almacenamiento de aire por problemas de presión. El desarrollo fue gradual, desarrollándose tres tipos diferentes:

- Circuito Abierto (donde el equipo descargaba al agua circundante)
- Circuito cerrado (donde el gas respiratorio es filtrado y re circulado)
- Circuito semi - cerrado (donde se combinan partes de los dos anteriores)

a.- **Circuito abierto Scuba**

Este es un sistema de circuito abierto, en donde el aire es inhalado desde un acumulador y la exhalación es descargada directamente al agua circundante.

1) Regulador de Demanda de Rouquayrol

El primer y más importante componente de un circuito abierto, es el regulador de demanda. Diseñado tempranamente en 1866 y patentado por Benoist Rouquayrol. El regulador ajusta el aire que entrega el acumulador a la presión y requerimientos del buzo. Sin embargo, estos cilindros de aire que contienen aire a alta presión, no eran lo suficientemente resistentes, por lo cual Roquayrol adaptó su regulador como un equipo de buceo de superficie y la tecnología se volcó hacia el diseño del sistema de circuito cerrado. La aplicación del concepto de Roquayrol, de su regulador de demanda, fue exitosa dentro del posterior diseño del "sistema abierto " ó Scuba (Self Container Breathing Apparatus), que debió esperar más de 60 años.

2) Diseño del Sistema Abierto Scuba de LePrieur's

La continuación del desarrollo del equipo de circuito abierto fue retomado en 1933. El Comandante LePrieur, un oficial naval francés, construyó un equipo de circuito abierto ó Scuba, usando un estanque de aire comprimido. Sin embargo, LePrieur no incluyó un regulador de demanda en su diseño y el buzo principalmente debía esforzarse en variar constantemente en controlar el aire en forma manual. La carencia del regulador de demanda, junto a una pequeña duración del aire, limitó el uso de este sistema.

3) Aqua-Lung de Cousteau y Gagnan

Al mismo tiempo que las operaciones de combate comenzaron utilizar el equipo de circuito cerrado, dos franceses llevaron a cabo un avance significativo dentro del diseño del circuito abierto del buceo Autónomo. Trabajando en un pequeño pueblo del mediterráneo, bajo condiciones difíciles y restrictivas por la ocupación alemana en Francia, Jacques - Yves Cousteau y Emile Gagnan combinaron un improvisado regulador de demanda con acumuladores de alta presión para crear el primer seguro y eficiente sistema de buceo autónomo de circuito abierto, conocido como Aqua-lung. Cousteau y su compañía llevaron este equipo a un alto grado de desarrollo tanto para la exploración, uso fotográfico de naufragios, desarrollando además nuevas técnicas de buceo.

El Aqua-lung, fue la culminación de cientos de años de progreso, combinando el trabajo de Rouquayol, LePrieur, y Fleuss, pioneros en el desarrollo del circuito cerrado. Cousteau usó sus equipos exitosamente hasta 180 pies de profundidad sin ninguna dificultad y al final de la guerra, el equipo Aqua-lung comenzó a ser comercializado. Hoy en día, el buceo autónomo (SCUBA) es el equipo de buceo más usado, ofreciendo una forma segura de aventurarse en las profundidades.

El impacto del Scuba en el Buceo

La libertad que dio el desarrollo del buceo autónomo, acrecentó el interés por el mismo. Tanto el buceo deportivo, como la utilización de estos equipos en beneficio de la ciencia y el comercio han crecido exponencialmente. Tanto es así, que en la actualidad existen más de 30.000 personas que realizan actividades de buceo en el país. Después de la Segunda Guerra Mundial, los conocimientos del buceo progresaron rápidamente, con énfasis propios en técnicas existentes, creando otras nuevas y desarrollando el equipamiento requerido para ellas. Una completa generación de nuevos y sofisticados equipos tomaron forma con sustanciales mejoras llegando a hacer circuitos combinados. Sin embargo, el aspecto más significativo en la tecnología de expansión ha sido el acercar el desarrollo de técnicas de saturación con sistemas de buceo profundo.

b.- **Circuito Cerrado de Buceo Autónomo**

El sistema básico del circuito cerrado, usa un cilindro de 100% de oxígeno que suple una bolsa de aire. El oxígeno usado por el buzo es re-circulado en el aparato, pasando a través de un filtro químico que remueve el dióxido de carbono. El nivel de oxígeno es mantenido por medio de la inyección de más oxígeno desde el acumulador. Para operaciones especiales de combate, el circuito cerrado posee una mayor ventaja sobre el circuito abierto, ya que no produce burbujas que puedan delatar al buzo.

1) Circuito Cerrado Scuba de Fleuss'

Henry A. Fleuss desarrolló el primer circuito cerrado Scuba comercial entre 1876 y 1878 (Fig. 8). El dispositivo de Fleuss consistía de un máscara impermeable y una bolsa de respiración que se conectaba a un acumulador revestido de cobre cargado al 100% de oxígeno a 450 psi. Al usar oxígeno a cambio del aire

comprimido, Fleuss eliminó la necesidad de usar tanques de alta resistencia. En los modelos primarios de este aparato, el buzo controlaba la alimentación de oxígeno fresco con una válvula manual.

Fleuss exitosamente probó su aparato en 1879. En la primera prueba él permaneció dentro de un estanque de agua por cerca de una hora. En la segunda prueba, caminó a lo largo de un arrecife a una profundidad de 18 pies. Durante la segunda prueba, Fleuss cortó el suministro de su oxígeno para ver que pasaría. Debido a la hipoxia quedó inconsciente y sufrió una embolia por el cambio de presión brusco al subir a superficie. Algunas semanas después que se recuperó, Fleuss hizo algunos arreglos y puso su diseño en operación en el área comercial.

En 1880, un buzo inglés llamado Alexander Lambert apareció con el aparato de Fleuss en una portada publicitaria. Lambert, usando el traje de Fleuss, debió recorrer un túnel inundado de más 1.000 pies de largo en completa oscuridad bajo el río Severn para reparar unas válvulas.

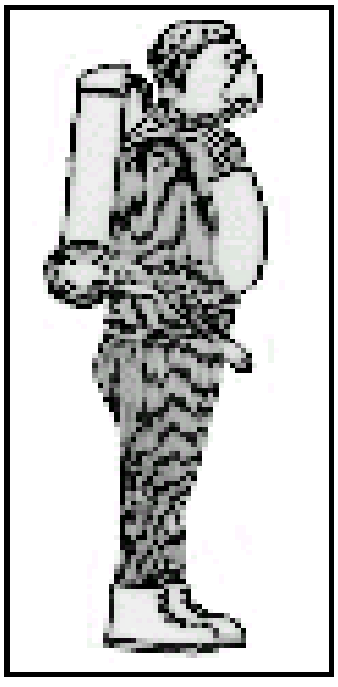


Fig. 8 Aparato de Fleuss.

2) Equipos Modernos de Circuito Cerrado (ECC)

El desarrollo del circuito cerrado continuó y los equipos de Fleuss fueron mejorados para agregar un regulador de demanda y acumuladores capaces de mantener oxígeno a más de 2.000 psi. Para la Primera Guerra Mundial, el sistema de Fleuss (con modificaciones) fue la base para el equipamiento de escape desde submarinos de la Armada Británica. En la Segunda Guerra Mundial, las unidades de circuito cerrado fueron ampliamente usadas para operaciones de combate.

c.- Riesgos del uso de oxígeno en el Sistema Autónomo Scuba Fleuss

Se desconocía de los serios problemas de la toxicidad provocada al respirar oxígeno al 100% en ambientes hiperbáricos. La toxicidad del oxígeno aparentemente no fue detectada cuando él usó su aparato en los primeros experimentos. El peligro de intoxicación por oxígeno había sido descubierto en 1878 por Paul Bert, un fisiólogo que había propuesto controlar la descompresión con oxígeno. En sus experimentos de laboratorio con animales, Bert demostró que respirar oxígeno bajo presión podía provocar convulsiones y muerte (toxicidad al oxígeno del sistema nervioso central (SNC)).

En 1899, J. Lorrain Smith descubrió que el respirar oxígeno por períodos prolongados de tiempo, a presiones similares, no era suficiente para causar convulsiones, podría provocar desde una irritación pulmonar hasta toxicidad del SNC. Los resultados de estos experimentos; sin embargo, no fueron muy conocidos o publicitados. Por muchos años, los buzos que utilizaron este tipo de equipos no fueron informados de los peligros del oxígeno contaminado.

La real seriedad del problema no fue claramente identificado hasta que en los inicios de la Segunda Guerra Mundial, un número considerable de soldados fue entrenado para bucear con circuito cerrado. Después de un gran número de accidentes por intoxicación de oxígeno, los Británicos establecieron una profundidad límite de 10 metros (33 pies). La Armada Norteamericana continuó después de la guerra con las investigaciones adicionales sobre la toxicidad, obteniendo como resultado que, para un trabajo normal, el límite máximo de profundidad recomendable para el re-respirador de Emerson es 25 pies por un tiempo de 75 minutos. También se determinó que en caso de emergencia era factible llegar a una profundidad máxima de 12 metros (40 pies) por un tiempo máximo de 10 minutos.

Estos límites operacionales proveían una restricción; por lo que, en la década de los 80, la Unidad Experimental de Buceo de la Armada Norteamericana, reexaminó el problema de la toxicidad de un modo global. Como resultado de este trabajo los límites adoptados para la Armada Norteamericana fueron flexibilizados.

d.- **Circuito semi-cerrado de buceo autónomo**

El circuito semi-cerrado combina características del sistema abierto y cerrado. Usando una mezcla de gases para respirar, el aparato recicla el gas a través de una pequeña caja, donde el dióxido de carbono se remueve y continuamente se va agregando pequeñas cantidades de oxígeno enriquecido mezclado con gas hacia el sistema desde el cilindro. El gas es proporcionado para prefijar la demanda de oxígeno del cuerpo: una cantidad similar del gas mezclado re-circulante, como una corriente, es continuamente expedido hacia el agua, porque la cantidad de gas usado es constantemente sacada hacia el fondo del mar, el circuito semi-cerrado provee de una duración significativa, más que el circuito abierto en buceo de alta profundidad.

1) **Re-respirador de Gas Mezclado de Lambertsen**

A fines de 1940, el Dr. C. J. Lambertsen, propuso utilizar una mezcla de nitrógeno ó helio con oxígeno para ser usado en el buceo autónomo y poder expandir el rango de profundidad de los equipos de circuito cerrado, que no permitía el uso de oxígeno al 100% en los re-respiradores, mientras simultáneamente, se minimizan los requerimientos para la descompresión.

A principios de 1950, Lambertsen introduce el FLATUS 1, un equipo semi-cerrado de buceo autónomo, que continuamente agrega un pequeño volumen de gas mezclado, de preferencia oxígeno puro, hacia el circuito de respiración. El pequeño volumen de nuevo gas provee el oxígeno necesario para las funciones de metabolismo mientras se exhala el dióxido de carbono hacia un recipiente absorbente. Porque el gas inerte, tan necesario como el oxígeno, es agregado hacia el equipo y como este no es consumido por el buzo, una pequeña cantidad es continuamente expedido desde el equipo.

2) **MK 6 UBA**

En 1964, después un significativo trabajo de investigación y desarrollo, la Armada Norteamericana adoptó un equipo de circuito semicerrado con mezcla de gas, el MK 6 UBA, para combate y operaciones EOD. Los procedimientos de descompresión para las mezclas de nitrógeno oxígeno (N_2 O_2) y helio-oxígeno (H_2 O_2), fueron desarrolladas por la Unidad Naval de Buceo Experimental. Los aparatos alcanzan una profundidad máxima de 200 pies y una duración de tres horas, dependiendo de la temperatura y la actividad del buzo. Porque el aparato fue basado en una masa constante de gas mezclado, la duración fue independiente de la profundidad alcanzada por el buzo.

A fines de 1960, se comenzó a trabajar en el desarrollo de un nuevo equipo utilizando nueva tecnología, permitiendo crear los equipos MK 15 y el MK 16 UBA. La presión parcial de oxígeno fue controlada como un valor constante por un sensor adosado al sistema. Como el buzo consume oxígeno, este sensor detectaba la baja de Oxígeno a través de la presión parcial y abría una válvula para el ingreso de una pequeña cantidad de oxígeno puro que se agregaba al sistema de respiración desde el cilindro. La adición de oxígeno fue calculada para el consumo del metabolismo de un buzo. El dióxido de carbono es absorbido por una reacción química en un filtro. El sistema tenía la duración y las características completas de un circuito cerrado de oxígeno sin los problemas y limitaciones asociadas con la toxicidad del oxígeno.

Al comenzar 1970, el MK 6 circuito semicerrado de respiración submarina (UBA), fue reemplazado por el UBA MK 15 (circuito cerrado con un sistema de presión parcial de oxígeno). La unidad Experimentación Naval de Buceo (ENDU) desarrolló a comienzos de 1980 procedimientos de descompresión para el MK 15 con nitrógeno y helio.

e.- **Uso del sistema autónomo (Scuba) durante la Segunda Guerra Mundial**

A pesar de que el equipamiento del circuito cerrado estaba limitado a poca profundidad y el potencial peligro de la toxicidad del oxígeno, este diseño alcanzó un gran nivel de eficiencia durante la guerra. Durante el conflicto, la unidades de combate submarino fueron ampliamente usadas por ambas partes. Los buzos usaron varios modos de ataque submarino. Notables éxitos fuero ejecutados, incluyendo el hundimiento de varios acorazados, cruceros y naves de carga.

1) **Torpedos guiados por buzos**

Los buzos Italianos usaban equipos de circuito cerrado y montando torpedos para guiarlos con controles manuales y a sí atacar naves Británicas. En 1936, la armada Italiana probó un carro de torpedo en el cual el buzo usaba un sistema de buceo creado por Fleuss y posteriormente perfeccionado por Davis Lung (Fig. 9). Originalmente, este sistema fue diseñado para escape submarino y más tarde, fue manufacturado en Italia bajo licencia Inglesa.

Los buzos ingleses, transportados en pequeños submarinos, colocaron cargas explosivas bajo el casco de la nave alemana llamada Tirpitz. Los británicos comenzaron su programa de carros para torpedos en 1942 usando el traje de Davis Lung. Los buzos usaron el MK 1, pero tenían tanques de oxígeno de acero, lo que dificultaba guiar los torpedos debido al peso. Los tanques de aluminio no eran comunes en Inglaterra para la época. La aviación Alemana usaba tanques de aluminio del mismo tamaño que los de acero por lo cual, los ingleses comenzaron a rescatar bombas alemanas que no explotaban para usarlos como tanques de oxígeno.

Fueron introducidos cambios en los trajes MK 2 y MK 3, agregando nuevos elementos en las válvulas, diseño del vidrio facial y varios componentes. Después de la guerra, el MK 3 se convirtió en el traje estándar de la Armada Real de Inglaterra para buceo de poca profundidad. El traje MK 4 alcanzó a ser usado a fines de la guerra. Sin querer, el MK 3 y MK 4 pudieron haber suplido el tanque de acero en la espalda del buzo al agregarlo en el carro del torpedo, esto hubiese dado mayor maniobrabilidad y libertad de acción al movimiento del buzo.

En la parte final de la guerra, los Japoneses emplearon un equivalente de su Kamikaze aéreo, los Kaiten, que guiaban los torpedos.

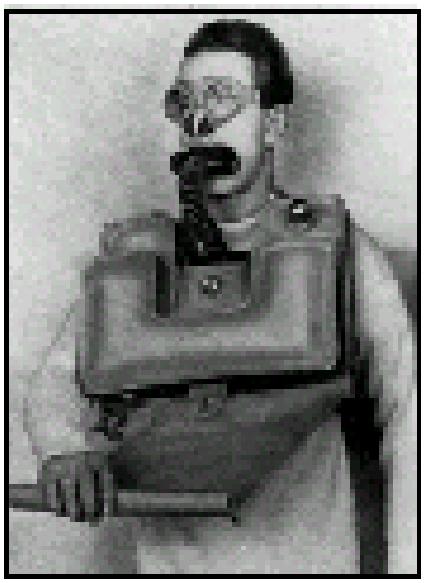


fig. 9. Aparato de escape sumergido original de Davis.

2) **Buzos de Combate Norteamericanos**

Habían dos grupos. Los buzos de reconocimiento de playas y los buzos operacionales. Los de playa, no usaban ningún tipo de respirador, aunque existían algunos modelos.

Sin embargo, los buzos operacionales bajo la Oficina de Servicio Estratégico, desarrollaron y aplicaron avanzados métodos para operaciones submarinas. Estos usaron la Unidad Respiratoria Anfibia de Lambertsen (LARU), un re-respirador inventado por el Dr. C.J. Lambertsen (Fig. 10). El LARU fue un circuito cerrado de oxígeno UBA usado en operaciones especiales ya que no expedía burbujas. Dentro de la guerra, el sistema Emerson- Lambertsen reemplazó al LARU (Fig. 11). La unidad Emerson fue usada por la Armada Norteamericana en operaciones especiales, hasta 1982, cuando se reemplazó por el Regenerador Automático Drager- Lung (LAR) V. El LAR V es la actual unidad estándar usada por los buzos de combate norteamericanos (Fig. 12).

Fig. 10. Unidad respiratoria anfibia de Lambertsen (LARU).

Fig. 11. Re-respirador de oxígeno de Emerson-Lambertsen.

Fig. 12. UBA Drager LAR V

10104. BUCEO CON GAS MEZCLADO

Las operaciones de buceo con gas mezclado utilizan otro medio respiratorio, en reemplazo del aire. Estos medios pueden consistir en:

. Nitrógeno y Oxígeno en proporciones diferentes a las encontradas en la atmósfera.

- Una mezcla de gases inertes con oxígeno (Helio y Argón entre otros

Las mezclas utilizadas pueden alcanzar el 100% de oxígeno, el cual no es gas mezclado, pero requiere de entrenamiento para un uso seguro.

El manejo de mezcla de gases en el buceo es de gran complejidad; por lo que, una operación de este tipo requiere de un entrenamiento especial, planificación detallada, equipamiento y especialización en muchas aplicaciones. Además, necesita de un soporte desde superficie; ya que, las operaciones, con frecuencia, son efectuadas a grandes profundidades ó por extensos períodos de tiempo, lo que incrementa los riesgos del personal.

Buceo no-saturado

1) Buceo con Helio-Oxígeno (HeO2)

Un inventor llamado Elihu Thomson, teorizó que el helio podría ser un apropiado sustituto para el nitrógeno en el gas respiratorio usado por los buzos.

a) Experimentos con mezclas de Helio – Oxígeno

En 1924, la Armada Norteamericana y el Bureau de minas patrocinaron una serie de experimentos usando una mezcla de helio y oxígeno. El trabajo preliminar fue conducido en la Estación Experimental del Bureau en Pittsburgh, Pennsylvania. (fig. 13).

Los primeros experimentos no mostraron efectos perjudiciales en las pruebas hechas con animales y seres humanos al respirar la mezcla, y el tiempo de descompresión fue acortado. El principal efecto fisiológico notado en los buzos fue:

. Incremento en la sensación de frío causado por la alta conductividad del helio.

. La aguda distorsión o efecto " Pato Donald" sobre la voz humana que resulta de las propiedades acústicas y la reducida densidad del gas.

Estos experimentos mostraron claramente que las mezclas de helio-oxígeno ofrecen grandes ventajas sobre el aire para el buceo de profundidad. Sentaron las bases para desarrollar tablas de descompresión confiables y aparatos especializados, los cuales son la piedra angular de la tecnología de buceo moderno.

En 1937, en las instalaciones de investigación de la Unidad Experimental de Buceo Norteamericanas, un buzo usando un traje de profundidad con una provisión de gas respiratorio de helio-oxígeno fue comprimido en una cámara hiperbárica hasta una profundidad de 500 pies. El buzo no fue informado de la profundidad y cuando se le pidió que hiciera una estimación de la profundidad, el buzo reportó que se sentía como si estuviera a 100 pies. Durante la

descompresión en la marca de 300 pies, la mezcla de respiración fue cambiada por aire y el buzo fue inmediatamente perturbado por la narcosis del nitrógeno.

La primera prueba práctica de helio-oxígeno vino en 1939, cuando el submarino USS Squalus fue rescatado desde una profundidad de 243 pies. En ese año, la Armada Norteamericana produjo tablas de descompresión para el buceo con helio-oxígeno alimentado desde la superficie.

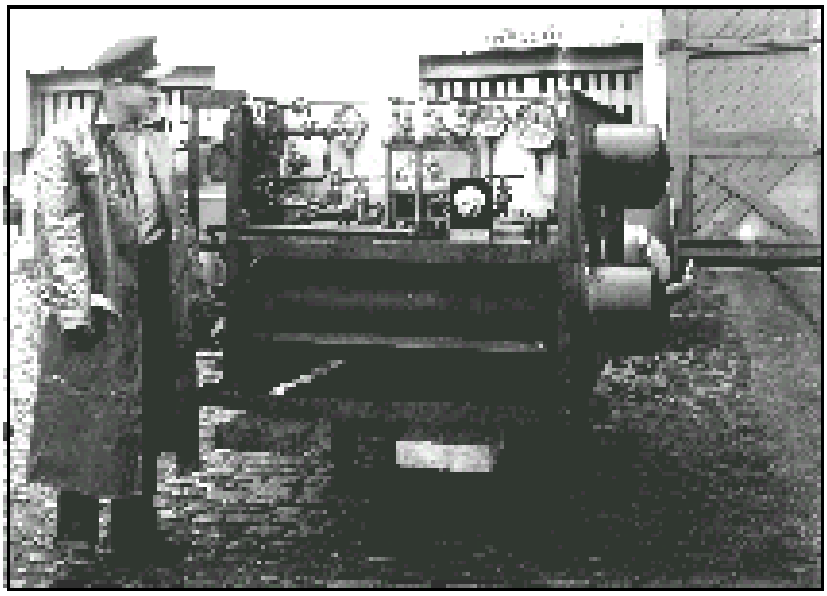


fig. 13. Manifold de Helio-Oxígeno de buceo

b) Casco MK V MOD 1

Debido a que el helio era caro y las provisiones a bordo eran limitadas, el casco de circuito abierto estándar MK V MOD 0 no era económico para el buceo con helio-oxígeno provisto desde la superficie. Después de experimentar con muchos diferentes diseños, la Armada de EEUU adoptó el circuito semi cerrado MK V MOD 1 (fig. 14).

El casco MK V MOD fue equipado con una cánula de absorción del dióxido de carbono y un ensamblaje de recirculación accionado con un venturi.

El gas en el casco era continuamente recirculado a través del depurador de dióxido de carbono por el venturi. Con la remoción del dióxido de carbono por el depurador en lugar de ventilar el casco, el flujo de gas fresco hacia el casco se reducía a la cantidad requerida para reponer el oxígeno. El consumo de gas del circuito semicerrado MK V MOD 1 era aproximadamente el 10% del circuito abierto MK V MOD 0.

El MK V MOD 1, con peto y cánula de recirculación de gas, pesaba aproximadamente 103 libras comparado con las 56 libras del casco de aire estándar y peto. Estaba dotado de un anillo de izamiento en la copa del casco para ayudar a cubrir con él al buzo y librar del peso los hombros del buzo hasta que era descendido al agua. El buzo era bajado e izado desde el agua con una plataforma de buceo conectada a una pluma a bordo.

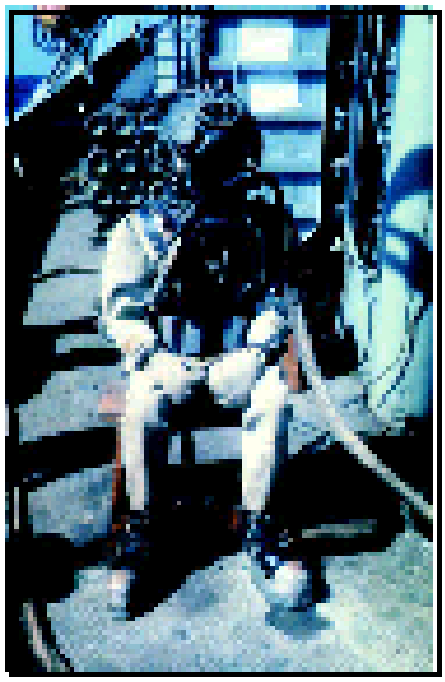


fig. 14. Casco MK V MOD 1

c) Diseños de civiles

Los buzos de la Armada de EEUU no estaban solos en el trabajo con mezclas de gases o helio. En 1937, el ingeniero civil Max Gene Nohl alcanzó los 420 pies en el lago Michigan mientras respiraba helio-oxígeno y usaba un traje de su propio diseño. En 1946 el buzo civil Jack Browne, diseñador de una máscara de buceo liviana que lleva su nombre, realizó una inmersión simulada de 550 pies. En 1948, un buzo de la Armada Británica estableció un record en mar abierto, usando una provisión militar de helio suministrada por EEUU.

2) Buceo con Hidrógeno-Oxígeno

En países donde la disponibilidad de helio era más restringida, los buzos experimentaban con otras mezclas de gases. El ejemplo más notable es el del ingeniero suizo Arne Zetterstrom, que trabajó con mezclas de hidrógeno-oxígeno. La explosiva naturaleza de tales mezclas era bien conocida, pero también era conocido que el hidrógeno no explotaba cuando se usaba en una mezcla con menos de un 4% de oxígeno. En la superficie, este porcentaje de oxígeno no sería suficiente para sostener la vida a 100 pies; sin embargo, la presión parcial del oxígeno sería equivalente al 16% de oxígeno en la superficie.

Zetterstrom ingenió un sencillo sistema para realizar la transición desde aire a hidrógeno-oxígeno sin exceder el límite del 4% de oxígeno. Al nivel de los 100 pies, reemplazaba su aire con una mezcla de 96% de nitrógeno y 4% de oxígeno. Luego reemplazaba esa mezcla con hidrógeno-oxígeno en las mismas proporciones. En 1945, después de algunas exitosas pruebas a 363 pies, Zetterstrom alcanzó los 528 pies. Desafortunadamente, debido a un malentendido entre su personal de apoyo de superficie, fue ascendido a la superficie demasiado rápido. Zetterstrom no tuvo tiempo de enriquecer su mezcla de respiración o descomprimirse adecuadamente y murió como consecuencia de los efectos de su ascenso.

3) **Buceo moderno con mezcla de gas suministrada desde la superficie**

Las Armadas de EEUU y Gran Bretaña continuaron desarrollando procedimientos y equipos para el buceo con helio-oxígeno suministrado desde la superficie en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial. En 1946 se estableció una Unidad Experimental de Buceo y en 1956, durante pruebas en mar abierto de buceo con helio-oxígeno, un buzo de la Armada Real alcanzó una profundidad de 600 fsw. Ambas marinas condujeron pruebas de descompresión de helio-oxígeno para desarrollar mejores procedimientos.

A principios de los 60, un joven entusiasta del buceo de Suiza, Hannes Keller, propuso técnicas para lograr mayores profundidades minimizando los requerimientos de descompresión. Usando una serie de mezclas de gases con diferentes concentraciones de oxígeno, helio, nitrógeno y argón, Keller demostró el valor de las presiones elevadas de oxígeno y el secuenciamiento del gas en una serie de exitosas inmersiones en lagos de montaña. En 1962, con el apoyo parcial de la Armada de EEUU, alcanzó una profundidad en mar abierto de más de 1000 fsw en las costas de California. Desafortunadamente, esta inmersión fue marcada por la tragedia. Debido a un percance no relacionado con la técnica en sí, Keller perdió la conciencia en el fondo y en la subsiguiente descompresión de emergencia el compañero de Keller murió debido al mal de descompresión.

A finales de los 60, era claro que el buceo con apoyo de superficie a profundidades mayores de 300 fsw se llevaba a cabo de mejor forma usando un sistema de buceo profundo (campana) donde las técnicas de secuenciamiento de gases desarrolladas por Hans Keller podían ser explotadas con gran ventaja, mientras se mantenía al buzo en un estado de confort y seguridad. La Armada de EEUU desarrolló procedimientos de descompresión para los sistemas de campanas de buceo a fines de los 60 y principios de los 70. Para el buceo con apoyo de superficie en el rango de los 0 – 300 fsw, la atención se centró en el desarrollo de nuevos equipos para reemplazar al incómodo casco MK V MOD.

4) **El equipo de buceo MK 1 MOD 0**

El desarrollo de nuevos equipos siguió a lo largo de dos caminos paralelos, desarrollando sistemas de respiración de demanda de circuito abierto apropiados para el buceo de profundidad con helio-oxígeno, y desarrollando un casco de recirculación mejorado para reemplazar al MK V MOD 1. A fines de 1960, mejoras en el desarrollo de ingeniería del regulador de demanda habían reducido la resistencia respiratoria en buceo profundo a niveles aceptables. Máscaras y cascos incorporaron los nuevos reguladores que luego serían comercializados. En 1976, la Armada Norteamericana aprobó al MK 1 MOD 0 de peso liviano, con equipo de gas mezclado (helio-oxígeno), para buceo de hasta 300 pies. (fig. 15). El MK 1 MOD 0 incorporó una máscara de banda ancha ó de cara completa, resaltando un circuito con regulador de demanda abierto y un acumulador en la espalda como de gas de emergencia. El contacto con la superficie, se mantuvo a través de un umbilical, que incluía una manguera de respiración, cable de comunicación , un cable de seguridad y un neumofatómetro. El buzo utilizaba un traje seco ó de agua caliente, según la temperatura del agua. El equipamiento fue entregado como un equipo de buceo liviano en un sistema con suficientes pertrechos para soportar el trabajo de dos buzos principales y uno de respeto. El equipo fue utilizado junto a una campana abierta que reemplazó al tradicional puente ó plataforma de seguridad. En 1990, el MK 1 MOD 0, fue reemplazado por el MK 21 MOD 1, (Superlite 17 B) ó casco de demanda. Este es el aparejo usado hasta hoy en la Armada Norteamericana.

En 1985, después de un intensivo período de desarrollo, el reemplazo directo del casco MK V MOD 1 fue aprobado. El nuevo MK 12, sistema de gas mezclado para buceo asistido (SSDS), fue similar al MK 12, sistema de aire para buceo de superficie (SSDS), con la adición de un acumulador en espalda para ensamblar y permitir operaciones en modo semi-cerrado. El sistema MK 12 fue retirado en 1992 después de la introducción del MK 21 MOD 1 ó casco de demanda.

Fig. 15. Equipo de buceo MK 1 MOD 0.

a.- Campanas de Buceo

Casi siempre abiertas, las campanas de presión balanceada, han sido usadas por largo tiempo, y no fue hasta 1928 que apareció una campana capaz de mantener la presión interna cuando llegaba a la superficie. En ese año, Sir Robert H. Davis, el pionero Británico de equipos de buceo, diseño la Cámara de Descompresión Sumergible (SDC). La cámara fue concebida para reducir el tiempo de una descompresión lenta, que le tomaba a un buzo dentro del agua.

La cámara de Davis fue un cilindro de acero, capaz de mantener a dos hombres con dos escotillas internas abiertas, uno en la parte superior y otro en la inferior. Un buzo de superficie, era desplegado sobre la cámara en forma horizontal para sumergirla a una profundidad de 60 pies con la escotilla inferior abierta para que quedara en posición vertical. Desde la superficie, la cámara era ventilada para impedir su hundimiento. El buzo ingresaba a la cámara y se detenía al tocar el agua, era asistido dentro de la cámara hasta que alcanzara los 60 pies. La manguera de gas y el cable de comunicaciones eran removidos desde el casco y eran sacados fuera de la cámara. La escotilla inferior era cerrada y la cámara era elevada hasta el puente donde el buzo terminaba la descompresión con seguridad y comodidad.

Para 1931, el incremento del tiempo de descompresión asociado con la profundidad del buceo y la necesidad de comodidad para el buzo, resultó en el diseño de un improvisado sistema de campana. Davis diseño una cámara de descompresión con tres niveles (DDC) la cual podía ser mecánicamente acoplada a la cámara original, permitiendo el paso del buzo bajo presión. El DDC proveía espacio adicional, una litera, comida y ropa para el buzo dentro de la espera por la descompresión. Este procedimiento permitió al SDC para ser usado por otros grupos de buceo para operaciones continuas.

El concepto de los SDC y DDC, fue el mayor avance en la seguridad del buceo, pero no fue aplicada en la tecnología Norteamericana hasta el advenimiento del buceo de saturación. En 1962, E. A. Link, empleó un SDC de aluminio para desarrollar su primer experimento de saturación en mar abierto. En su experimento, Link usó el SDC para transportar al buzo, desde y hacia el fondo marino y un DDC para la comodidad del mismo. El buceo norteamericano conoció de esta manera el Sistema de Buceo Profundidad (DDS) lo que hizo acrecentar el concepto a un nivel insospechado para ambas partes, influyendo en el buceo comercial.

b.- **Buceo y Saturación**

Todo buzo busca mayor profundidad y las misiones más ambiciosas, por ende, un método seguro para alcanzar estas profundidades, se transforma en algo crucial. Ejemplos de misiones de saturación, incluyen el rescate y salvataje submarino, trabajos en el fondo marino, construcciones, pruebas y observación científica. Estos tipos de operaciones son caracterizadas por la necesidad de un mayor tiempo en el agua y mayor eficiencia en las técnicas de saturación.

1) **Ventajas de la Saturación de Buceo**

En operaciones de buceo profundo, la descompresión es el factor de consumo de tiempo más importante. Por ejemplo, un buzo que trabaja por una hora a 200 pies, requiere gastar un adicional de tres horas y 20 minutos de descompresión en el agua.

Sin embargo, una vez que ha llegado a un nivel de saturación de estos gases en los tejidos del organismo, el tiempo total de descompresión no requiere de aumento de los tiempos. Cuando la sangre y los tejidos han absorbido todo el gas que pueden contener a esa profundidad, el tiempo requerido para la descompresión se hace constante. Si la profundidad no es incrementada, no es necesario aumentar el tiempo de descompresión.

Si un buzo pudiera permanecer bajo presión durante todo el período que se requiera para efectuar el trabajo, enfrentaría una prolongada descompresión sólo cuando requiera regresar a la presión atmosférica. Por 40 horas de labor a 200 pies, un buzo saturado podría gastar 5 días en el fondo de presión y dos días en descompresión en contra de gastar 40 días, haciendo 1 hora con largos períodos de descompresión usando métodos convencionales.

La Armada norteamericana desarrolló y probó técnicas de saturación en las series Sealab. Han sido desarrolladas avanzadas técnicas de saturación en programas de investigación y desarrollo de la Unidad Experimental de Buceo Naval (ENDU), en el Laboratorio Médico de Investigación Submarina (NSMRL), además de facilidades que otras instituciones y empresas. Por lo tanto, el buceo de saturación usando el sistema de buceo profundo (DDS), es ahora una capacidad probada.

2) **Teoría de Saturación de Bond**

Verdaderos ímpetus científicos fueron dados al concepto de saturación en 1957 cuando un médico de la unidad de buceo, Capitán George F. Bond, teorizó que los tejidos del cuerpo podían eventualmente llegar a saturarse con gas inerte si el tiempo de exposición era el suficiente. Bond, que entonces era Comandante y Director del Centro Médico y Submarino en Nuevo Londres, Connecticut, se reunió con el Capitán Jacques Yves Cousteau y determinaron que la información requerida para probar la teoría de saturación podía ser desarrollada en el Centro Médico.

3) **Proyecto Génesis**

Con ayuda de la Armada norteamericana, Bond inició el proyecto para probar su teoría de saturación. Una serie de experimentos, primero con animales y luego con seres humanos, probó que una vez que el cuerpo está saturado debido a un mayor tiempo en el fondo, no requeriría de un tiempo adicional de descompresión. El proyecto Génesis probó que el hombre puede mantenerse por largos períodos bajo presión.

4) **Pruebas de Desarrollo**

Las primeras pruebas serias de buceo fueron efectuadas a inicios de 1960:

. La primera práctica de demostración a mar abierto fue en Septiembre de 1962, bajo la supervisión de Edward A. Link y el Capitán Jacques Yves Cousteau.

. "Hombre en el mar ", nombre dado a la prueba en el mar, tenía a un buzo respirando una mezcla de Helio-Oxígeno a 200 pies por 24 horas con un sistema de buceo especialmente diseñado.

. Cousteau dejó a dos hombres en un hábitat submarino, con presión balanceada a 33 pies, con mezcla de gas. Estuvieron por 169 horas, moviéndose libremente y saliendo y entrando de su "casa hundida ".

. La "Concha Cono Uno de Cousteau", soportó a seis hombres respirando Nitrógeno-Oxígeno a 35 pies por 7 días.

. En 1964, Link y Lambertsen condujeron una exposición de dos hombres por dos días a 430 pies.

. La "Concha Cono Dos de Cousteau ", experimentó el mantener a un grupo de siete hombres por 30 días a 36 pies y 90 pies, con excursiones submarinas hasta 330 pies.

5) **Programa Sealab (Laboratorio Submarino)**

El esfuerzo experimental más conocido de la Armada Norteamericana en saturación submarina, fue el Programa Sealab.

a) **Sealab 1 y 2**

Después de completar el Proyecto Génesis, la Oficina Naval de Investigación, el Laboratorio de Información de Defensa Naval y un pequeño grupo encabezado por Bond y sus voluntarios, se instalaron en Panamá City (Florida), donde construyeron y probaron el Sealab 1. Las pruebas de hábitat comenzaron en Diciembre de 1963.

En 1964 el Sealab 1 colocó cuatro hombres bajo el agua por 4 días a una profundidad promedio de 192 fsw. El hábitat fue eventualmente izado a 81 fsw, donde los buzos fueron transferidos a una cámara de descompresión que estaba montada a bordo de una estructura de soporte de 4 patas costa afuera.

En 1965, el Sealab 2 puso 3 equipos de 10 hombres cada uno en un hábitat a 205 fsw. Cada equipo estuvo 15 días a esa profundidad y un hombre, el astronauta Scott Carpenter permaneció 30 días (Figura 16).

b) **Sealab 3**

El siguiente experimento en fondo marino, el Sealab 3 fue planeado para 600 fsw. Esta gran empresa no sólo requirió un extenso desarrollo y testeo de equipos, sino además el logro de la tolerancia humana a ambientes de alta presión.

Para prepararse para el Sealab 3, se realizaron 28 inmersiones de saturación helio-oxígeno en la Unidad de Buceo Experimental de la Armada (NEDU), a profundidades de 825 fsw entre 1965 y 1968. En 1968 se realizó una inmersión récord de 1025 fsw desde una profundidad de saturación de 825 fsw en la NEDU. La culminación de esta serie de pruebas fue una inmersión de saturación de tres

días a 1000 fsw, conducida conjuntamente por la Armada de EEUU y la Universidad de Duke en las cámaras hiperbáricas de Duke. Esta fue la primera vez que el hombre estaba saturado a 1000 fsw. Los experimentos de preparación del Sealab 3 mostraron que el hombre estaba listo para realizar trabajo útil bajo presiones de hasta 31 atmósferas y podía ser devuelto a la presión normal sin daño.

Alcanzar la profundidad intentada por el hábitat Sealab 3 requirió un apoya altamente especializado, incluyendo una campana de buceo para transferir los buzos bajo presión desde el hábitat a una cámara presurizada de descompresión sobre cubierta. El experimento; sin embargo, fue alcanzado por la tragedia. Poco después de ser comprimido a 600 fsw, el acuanauta Berry Cannon convulsionó y se ahogó. Este desafortunado accidente terminó la relación de la Armada con los hábitat submarinos.

c) **Continuación de la investigación**

El desarrollo y la investigación continuaron extendiendo el límite de profundidad para el buceo de saturación y mejorando la capacidad de los buzos. La mayor profundidad alcanzada por la Armada de EEUU hasta hoy fue en 1979, cuando buzos del NEDU completaron una inmersión de 37 días a 1800 fsw en sus instalaciones de Simulación Oceánica. El récord mundial de profundidad para saturación experimental, logrado en la Universidad de Duke en 1981, es de 2250 fsw, y se han realizado inmersiones no militares en mar abierto más allá de los 2300 fsw. Han comenzado experimentos con mezclas de hidrógeno, helio y oxígeno, cuyo éxito ha sido demostrado en 1988, con inmersiones en mar abierto a 1650 fsw.

Las técnicas avanzadas de buceo de saturación están siendo desarrolladas en los programas actuales de investigación y desarrollo en el NEDU, El Laboratorio de Investigación Médica Submarina de la Armada (NSMRL), y muchas instalaciones hiperbáricas comerciales e institucionales.

d.- **Sistemas de buceo profundo**

Los experimentos en la técnica de saturación requerían un sustancial apoyo desde la superficie así como un extensivo equipamiento submarino. Los DDS son una mejora sustancial respecto de métodos previos de lograr trabajo submarino de profundidad. Los DDS permiten la adaptación a las técnicas de saturación y permiten mantener al buzo saturado bajo presión en un ambiente seco. Empleados ya sea para el buceo de saturación o no, el DDS elimina totalmente los largos períodos de descompresión en el agua, donde el buzo está sujeto a un ambiente de gran stress. El buzo sólo permanece en el agua el tiempo necesario para completar una misión. El uso de DDS incluye beneficios adicionales como la eliminación de la necesidad de hábitat submarinos y el incremento de la flexibilidad operacional para el buque de apoyo en superficie.

El Sistema de Buceo Profundo consiste de una Cámara de Descompresión de Cubierta (DDC) montada sobre el buque de apoyo en la superficie. Una Cápsula de Transferencia Personal (PTC) está aparejada al DDC, y ambos son presurizados a la profundidad de trabajo. Dos o más buzos ingresan al PTC, el cual es desaparejado y descendido en el agua hasta el lugar de trabajo. El interior de la cápsula es presurizado para igualar la presión ejercida por la columna de agua, se abre una escotilla y uno o más buzos salen para efectuar la misión encomendada. Los buzos pueden usar un aparato de respiración autónomo con una línea de seguridad a la cápsula o emplear un casco con un umbilical que suministre el gas de respiración y las comunicaciones. Después de completar el objetivo, los buzos ingresan a la cápsula, cierran la escotilla y retornan al buque de apoyo con el interior de la PTC aún a la presión de trabajo. La cápsula es aparejada a bordo y conectada a la DDC presurizada. Los buzos entran a la DDC (de mayor tamaño y más confortable) vía una antecámara. Permanecen en la DDC hasta que deban retornar al sitio de trabajo submarino. La descompresión es llevada a cabo sólo al término de todas las excursiones y en forma mucho más segura y confortablemente por estar en el buque de apoyo.

La Armada Norteamericana desarrolló cuatro sistemas de buceo profundo: ADS-IV, MK 1 MOD 0, MK 2 MOD 0 y el MK 2 MOD 1.

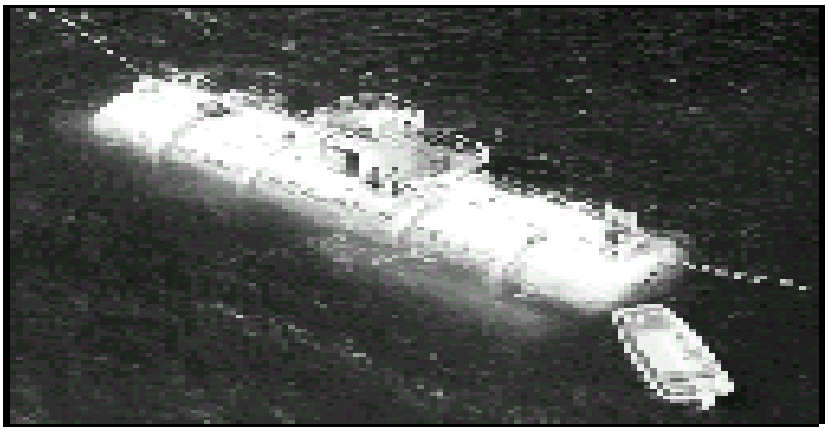


Fig. 16. Sealab II

fig. 17. Primer DDS, SDS-450, de la Armada de EEUU.

1) **ADS-IV**

Varios años antes del experimento del Sealab 1, la Armada Norteamericana desplegó exitosamente el Sistema Avanzado de Buceo IV (ADS- IV) (fig. 17). El ADS-IV era un pequeño sistema de buceo profundo con una capacidad de alcanzar 450 fsw. El ADS-IV fue llamado más tarde SDS-450.

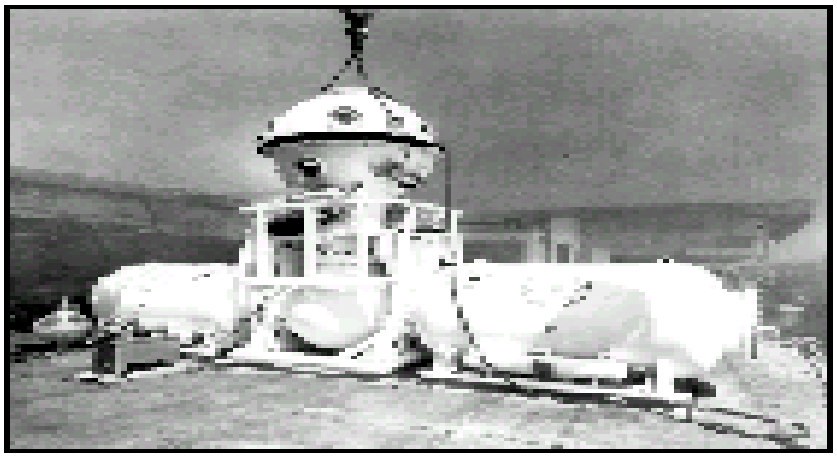


Fig. 17. Primer DDS, SDS-450, de la Armada de EE.UU.

2) **MK 1 MOD 0**

El DDS MK 1 MOD 0 era un pequeño sistema diseñado para ser usado en la nueva clase de buques de salvataje ATS-1, estuvo bajo evaluación operacional en 1970. El DDS consistía de una Cápsula de Transferencia Personal (PTC) (fig. 18), un sistema de soporte vital, una consola de control principal y dos cámaras de descompresión para manejar dos equipos de dos buzos cada uno. Este sistema también fue usado para la evaluación operacional del MK 11 UBA, aparato de mezcla de gas y circuito semicerrado para el buceo de saturación. EL DDS MK 1 MOD 0 condujo una inmersión en mar abierto de 1148 fsw en 1975. El MK 1 MOD 0 no fue instalado en los buque ATS según el plan original sino colocado sobre una barcaza y asignado a la Unidad II de Buceo. El sistema fue dado de baja en 1977.

Fig. 18. Cápsula de transferencia de personal DDS MK 1.

3) **MK 2 MOD 0**

El experimento del Sealab III requirió un sistema de buceo profundo de mayor tamaño y capacidad que el MK 1 MOD 0. El MK 2 MOD 0 fue construido e instalado en el buque de apoyo *Elk River* (IX-501). Con este sistema, los buzos podían ser saturados en una cámara sobre cubierta bajo atenta observación y luego transportados al hábitat para la permanencia submarina o podían circular hacia y desde la cámara de descompresión y el fondo marino mientras trabajaban en el exterior del hábitat. La campana también podía ser usada en un modo de observación no presurizado. Los buzos serían transportados desde el hábitat a la cámara de descompresión en cubierta, donde la descompresión final tendría lugar bajo atenta observación.

4) **MK 2 MOD 1**

La experiencia obtenida con el MK 2 MOD 0 a bordo del Elk River (ver Figura 19) llevó al desarrollo del MK 2 MOD 1, un DDS mayor y más sofisticado. El MK 2 MOD 1 soportaba 2 equipos de 4 hombres para inmersiones de saturación de largo aliento con una capacidad normal de 850 fsw. El complejo de buceo consistía de dos sistemas completos, uno a estribor y uno a babor. Cada sistema tenía un DDC con un sistema de soporte vital. una PTC, una consola de control principal, Un cable reforzado de poder y comunicaciones (SPCC) y apoyo del buque. Los dos sistemas compartían un sistema de recuperación de helio. El MK 2 MOD 1 fue instalado en las naves de rescate submarino de la Clase ASR 21.

Fig. 19. Sistema de manejo de PTC*, Elk River*

10105. SALVATAJE Y RESCATE SUBMARINO

A principios del siglo 20, las principales armadas del mundo desviaron su atención al desarrollo de un arma de inmenso potencial "El submarino". El efectivo uso de los submarinos por parte de la Armada Alemana en la I Guerra Mundial realzó este interés y se estableció un énfasis sobre los submarinos, él que se mantiene hasta hoy.

La Armada de EEUU había estado operando submarinos sobre una base limitada varios años antes del 1900. A medida que la tecnología Norteamericana se expandía, la flota de submarinos crecía rápidamente. Sin embargo, durante el período de 1912 a 1939 el desarrollo de los Submarinos de las Clases F, H y S fue marcado por una serie de accidentes, colisiones y naufragios. Varios de estos desastres submarinos obligaron a un rápido desarrollo de la capacidad de buceo de la Armada de EEUU.

Hasta 1912, los buzos de la Armada de EEUU raramente bajaban de los 60 fsw. En ese año, el Artillero Jefe George D. Stillson estableció un programa para evaluar las tablas de buceo de Haldane y los métodos de descompresión por etapas. Otro objetivo del programa era mejorar el equipamiento de buceo de la Armada. Durante un período de tres años, primero con inmersiones en tanques terrestres y luego en aguas abiertas en el canal de Long Island desde el USS Walkie, los buzos de la Armada fueron progresivamente más profundo, llegando eventualmente a 274 fsw.

a.- **USS F-4**

La experiencia adquirida con el programa de Stillson fue dramáticamente puesta en uso en 1915 cuando el submarino USS F-4 se hundió cerca de Honolulu, Hawai. Veintiún hombres perdieron la vida en el accidente y la Armada perdió su primer buque en 15 años de operaciones submarinas. Los buzos de la Armada recuperaron el submarino y los cuerpos de la tripulación. El esfuerzo de salvataje incorporó varias técnicas nuevas, como el uso de pontones de izamiento. Lo más notable sin embargo fue que los buzos completaron un gran esfuerzo de salvataje trabajando a la extrema profundidad de 304 fsw, usando aire como mezcla de respiración. Los requerimientos de descompresión limitaron el tiempo máximo de inmersión a 10 minutos. Aún con tan limitado tiempo, la narcosis del nitrógeno complicó la concentración de los buzos en el trabajo.

La publicación del primer Manual de Buceo de la Armada de EEUU y el establecimiento de la Escuela de Buceo de la Armada en Newport, Rhode Island, fueron el fruto directo de la experiencia ganada con el programa de pruebas y el salvataje del USS F-4. Cuando los EEUU entraron a la I Guerra Mundial, el personal y los graduados de la escuela fueron enviados a Europa, donde condujeron varias operaciones de salvataje a lo largo de la costa francesa.

Los problemas fisiológicos encontrados en el salvataje del USS F-4 claramente demostraron las limitaciones del aire como mezcla de respiración durante el buceo de profundidad. La preocupación continuó respecto de los futuros requerimientos de rescate y salvataje submarino, y obligaron a focalizar la atención de la Armada de EEUU en la necesidad de investigar un nuevo medio de respiración para los buzos.

b.- **USS S-51**

En Septiembre de 1925, el USS S-51 fue embestido por un buque de pasajeros y se hundió en 132 fsw fuera de Block Island, Rhode Island. EL buceo de la Armada fue puesto en un agudo foco, constatando que sólo tenía 20 buzos capacitados para ir más allá de los 90 fsw. El programa de entrenamiento de buzos había sido cortado al final de la I Guerra Mundial y la Escuela de Buceo no había sido restituida.

El salvataje del USS S-51 cubrió un lapso de 10 meses de difícil y peligroso buceo, y fue hecho un curso especial de entrenamiento como parte de la operación. El submarino fue finalmente izado y remolcado hasta el Astillero Naval de Brooklyn en New York.

El interés en el buceo estaba otra vez en alza y en 1927 fue reestablecida la Escuela Naval de Buceo y Salvataje en el Astillero Naval de Washington. Al mismo tiempo, la Armada reunió la tecnología existente y su trabajo experimental en el mismo lugar, al cambiar la Unidad Experimental de Buceo (EDU), la que había estado trabajando con la Oficina de Minas en Pennsylvania, al mismo Astillero. En los años siguientes, la EDU desarrolló las Tablas de Descompresión de Aire de la Armada de EEUU, las que se han convertido en el estándar mundial aceptado y continuaron el trabajo de desarrollar una mezcla de respiración de helio-oxígeno para el buceo de profundidad.

Las pérdidas del USS F-4 y el USS S-51, proveyeron el ímpetu para expandir la capacidad de buceo de la Armada. Sin embargo, la incapacidad de la Armada para rescatar a los hombres atrapados en un submarino averiado no fue confrontada hasta que ocurrió otro gran desastre submarino.

c.- **USS S-4**

En 1927, la Armada perdió el submarino USS S-4 en una colisión con un buque perteneciente a la Guardia Costera llamado USS Paulding. El primer buzo en alcanzar el submarino a 102 pies, 22 horas después del naufragio, intercambió señales con los hombres atrapados dentro del submarino. El submarino tenía a la vista el aparejo diseñado para tomar un cable desde la superficie, pero en la teoría era más fácil su conexión que en la realidad. Con el mar tormentoso que provocaba constantes atrasos, los buzos no pudieron hacer la conexión para rescatarlos. Todos los hombres a bordo del USS-4 habían fallecido. Aunque hubiesen logrado hacer la conexión a tiempo, rescatar a la tripulación hubiese sido de todos modos un problema significativo.

El USS-4 fue recuperado después de grandes esfuerzos, suerte y valentía de un grupo de marinos que lograron reflotarlo a fin de poder prever nuevos desastres. El teniente C.B. Momsen, un oficial submarinista, desarrolló el escape a pulmón el cual lleva su nombre. Esta operación fue probada por primera vez en 1929 cuando 26 oficiales y sus hombres alcanzaron la superficie exitosamente desde un hundimiento submarino artificial.

d.- **USS Squalus**

La Armada desarrolló una cámara de salvataje que fue esencialmente una cámara de buceo con pertrechos especiales para conectarlas a un puente escotilla de un submarino. El aparato, llamado Cámara de Rescate de McCann-Erickson, fue probado en 1939 cuando el USS Squalus, llevando una tripulación de 50 submarinistas se hundió a 243 pies. La cámara de rescate hizo cuatro viajes y llevó a salvo a 33 hombres a la superficie. Los demás habían perecido durante el hundimiento.

El USS Squalus fue reflotado por buzos de salvataje (fig. 20) después de muchos meses de trabajo. Este salvataje y operación de rescate marcó la primera operación usando HeO2 como medio respiratorio. Una de las primeras tareas de los buzos de salvataje fue amarrar un cable bajo el casco usando la cámara de rescate. Luego de reflotarlo y repararlo, el submarino cambió su nombre por USS Sailfish, marcando récords en la segunda guerra mundial.

Fig. 20. Recuperación del *Squalus*

e.- **USS Thresher**

Entre los años 1920 y 1930, tras las pérdidas del USS F-4, USS S-51, USS S-4 y el hundimiento del USS Squalus, se produjo una creciente preocupación dentro de los buzos navales por los buceos a alta profundidad. Un desastre submarino de mayores proporciones produjo un profundo efecto dentro del desarrollo de los nuevos equipamientos y técnicas de buceo en el período de la post-guerra. Esta fue la pérdida del submarino nuclear USS Thresher y toda su tripulación en abril de 1963. El hundimiento alcanzó los 8400 pies, profundidad que superaba ampliamente el límite de supervivencia y era demasiado extensa para cualquier sistema de rescate.

Fue iniciada una extensa investigación para localizar y determinar las causas del hundimiento. Los primeros restos del USS Thresher fueron localizados y fotografiados un mes después del desastre. Una colección de deshechos y material fotográfico del desastre continuaron siendo analizados por más de un año.

Dos grupos especiales de estudios fueron creados como resultado de este hundimiento. El primero fue una Corte de Investigación, la cual atribuía probables causas de fallas en el sistema de tuberías. El segundo, Grupo de Revisión en Buceo Profundo (DSRG) fue formado para asistir las capacidades navales bajo el mar. Cuatro áreas generales fueron examinadas: búsqueda, rescate, recuperación de pequeños y grandes objetos y el concepto de “hombre en el mar”. Las recomendaciones básicas del DSRG fueron el incentivar mayores esfuerzos dentro de la Armada en estas cuatro áreas.

f.- **Proyecto - Sistema de buceo Profundo**

Una acción directa en las recomendaciones del DSRG llegó con la formación del proyecto - sistema buceo profundo (DSSP) en 1964 y el interés se expandió tanto a los buzos como a la actividad naval dentro y fuera de la armada.

Las capacidades de rescate submarino habían crecido con el desarrollo y creación del Vehículo de Rescate para Buceo Profundo (DSRV) el cual llegó a estar operativo en 1942. Este vehículo transporta aire e instrumentos con capacidad para sumergirse de hasta 5000 pies y efectuar rescates hasta los 2500 pies.

Tres áreas adicionales muy importantes en este proyecto habían sido la saturación de buceo, el desarrollo de los sistema de buceo profundo y un progresivo y avanzado diseño en los equipos de buceo.

10106. BUCEO DE SALVATAJE

a.- La Era de la II Guerra Mundial

1) Pearl Harbor

Los buzos fueron incluidos en la guerra cuando los japoneses invadieron Pearl Harbor. El ataque comenzó a las 7:55 A.M. del 7 de Diciembre de 1941; para las 9:15 A.M. de esa misma mañana, el primer grupo de salvataje había cortado todas las amarras que tenían atascado al Destructor USS Oklahoma para rescatar a los marinos. Grupos de buzos trabajaron para rescatar municiones desde las naves averiadas para estar listos en la eventualidad de un segundo ataque.

La inmensa labor de salvataje que siguió a Pearl Harbor fue altamente exitosa. Los Destructores, uno de los primeros blancos del ataque, fueron fuertemente dañados. Otras seis naves fueron hundidas y una con serios riesgos de hundimiento. Cuatro de ellas fueron salvadas y retornadas a la flota para combatir. El USS Arizona y el USS Utah no pudieron ser rescatados. El USS Oklahoma fue reparado y reflotado, pero se hundió camino a las costas norteamericanas.

Los destructores no fueron los únicos en ser rescatados. Entre 1942 y parte de 1943, buzos navales trabajaron en destructores, buques de relevo y otras barcazas con pertrechos para lo cual usaron cofferdams que permitían aislar el lugar de trabajo del mar. En el trabajo realizado en Pearl Harbor, los buzos realizaron más de 16 mil horas bajo con un total de 4 mil inmersiones. Buzos civiles fueron contratados y trabajaron otras 4 mil horas.

2) USS Lafayette

Mientras los buzos trabajaban duramente en el pacífico, un reto mayor se presentó en la costa atlántica. La Normandie, nave francesa de pasajeros quien pasó a ser el USS Lafayette, se incendió en el muelle 88 de Nueva York. Perdió su estabilidad a raíz de la cantidad de agua utilizada en extinguir el fuego, volcándose completamente hasta hundirse en las profundidades del río.

La nave quedó cerca de uno de los pilares de mayor importancia de este muelle. El salvataje debía hacerse con sumo cuidado y la armada tomó ventaja de su única oportunidad para poder rescatarla. A raíz de esto se estableció la Escuela Naval de Entrenamiento para Salvataje, creada en Septiembre de 1942 y transferida a Bayonne, Nueva Jersey en 1946.

3) **Otras misiones de Buceo**

Las operaciones de salvataje no fueron las únicas asignadas a los buzos durante la guerra. Muchos buzos hicieron trabajos de inspección submarina a las naves enemigas y de sustracción de libros de códigos ó cualquier información de inteligencia. Un crucero Japonés que se rindió, aportó mucha información sobre los planes de defensa de su país contra una anticipada invasión Aliada.

a.- **La Era de Vietnam**

La Unidad Uno de Despeje de Puertos (HCU 1), fue comisionada el primero de febrero de 1966 para dar apoyo móvil en el soporte de las operaciones de combate en Vietnam. Con base naval en Filipinas, el HCU 1 se dedicó primeramente a restituir puertos marítimos y ríos para la navegación, bajo condiciones de combate.

Comenzando con un pequeño grupo de hombres, el HCU 1 rápidamente creció y superó la 260 personas, los cuales llevaron a cabo diversas operaciones de combate en el litoral. En sí, las unidades consistieron en cinco grupos de veinte a veintidós personas cada uno, los cuales eran conocidos como limpiadores de puertos.

Como sus predecesores dentro de la II Guerra Mundial, el HCU 1 dejó un importante legado en las misiones de salvataje en combate. Este grupo salvó cientos de pequeñas embarcaciones, barcazas, reflotaban aviones pequeños y muchos pertrechos dentro del mar; despejaban obstrucciones, navegaban bajo canales profundos, puentes y realizaban numerosas reparaciones submarinas a las naves de combate.

10107. RÉCORD DE BUCEO PROFUNDO A MAR ABIERTO

Los récords de buceo han sido alcanzados y superados con regularidad creciente desde los inicios del año 1900:

.1915 El límite de 300 pies fue excedido. Tres buzos americanos, F. Crilley, W.F. Loughman, y F.C. Nielson, alcanzaron los 304 pies usando el taje MK V.

.1972 El MK 2 MOD 0 DDS, puesto en el agua alcanzó el récord de 1010 pies.

.1975 Los buzos que usaron el MK 1, sistema de buceo profundo, descendieron a 1148 pies.

.1977 Un grupo de buzos franceses rompen el récord alcanzando los 1643 pies.

.1981 La operación de salvataje a mayor profundidad realizada por buzos fue a 803 pies cuando un grupo de británicos rescataron 431 lingotes de oro desde la bodega del HMS Edinburgh, hundido durante la II Guerra Mundial.

.Actualmente, el buceo comercial hace operaciones sobre los 1000 pies.

10108. RESUMEN

A través de la evolución del buceo, desde las tempranas vejigas para mantener la respiración hasta el moderno sistema de saturación, las razones básicas para bucear no han cambiado. La defensa nacional, el comercio y la ciencia continúan proveyendo empuje para el desarrollo buceo. Lo que sí ha cambiado y seguirá cambiando es la tecnología en el buceo.

Cualquier persona que se prepara para bucear, tiene la oportunidad y obligación de conocer todo lo referente a lo que sus predecesores lograron bajo tantas dificultades y experiencias peligrosas. El buceo moderno debe dar un entendimiento global sobre las propiedades físicas que se desarrollan bajo el agua y un conocimiento detallado, tanto para un hombre como una mujer, en el cómo es afectado su sistema fisiológico dentro de este elemento. Los buzos deben aprender y adaptarse a las condiciones del medio submarino para llevar a cabo exitosamente sus misiones.

Mucha de la educación práctica del buzo viene de la experiencia. Sin embargo antes de que un buzo tenga esta experiencia, él o ella deben construir un fundamento básico desde principios tanto físicos, químicos y fisiológicos, y deben entender la aplicación de ellos para la profesión de bucear.

TRATADO 2

FÍSICA SUBMARINA

20101. INTRODUCCIÓN

a.- **Propósito**. Este capítulo describe las leyes de la física y su efecto sobre los seres humanos en el agua.

b.- **Alcance**. Una completa comprensión de los principios delineados en este capítulo es esencial para la práctica segura y efectiva del buceo.

20102. FÍSICA

El hombre funciona actualmente dentro de una estrecha película atmosférica que rodea la superficie de la tierra y rara vez se preocupan por los elementos que permiten su sobrevivencia. Fuera de las fronteras de esta película el ambiente es hostil y la existencia del ser humano se hace riesgosa si no conocemos los fenómenos físicos que nos afectan. Para funcionar en forma segura, los buzos deben comprender las características del ambiente submarino y las técnicas que pueden ser utilizadas para disminuir o modificar los peligros a que nos exponemos. Para lograr esto, un buzo debe poseer un conocimiento adecuado de la física, la ciencia de la materia y la energía. Dentro de la física cobra particular importancia para un buzo, el comportamiento de los gases, el principio de boyantez y las propiedades del calor, la luz y el sonido.

20103. LA MATERIA.

Materia es cualquier cosa que ocupe espacio y tenga masa, siendo el bloque de construcción del mundo de la física. La energía se requiere para que la materia cambie de dirección o forma.

a.- **Elementos químicos.** Un elemento es la forma más simple de la materia que exhibe distintas propiedades físicas y químicas. Un elemento no puede ser divididos por medios químicos en otras formas más básicas. Los científicos han identificado más de 100 elementos en el universo físico. Los elementos se combinan para formar las más de cuatro millones de sustancias conocidas por el hombre.

b.- **Átomos**. El *átomo* es la partícula más pequeña de materia que transporta las propiedades específicas de un elemento. Los átomos están conformados por partículas eléctricamente cargadas conocidas como protones, neutrones y electrones. Los protones tienen carga positiva, los neutrones una carga neutra y los electrones tienen carga negativa.

c.- **Moléculas**. Las *moléculas* se forman por agrupación de átomos (Figura 1). Las moléculas generalmente presentan propiedades diferentes a cualquiera de los átomos constituyentes. Por ejemplo, cuando dos átomos de hidrógeno se combinan con uno de oxígeno, se forma una nueva sustancia, "AGUA". Algunas moléculas son activas y tratan de combinarse con moléculas que la rodean. Otras moléculas son inertes y no se combinan naturalmente con otras substancias. La presencia de elementos inertes en las mezclas de respiración son importantes cuando se calculan las necesidades de descompresión de un buzo.

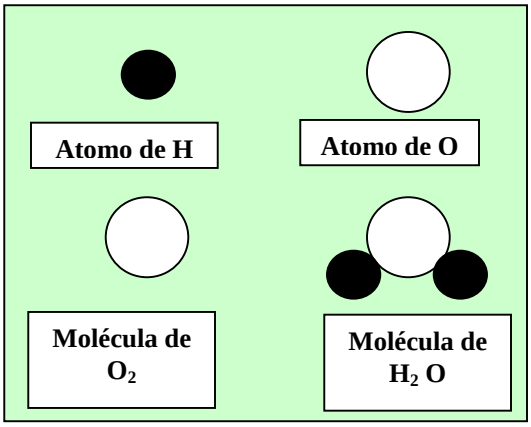


Figura 1. Moléculas. Dos átomos similares se combinan para formar una molécula de oxígeno mientras que los átomos de dos moléculas diferentes, hidrógeno y oxígeno se combinan para formar una molécula de agua.

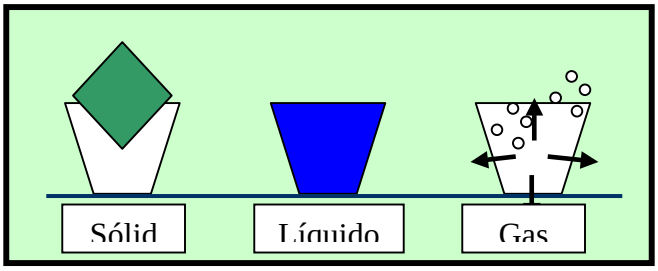


Figura 2. Los tres estados de la materia

d.- **Los tres estados de la materia**. La materia puede existir en uno de sus tres estados naturales: sólido, líquido o gas (Figura 2). Un sólido tiene forma y tamaño definidos. Un líquido tiene un volumen definido pero adopta la forma del recipiente que lo contiene. Un gas no tiene forma ni volumen definido, pero se expandirá para llenar un contenedor. Nos referiremos colectivamente a los gases y líquidos como fluidos.

El estado físico de una sustancia depende primordialmente de la temperatura y parcialmente de la presión. El estado sólido es el mas sereno de los tres, con las moléculas rígidamente alineadas en patrones fijos. Las moléculas se mueven, pero su movimiento es como una continua vibración. Cuando se agrega calor, las moléculas aumentan su movimiento, se deslizan unas de otras y se mueven, transformándose el sólido en líquido. Unas pocas moléculas espontáneamente dejarán la superficie del líquido, transformándose en gas. Cuando la sustancia alcance su punto de ebullición, las moléculas se están moviendo muy rápidamente en todas direcciones y el líquido se convierte rápidamente en gas. Bajar la temperatura revierte la secuencia. Cuando las moléculas de gas se enfrían, su movimiento se reduce y el gas se condensa en líquido. Mientras la temperatura siga cayendo, el líquido alcanza el punto de congelamiento y pasa al estado sólido.

20104. MEDICIÓN.

La física se fundamenta principalmente en estándares de comparación entre un estado de la materia y energía, a otro. Para aplicar estos principios de la física, los buzos deben ser capaces de usar variadas unidades de medida.

a.- **Sistemas de medida**. Dos sistemas de unidades son ampliamente usados a través del mundo. Aunque el sistema inglés es usado comúnmente en Estados Unidos, el sistema de medidas más común en el mundo es el Sistema Internacional de Unidades o sistema SI. El SI es un sistema métrico modernizado designado en 1960 por la Conferencia General de Pesos y Medidas. El sistema SI tiene una base decimal con todas sus unidades relacionadas por lo que no es necesario hacer cálculos para cambiar de una unidad a otra. El sistema SI cambia de una unidad de medida a otra moviendo el punto decimal, a diferencia del sistema inglés que requiere conversiones. Como a menudo las medidas se reportan en unidades inglesas es importante ser capaz de convertirlas al sistema SI. Las medidas pueden ser convertidas de un sistema a otro usando los factores de conversión de las Tablas 10 a la 18.

b.- **Medidas de temperatura**. Mientras el Sistema Inglés de peso y medida utiliza la escala de temperaturas Farenheit (ºF), la escala Celsius (ºC) es una de las más utilizadas en el trabajo científico. Ambas escalas están basadas en los puntos de congelamiento y ebullición del agua. El punto de congelación del agua es 32 ºF o 0 ºC; el punto de ebullición del agua es de 212 ºF o 100 ºC. Las fórmulas y cuadros de conversión de temperaturas se encuentran en la Tabla 18.

Los valores de temperatura absoluta deben ser usados cuando se emplea la Ley de los Gases Ideales. Las escalas de temperatura absoluta están basadas en el cero absoluto. El cero absoluto es la temperatura más baja que puede ser alcanzada en la cual cesa el movimiento molecular (Figura 3).

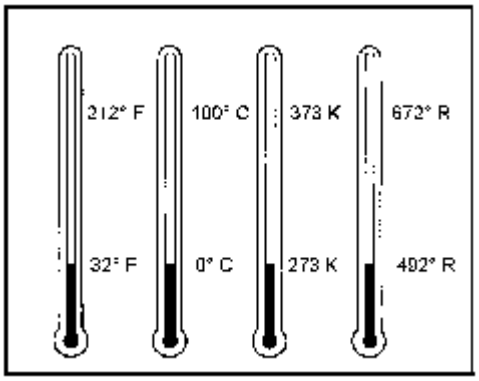


Figura 3. Escalas de temperatura. Las escalas Farenheit, Celsius, Kelvin y Rankine mostrando los puntos de congelación y ebullición del agua.

1) **La escala Kelvin**. Un ejemplo de escala absoluta de temperatura es la escala Kelvin, la que tiene el mismo tamaño de grado que la Celsius. El punto de congelamiento del agua es 273 ºK y el de ebullición 373 ºK. Use esta formula para convertir de grados Celsius a grados absolutos (Kelvin) :

Kelvin (ºK) = ºC + 273

2) **Escala Rankine.** La escala Rankine es otra escala de temperatura absoluta, que tiene la misma graduación de la escala Farenheit. El punto de congelamiento del agua es 492ºR y el de ebullición 672 ºR. Use la siguiente fórmula para convertir grados Farenheit a temperatura absoluta (grados Rankine, ºR) :

Rankine (ºR) = ºF + 460

c.- **Mediciones en gases.** Cuando se mide un gas, los pies cúbicos reales (acf) del gas se refieren a la cantidad del gas a temperatura ambiente. La unidad de medida más común para un gas en los EEUU es el pie cúbico estándar(scf). Éste relaciona la cantidad medida de un gas bajo presión con una condición específica. La condición específica es una base común de comparación. Para el aire, el pie cúbico estándar se mide a 60 ºF y 14,696 psi (libras por pulgada cuadrada).

20105. ENERGÍA.

Energía es la capacidad de efectuar trabajo. Los seis tipos básicos de energía son mecánica, calor, luz, química, electromagnética y nuclear, y pueden aparecer en diversas formas (Figura 4). La energía es un vasto y complejo aspecto de la física fuera del alcance de este manual. Consecuentemente, este capítulo cubre sólo unos pocos aspectos de la luz, el calor y la energía mecánica debido a sus inusuales efectos bajo el agua y su impacto sobre el buceo.

a.- **Conservación de la energía.** La Ley de Conservación de la Energía, formulada en 1840, establece que la energía en el universo no puede ser creada ni destruida. Sin embargo la energía puede ser transformada de una forma a otra.

b.- **Clasificación de la energía**. Las dos clasificaciones generales de la energía son la energía potencial y la energía cinética. La energía potencial es debida a la posición. Un automóvil estacionado en un cerro y frenado posee energía potencial. La energía cinética es la energía del movimiento. Un automóvil rodando sobre un camino llano posee energía cinética mientras se mueve.

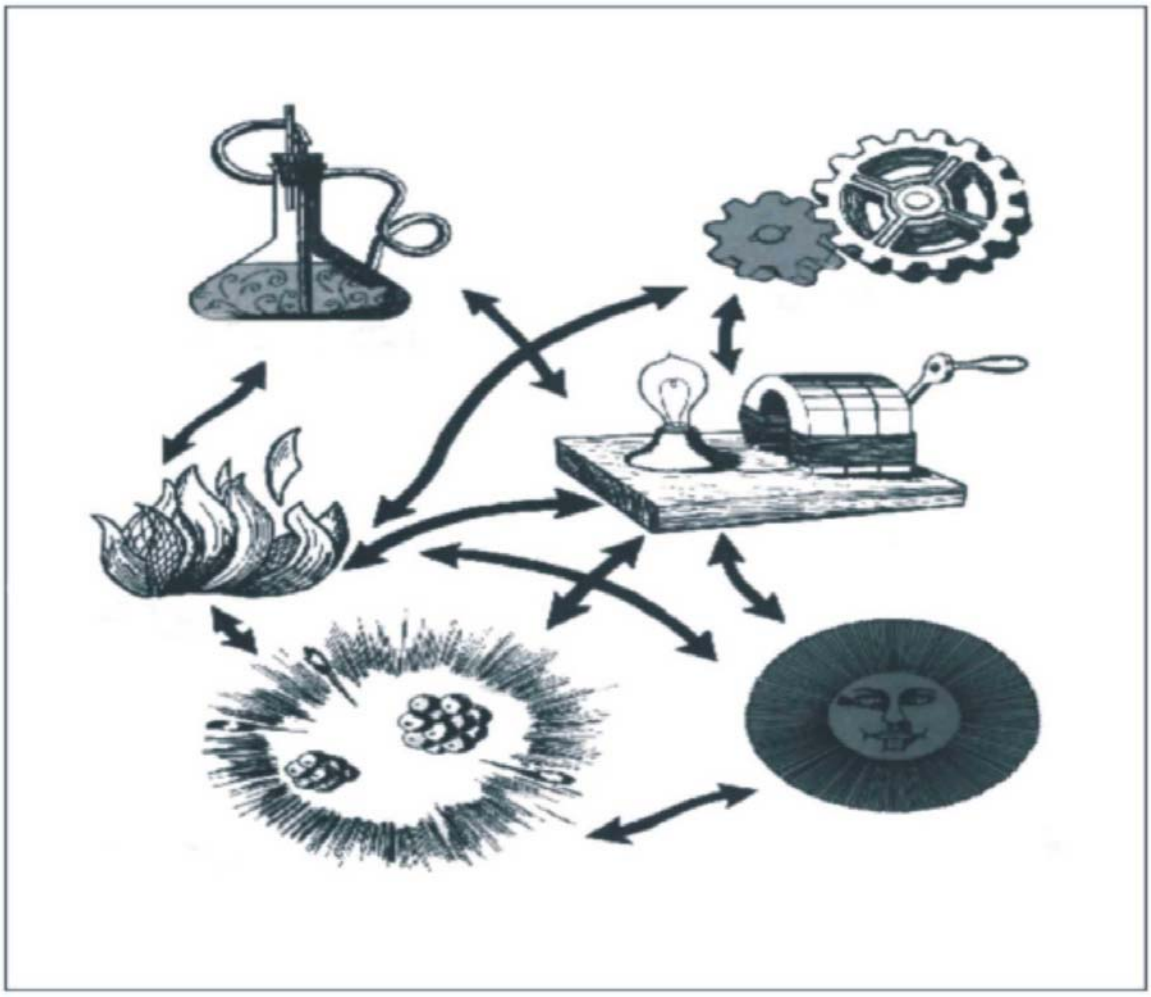


Figura 4. Las seis formas de energía

20106. LA ENERGÍA DE LA LUZ EN EL BUCEO.

La refracción, la turbidez del agua, la salinidad y la polución contribuyen a la percepción de la distancia, el tamaño, la forma y el color de los objetos submarinos. Los buzos deben comprender los factores que afectan la percepción visual bajo el agua y deben reconocer que la percepción de la distancia dista mucho de ser precisa.

a.- **Refracción** . La luz emanada desde un objeto se desvía cuando pasa entre el vidrio de la máscara y el aire dentro de ésta (Figura 5). Este fenómeno se llama refracción y ocurre porque la luz viaja más rápido en el aire que en el agua. Aunque la refracción que ocurre entre el agua y el aire en la máscara de buceo produce imprecisiones de percepción no deseadas, el aire es esencial para la visión. Cuando un buzo pierde su máscara, sus ojos quedan inmersos en agua, la cual tiene un índice de refracción muy similar al del ojo. En consecuencia, la luz no es enfocada normalmente y la visión del buzo se reduce a un nivel que sería clasificado de ceguera en la superficie.

b.- **Turbidez del agua.** La turbidez del agua puede también afectar profundamente la percepción visual y de las distancias bajo el agua. Mientras más turbia el agua, más corta es la distancia que media entre la reversión desde subestimación a sobrestimación. Por ejemplo, en agua altamente turbia la distancia real de ciertos objetos es de 3 o 4 pies más cerca de lo que se percibe visualmente.

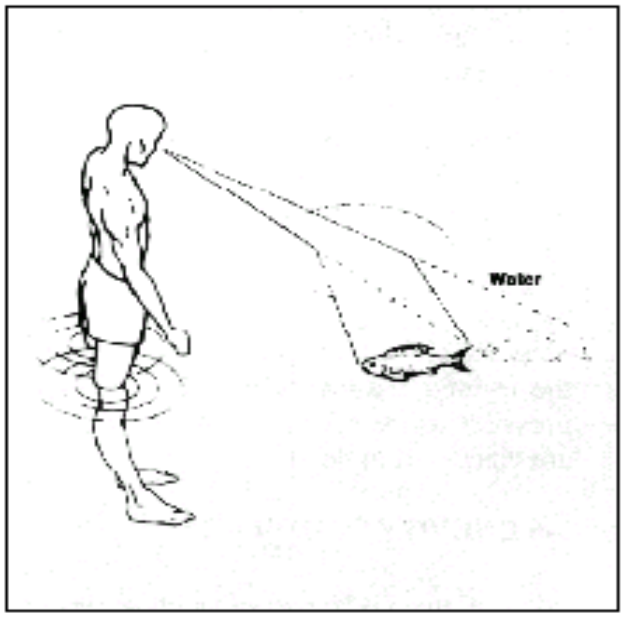


Figura 5. Los objetos bajo el agua parecen más cercanos.

La refracción hace que los objetos aparezcan más cerca de lo que están en realidad. Un objeto distante parecerá estar aproximadamente a las tres cuartas partes de la distancia real. A mayores distancias, el efecto de la refracción puede ser revertido, haciendo que los objetos parezcan más lejanos de lo que están en realidad. La reducción del brillo y el contraste se combinan con la refracción para afectar la relación de las distancias.

La refracción también puede afectar la percepción del tamaño y la forma. En general, los objetos bajo el agua parecen ser un 30% mayores que su tamaño real. Los efectos de la refracción son mayores cuando los objetos se encuentran en la periferia del campo visual. Esta distorsión interfiere con la coordinación entre la mano y el ojo, y explica porque algunas veces es dificultoso para un buzo agarrar objetos bajo el agua. La experiencia y el entrenamiento pueden ayudar a un buzo a aprender a compensar la mala interpretación del tamaño, la distancia y la forma causados por la refracción.

Refracción sobrestimada: en agua moderadamente turbia, los objetos alejados 50 o 70 pies pueden parecer mas cerca de lo que están en realidad. Hablando en general, mientras más cercano el objeto más cerca parecerá estar, y mientras más turbia el agua mayor será la tendencia a verlo más lejano.

c.- **Difusión.** La dispersión de la luz se intensifica bajo el agua. Los rayos de luz son difundidos y dispersados por las moléculas de agua y las partículas de materia. Algunas veces la difusión es útil porque dispersa la luz sobre áreas que de otra forma estarían en sombras o no tendrían iluminación. Sin embargo, normalmente la difusión interfiere con la visión y la fotografía submarina porque el reflejo de la dispersión reduce el contraste entre el objeto y el fondo. La pérdida de contraste es la razón principal del porque la visión bajo el agua está mucho más restringida que sobre la superficie. En el aire, un grado similar de dispersión ocurre sólo en condiciones muy particulares de humo o niebla.

d.- **Visibilidad del color**. El tamaño y la distancia de un objeto no son las únicas características distorsionadas en ambientes submarinos. Se pueden combinar una serie de factores para alterar la percepción de colores del buzo. Pintar los objetos de diferentes colores, es un medio obvio para realzar el contraste con los alrededores., o para camuflarlos y fusionarlos con el fondo. Determinar los colores más y o menos visibles es mucho más difícil bajo el agua que sobre ella.

Los colores son filtrados cuando ingresan al agua y con la profundidad. La luz roja es filtrada en profundidades relativamente bajas. Luego se filtra el naranja y prosigue con el amarillo, el verde y luego el azul. La profundidad del agua no es el único factor que afecta la filtración de los colores. La salinidad, la turbidez, el tamaño de las partículas suspendidas y la polución afectan la propiedades de filtración del agua. El color cambia de un cuerpo de agua a otro y se profundiza cuando la cantidad de agua entre el objeto y el observador aumenta. Todo esto se puede revertir si llevamos luz artificial hasta la profundidad de buceo.

Los componentes de cualquier escena submarina, como rocas, raíces o crustáceos aparecen generalmente del mismo color cuando aumenta la profundidad y/o el rango de visión. Los objetos se distinguen sólo por las diferencias en brillo y no en color. El contraste se convierte en el factor más importante para la visibilidad; aún en objetos muy grandes pueden ser indetectables si su brillo es similar al del fondo.

20107. LA ENERGÍA MECÁNICA EN EL BUCEO.

La energía mecánica afecta a los buzos mayoritariamente en la forma de sonido. El sonido es un movimiento periódico o un cambio de presión que se transmite a través de un gas, un líquido o un sólido. Debido a que un líquido es más denso que un gas se necesita mayor energía para perturbar su equilibrio. Una vez que tiene lugar la perturbación el sonido viaja más lejos y más rápido en el medio más denso. Varios aspectos del sonido submarino son de interés para el buzo.

a.- **Temperatura del agua y sonido.** En cualquier cuerpo del agua pueden haber dos o más capas contiguas con diferente temperatura; estas capas se conocen como isotermas. Mientras más fría la capa de agua mayor es su densidad. Mientras crece la diferencia de densidad entre capas, la energía sónica transmitida entre ellas disminuye. Esto significa que un sonido escuchado a 50 metros de su fuente dentro de una capa puede ser inaudible a unos pocos metros de la fuente si el buzo está en otra capa.

b.- **Sonido y profundidad.** En aguas bajas o en espacios cerrados, la reflexión y la reverberación desde las interfaces aire/agua u objeto/agua produce anomalías en el campo de sonido tales como ecos, puntos muertos y nodos de sonido. Cuando se nada en aguas bajas, entre arrecifes de coral o en espacios cerrados, un buzo puede esperar pérdidas periódicas en las señales de comunicación auditiva e interrupción de las señales acústicas de navegación. Este problema es más notorio mientras mayor sea la frecuencia de la señal. Debido a que el sonido viaja tan rápido bajo el agua (4,921 pies por segundo), los oídos no pueden detectar la diferencia en el tiempo de llegada de un sonido en cada uno de ellos. Consecuentemente, un buzo no siempre puede detectar la dirección de la fuente del sonido. Esta desventaja puede tener serias consecuencias para un buzo o nadador que trate de localizar un objeto o una fuente de peligro, tal como una lancha.

1) **El trabajo de buceo y el ruido**. El buceo autónomo de circuito abierto afecta la recepción del sonido porque produce altos niveles de ruido en la cabeza del buzo y porque produce una pantalla de burbujas que reduce el nivel efectivo de presión de sonido (SPL). Cuando hay varios buzos trabajando en la misma área, el ruido y la burbujas afectan las señales de comunicación más a unos que a otros dependiendo de las posiciones de los buzos respecto del emisor y a los otros buzos.

   Un traje húmedo de neopreno es una barrera efectiva para el sonido sobre los 1000 Hz y esta característica aumenta junto con la frecuencia. Este problema puede ser resuelto exponiendo una pequeña parte de la cabeza ya sea cortando pequeñas aberturas sobre los oídos en el traje o separando parte del traje a la altura de la cabeza.

2) **Ondas de presión**. El sonido se transmite a través del agua como una serie de ondas de presión. El sonido de alta intensidad es transmitido por las correspondientes ondas de presión de alta intensidad. Una onda de alta presión transmitida desde el agua que rodea a un buzo a los espacios abiertos dentro del cuerpo (oídos, seno y pulmones) pueden aumentar la presión dentro de estos espacios causando lesiones. Las explosiones submarinas y los sonares pueden crear ondas de sonido o presión de alta intensidad. El sonar de intensidad baja, tal como el detector de profundidad o de cardúmenes, no producen ondas de presión suficientemente intensas como para arriesgar a un buzo. Sin embargo, los buques equipados con sonares antisubmarinos emiten pulsos de ondas de alta presión muy peligrosas.

Es prudente suspender las operaciones de buceo si un transductor de sonar de alta potencia está siendo operado en el área. Cuando se está usando un sistema de zumbido llevado por buzos, se les advierte a estos que deben usar un tapón de 1/4”de pulgada para proteger los oídos. Experimentos han demostrado que tales tapones ofrece una adecuada protección cuando el pulso ultrasónico tiene 4 milisegundos de duración, repetidos una vez por segundo para una fuente acústica de niveles hasta 100 watts, a una distancia cabeza-fuente tan corta como 0,5 pies (Pence y Sparks, 1978).

c.- **Explosiones submarinas**. Una explosión submarina crea una serie de olas que son transmitidas como ondas de choque hidráulicas en el agua y como ondas sísmicas en el lecho del mar. La onda de choque hidráulica consiste de una onda inicial seguida por varias ondas de presión de intensidad decreciente. La onda de choque inicial de alta intensidad es el resultado de la violenta creación y liberación de un gran volumen de gas, en la forma de una bolsa de gas, de gran volumen y presión. Las subsecuentes ondas de presión son causadas por la rápida expansión del gas en un ambiente no compresible, causando una secuencia de contracciones y expansiones mientras el gas se eleva hacia la superficie.

La onda de choque de alta presión inicial es la más peligrosa; mientras se aleja de la fuente de la explosión, va perdiendo su intensidad. Las ondas de menor presión siguen cercanamente a la onda de choque inicial. Una considerable turbulencia y movimiento del agua en el área de la explosión son evidentes por un largo período después de la detonación.

1) **Tipo de explosivo y tamaño de la carga.** Algunos explosivos tienen características de alto impacto (poder de destrucción en la vecindad inmediata de la explosión) con menor potencia en un amplio rango, mientras el impacto de otras es reducida para incrementar su potencia sobre una mayor área. Aquellos con alto impacto generalmente son utilizados para propósitos de corte o destrucción, mientras los de alto poder y bajo impacto son usados en cargas de profundidad y minas submarinas, donde el blanco no siempre es un contacto inmediato y la habilidad para infligir daño en una extensa área es una ventaja. Los explosivos de alto impacto crean ondas de choque y presión de alto nivel, pero de corta duración sobre un área limitada. Los explosivos de bajo poder producen un choque menos intenso y ondas de presión de larga duración sobre una mayor área.

2) **Características del lecho marino.** Aparte del hecho de que las rocas u otros tipos de fondo pueden ser desplazados a través del agua o hacia la superficie por cargas profundas, las condiciones del fondo pueden afectar las ondas de presión de una explosión. Un fondo suave tiende a amortiguar las ondas de choque y de presión reflejadas, mientras que un fondo duro y rocoso puede amplificar el efecto. Los sustratos rocosos, los riscos u otros accidentes geográficos del lecho marino pueden afectar la dirección de las ondas de choque y presión, y también pueden producir ondas de reflexión secundarias.

3) **Ubicación de la carga explosiva.** La investigación ha indicado que la magnitud de las ondas de choque y presión generadas por cargas apenas suspendidas sobre el agua es considerablemente mayor que la de aquellas cargas colocadas en pozos taladrados en roca o coral.

4) **Profundidad del agua.** A gran profundidad, las ondas de choque y presión son absorbidas por la mayor cantidad de agua y por tanto reducidas en intensidad. Una explosión cerca de la superficie no es debilitada en el mismo grado.

5) **Distancia de la explosión.** En general, mientras más alejado de la explosión mayor es la atenuación y menor la intensidad de las ondas de choque y presión. Este factor debe ser considerado en el contexto de las condiciones del fondo, profundidad del agua, la reflexión de las ondas de choque, presión en estructuras submarinas y características topográficas.

6) **Grado de Inmersión del buzo**. Un buzo completamente sumergido recibe el efecto total sobre el cuerpo de las ondas de choque y presión que pasan por él. Un buzo parcialmente sumergido con el torso y la cabeza sobre el agua puede experimentar un efecto reducido de las ondas sobre los pulmones, los oídos y seno. Como sea, el aire transmitirá la misma proporción de las ondas de choque y presión. La cabeza, los pulmones y los intestinos son las partes del cuerpo más expuestas a los efectos de la presión de una explosión. Una onda de presión de 500 libras por pulgada cuadrada es suficiente para causar serias lesiones a los pulmones y al tracto intestinal, y una mayor a 2000 causa muerte segura. Aún una de 500 libras puede causar lesiones fatales bajo ciertas condiciones.

7) **Estimación de la presión de explosión sobre un buzo.** Existen varias formulas para estimar la onda de presión resultante de una explosión de TNT. Las ecuaciones varían de formato y los resultados muestran que la técnica de estimación es sólo aproximada. Más aún, estas fórmulas relacionadas al TNT, no pueden ser aplicadas en otros explosivos.

La siguiente fórmula (Greenbaum y Hoff, 1966), es un método para estimar la presión sobre un buzo resultante de la explosión de tetrilo de TNT.

$$\mathbf{P = 13{,}000\sqrt[3]{W / r}}$$

Donde;

P = Presión sobre el buzo, en Lb/pulg^2.
W = Peso del explosivo (TNT), en Libras
r = Radio desde la posición del buzo a la explosión (en pies).

Ejemplo: Determine la presión ejercida por una carga de 45 libras a una distancia de 80 pies.

1.- Substituya los valores conocidos:

$$P = 13{,}000\sqrt[3]{(45 / 80)}$$

2.- Resuelva, obteniendo la presión ejercida:

P = 578,5 psi Redondeando a 579 psi

Una carga de 45 libras ejerce una presión de 579 libras por pulgada cuadrada a una distancia de 80 pies.

8) **Minimizando los efectos de una explosión**. Cuando se espera una detonación submarina, el buzo debe salir del agua y del rango de detonación siempre que sea posible. Si el buzo debe permanecer en el agua, es prudente limitar la presión experimentada por la explosión bajo las 50 psi. Para minimizar los efectos, el buzo debe colocarse con sus pies apuntando directamente a la explosión. La cabeza y la sección superior del cuerpo deben estar fuera del agua o el buzo debe flotar sobre su espalda con la cabeza fuera del agua.

20108. LA ENERGÍA CALÓRICA EN EL BUCEO.

El calor es crucial en el equilibrio ambiental del hombre. El cuerpo humano funciona dentro de sólo un pequeño rango de temperatura interna y contiene delicados mecanismos para controlar esa temperatura.

El calor es una forma de energía asociada y proporcional al movimiento molecular en una sustancia. Está estrechamente vinculada a la temperatura, pero debe distinguirse de la temperatura ya que diferentes sustancias no necesariamente tienen la misma energía calórica, aún cuando tengan la misma temperatura.

El calor se genera de diversas maneras. Quemando combustibles, las reacciones químicas, la fricción y la electricidad son todas fuentes de calor. El calor es conducido de una parte a otra por conducción, convección y radiación.

a.- **Conducción:** es la transmisión de calor por contacto directo. Debido a que el agua es un excelente transmisor del calor, un buzo desprotegido puede perder gran parte del calor corporal hacia el agua circundante por conducción directa.

Convección: es la transferencia de calor debida al movimiento de fluidos calientes. Muchos sistemas de calefacción hogareñas operan sobre el principio de convección, estableciendo un flujo de corrientes de aire basadas en la tendencia natural del aire caliente de subir y del aire frío de bajar. Un buzo sentado en el fondo de un estanque en una pieza fría puede perder calor no sólo por conducción directa, sino también por corrientes de convección en el agua. El agua más caliente cercana al cuerpo se elevará y será reemplazada por agua más fría que pasa alrededor de las paredes del estanque. Cuando llega a la superficie, el agua calentada perderá calor al más frío ambiente alrededor. Una vez enfriada, el agua se sumergirá sólo para ser calentada nuevamente como parte de un ciclo continuo.

Radiación: es la transmisión de ondas electromagnéticas de energía. Todo objeto caliente entrega ondas de energía electromagnética, la que es absorbida por los objetos fríos. El calor del sol, los calentadores eléctricos y las chimeneas es primordialmente de radiación.

b.- **Tasa de transferencia de calor.** Para los buzos, la conducción es el medio más significativo de transferencia de calor. La tasa a la cual se transmite calor por conducción depende de dos factores básicos:

- La diferencia de temperatura entre el material más caliente y el frío
- La conductividad térmica de los materiales.

No todas la sustancias conducen el calor a la misma tasa. El hierro, el helio y el agua son excelentes conductores del calor, mientras el aire es un conductor muy pobre. Colocando un conductor pobre entre una fuente de calor y otro elemento, aísla la sustancia y baja la transferencia de calor. Materiales como la lana y la goma espumada aíslan el cuerpo humano y son efectivas porque contienen atrapados miles de bolsillos de aire. El bolsillo de aire es muy pequeño para estar sujeto a las corrientes convectivas pero bloquea la transferencia conductiva del calor.

c.- **Temperatura corporal del buzo.** Un buzo comenzará a congelarse cuando la temperatura del agua caiga bajo una temperatura supuestamente confortable de 70ºF (21ºC). Bajo los 70ºF, un buzo vistiendo sólo traje de baño pierde calor hacia el agua más rápidamente de lo que su cuerpo puede reemplazar. A menos que se provea de alguna aislación o protección, puede comenzar a experimentar dificultades rápidamente. Un buzo congelado no puede trabajar eficientemente o pensar claramente y está más susceptible al mal de descompresión.

La compresión del traje, la densidad incrementada del gas, la conductividad térmica de los gases de respiración y la pérdida de calor por la respiración, son todos factores contribuyentes a la mantención de la temperatura corporal de un buzo. Los trajes húmedos de neopreno celular pierden gran parte de sus propiedades aislantes cuando aumenta la profundidad y el material se comprime. Como consecuencia, es necesario a menudo utilizar un traje más grueso, un traje seco o un traje de agua caliente para las exposiciones prolongadas en agua fría.

Las características individuales de transmisión de calor de un gas son directamente proporcionales a su densidad. De esta forma, la pérdida de calor a través de la barrera de gas aislante y la pérdida de calor por respiración a las áreas circundantes aumenta con la profundidad. La pérdida de calor se agrava cuando se usan en la respiración gases de alta conductividad térmica como el helio-oxígeno. La sola pérdida de calor por la respiración aumenta desde el 10% de la capacidad generadora de calor del cuerpo a 1 atmósfera (absoluta), a un 28% a 7 atmósferas y al 50% a 21 atmósferas, cuando se respira helio-oxígeno. Bajo estas circunstancias, los materiales de aislamiento estándar son insuficientes para mantener la temperatura corporal y se debe suministrar calor adicional a la superficie del cuerpo y al gas de respiración.

20109. LA PRESIÓN EN EL BUCEO.

Se define la presión como la fuerza actuante sobre un área particular de materia. Se mide típicamente en libras por pulgada cuadrada (psi) en el Sistema Inglés y en Newton por centímetro cuadrado (N/cm^2) en el Sistema Internacional (SI). La presión bajo el agua es el resultado del peso de la columna de agua sobre el buzo y el peso de la atmósfera sobre dicha agua. Hay un concepto que siempre debe ser recordado – cualquier buzo, a cualquier profundidad debe estar en equilibrio con las fuerzas de presión a esa profundidad. El cuerpo sólo funciona normalmente cuando la diferencia de presión entre las fuerzas que actúan dentro del cuerpo del buzo y las que actúan fuera del cuerpo son pequeñas. La presión, sea atmosférica, de agua de mar o de la mezcla de respiración siempre debe considerarse en términos de mantener el equilibrio de presiones.

a.- **Presión atmosférica**. Dado que una atmósfera son 14,7 psi y que equivale a la presión por cada 33 pies de agua de mar, entonces podemos dividir los 14.7 psi por 33 pies y nos da como resultado 0.445 psi por pie. Podemos decir que por cada pie de agua de mar la presión total se incrementa en 0.445 psi. La presión atmosférica es constante a nivel del mar; las fluctuaciones menores provocadas por los cambios climáticos a menudo se desprecian. La presión atmosférica actúa sobre todas las cosas y en todas direcciones.

La mayoría de los instrumentos de presión miden la diferencia entre la presión interior y exterior del instrumento. Así, la presión atmosférica no está registrada en el medidor de presión de un cilindro de aire comprimido. El aire inicialmente dentro del cilindro y el instrumento están bajo la presión base de una atmósfera (14.7 psi). El instrumento solo mide la presión interna del tanque. Esta lectura se conoce como la ***Presión Manométrica*** y para la mayoría de los casos es un dato suficiente.

En el buceo sin embargo, es importante considerar la presión atmosférica en los cálculos. Por lo que si tomamos la presión manométrica y le sumamos la presión atmosférica, obtenemos una presión total llamada ***Presión Absoluta*** y normalmente está expresada en atmósferas. La distinción es importante y debe identificarse las presiones ya sea Manométrica (psig) o absolutas (psia). Cuando se refiere a la presión sólo como psi, se refiere a presión manométrica. La Tabla 10 contiene los factores de conversión para las unidades de medida de presión.

b.- **Términos usados para describir la presión de un gas**. Se usan cuatro términos para describir la presión de un gas:

1) **Atmosférica.** Atmósfera estándar, generalmente expresada como 10N/cm2, 14.7 psi o una atmósfera absoluta.

2) **Barométrica.** Esencialmente es igual a la atmosférica, pero varía con el clima y está expresada en términos de la altura de una columna de mercurio. La presión estándar es de 29.92 pulgadas de mercurio, 760 milímetros de mercurio o 1013 milibares.

3) **Manométrica.** Indica la diferencia entre la presión atmosférica y la presión que se está midiendo con algún instrumento.

4) **Absoluta.** La presión total ejercida, es decir la presión manométrica más la presión atmosférica.

c.- **Presión hidrostática.** El agua sobre la superficie empuja sobre el agua que está debajo y así hasta el fondo, donde, en las mayores profundidades del océano (aprox. 36000 fsw), la presión supera las 8 toneladas por pulgada cuadrada (1100 atmósfera). La presión referida al peso de una columna de agua se conoce como presión hidrostática.

La presión del agua de mar a una profundidad de 33 pies es igual a una atmósfera. La presión absoluta, que es una combinación de presión atmosférica y de agua para esa profundidad, es de dos atmósfera. Por cada 33 pies adicionales de profundidad se añade otra atmósfera de presión. Por lo tanto, a 99 pies la presión absoluta es de 4 atmósfera. La Tabla 1 muestra como la presión crece con la profundidad.

El cambio de la presión con la profundidad es tan pronunciado que los pies de una persona de 6 pies de alto parada bajo el agua están expuestos a una presión que es tres libras mayor que la ejercida sobre su cabeza.

d.- **2-9.4 La boyantez.** La boyantez es la fuerza que hace flotar los objetos. Fue definida por primera vez por el matemático griego Arquímedes, quien estableció que " cualquier objeto parcial o totalmente sumergido en un fluido es empujado hacia arriba por una fuerza igual al peso del volumen del líquido desplazado por el objeto". Este es conocido como el Principio de Arquímedes y se aplica a todos los objetos y todos los fluidos.

1) **2-9.4.1 El Principio de Arquímedes.** De acuerdo al principio de Arquímedes, la boyantez de un cuerpo sumergido puede establecerse sustrayendo el peso del cuerpo sumergido por el peso del volumen del líquido desplazado. Si el desplazamiento total (el peso del líquido desplazado) es mayor que el peso del cuerpo sumergido, la boyantez es positiva y el cuerpo flotará o será empujado hacia arriba. Si el peso del cuerpo es igual al peso del volumen del líquido desplazado, la boyantez es neutra y el cuerpo permanecerá suspendido en el líquido. Si el peso del cuerpo sumergido es mayor que el peso del volumen del líquido desplazado, la boyantez es negativa y el objeto se hundirá.

   La fuerza de boyantez sobre un objeto depende de la densidad de la sustancia en que este inmerso (peso por unidad de volumen). El agua dulce tiene una densidad de 62.4 Lb/pie^3. El agua salada es más pesada, teniendo una densidad de 64 Lb/pie^3. Entonces, un objeto es empujado hacia arriba por una fuerza mayor en agua salada, haciendo más fácil flotar en el océano que en el agua dulce de un lago.

2) **2-9.4.2 Boyantez del buzo.** La capacidad pulmonar tiene un efecto significativo sobre la boyantez de un buzo. Un buzo con los pulmones llenos de aire desplaza un mayor volumen de agua y por lo tanto tiene más boyantez que con los pulmones desinflados. Las diferencias individuales también afectan la boyantez de un buzo, las cuales incluyen estructura ósea, peso de los huesos y grasa corporal. Esta diferencia explica porque algunas personas flotan fácilmente y otras no.

Un buzo puede variar su boyantez de muchas maneras. Añadiendo peso a su equipamiento puede auto-provocarse el hundimiento. Cuando está vistiendo un traje seco de volumen variable puede aumentar o disminuir la cantidad de aire en el traje cambiando así su desplazamiento y por lo tanto su boyantez. Los buzos generalmente buscan una condición de neutralidad o de ligera boyantez negativa. Una boyantez negativa le da a un buzo de traje y casco un mejor soporte sobre el fondo marino. La boyantez neutra le permite a un buzo autónomo la capacidad de nadar fácilmente, cambiar de profundidad y flotar.

20110. LOS GASES EN EL BUCEO.

El conocimiento de las propiedades y el comportamiento de los gases, especialmente aquellos usados para respirar, son de vital importancia para los buzos.

a.- **Aire atmosférico.** El gas más común usado en buceo es el aire atmosférico, cuya composición se muestra en la Tabla 2-2. Cualquier gas que tenga una concentración diferente a aquellas de la Tabla 2-2 o que no esté listado en esta, se considera como un contaminante. Dependiendo del clima y la ubicación se pueden encontrar muchos contaminantes industriales en el aire. El monóxido de carbón es el con más presencia y usualmente existe cerca del escape de motores de combustión interna. Es necesario eliminar los contaminantes en el aire comprimido de los buzos mediante una apropiada filtración, ubicación de las tomas de aire y mantención del compresor. Vapor de agua en diversas cantidades está presente en el aire comprimido y su concentración es importante en ciertas instancias.

Para la mayoría de los propósitos y cálculos puede asumirse que el aire está compuesto de 79% de nitrógeno y 21% de oxígeno. Además del aire, mezclas variadas de oxígeno, nitrógeno y helio se usan comúnmente en el buceo. Mientras estos gases se analizan separadamente, los gases en sí se usan casi siempre como mezclas. El aire es una mezcla de natural ocurrencia de la mayoría de ellos. En ciertas aplicaciones del buceo, se pueden componer mezclas especiales a partir de uno o más de estos gases y oxígeno.

b.- **Oxígeno**. El oxígeno (O_2) es el más importante de todos los gases y es uno de los elementos más abundantes sobre la tierra. El fuego no puede prender sin oxígeno y la gente no puede sobrevivir sin él. El aire atmosférico contiene aproximadamente un 21% de oxígeno, el que existe libremente en estado diatómico (dos átomos pareados para formar una molécula). Este gas incoloro, inodoro, insípido y activo se combina prontamente con otros elementos. Del aire que respiramos, sólo el oxígeno es utilizado por el organismo. El otro 79% del aire sirve para diluir el oxígeno. Oxígeno 100% puro a menudo es utilizado para respiración en hospitales, aeronaves y en instalaciones de tratamiento médico hiperbárico. Algunas veces es utilizado en operaciones de buceo en aguas someras y en ciertas fases de las operaciones de buceo con mezcla de gases. Como sea, la inhalación de oxígeno puro bajo presión puede inducir a un serio problema de toxicidad por oxígeno.

c.- **Nitrógeno.** Como el oxígeno, el nitrógeno (N_2) es diatómico, incoloro, inodoro e insípido y es un componente de todo organismo viviente. A diferencia del oxígeno no sustenta la vida ni ayuda a la combustión, y no se combina fácilmente con otros elementos. El nitrógeno en el aire es inerte en estado libre. Para bucear, el nitrógeno puede ser utilizado para diluir el aire. El nitrógeno no es el único gas utilizado para este propósito y bajo ciertas condiciones tiene serias desventajas al compararlo con otros gases. La narcosis del nitrógeno, un desorden resultante de las propiedades anestésicas del nitrógeno respirado bajo presión, puede derivar en una pérdida de orientación y juicio por parte del buzo. Por esta razón, el aire comprimido con alto contenido de nitrógeno, no se utiliza bajo una profundidad específica en operaciones de buceo.

d.- **Helio.** El helio (He) es un gas incoloro, inodoro e insípido, pero es monoatómico (existe como átomo único en su estado libre). Es totalmente inerte. El helio es un elemento raro, encontrado en el aire sólo como elemento traza, de aprox. 5 partes por millón (ppm). El helio coexiste con el gas natural en ciertos pozos en el sudoeste de Estados Unidos, Canadá y Rusia. Estas fuentes proveen el suministro mundial. Cuando se utiliza para diluir el oxígeno en la mezcla de respiración, el helio no causa los problemas asociados a la narcosis del nitrógeno, pero presenta desventajas únicas. Entre estas está la distorsión de la voz, que tiene lugar en una atmósfera de helio. El efecto “Pato Donald” es causado por las propiedades acústicas del helio que deterioran las comunicaciones habladas en el buceo de profundidad. Otra característica negativa del helio es su alta conductividad térmica la que puede causar una rápida pérdida del calor en el buzo tanto por la respiración, como por la piel.

e.- **Hidrógeno.** El hidrógeno es diatómico, incoloro, inodoro e insípido es tan activo que se encuentra raramente en su estado libre sobre la tierra. Es, sin embargo, el elemento más abundante en el universo visible. El sol y las estrellas son prácticamente puro hidrógeno. El hidrógeno puro es violentamente explosivo cuando se mezcla con aire en proporciones que incluyan una presencia de más de 5.3% de oxígeno. Ha sido utilizado en buceo (reemplazando al nitrógeno al igual que el helio) pero los peligros lo han limitado a un poco más que buceos de experimentación.

f.- **Neón.** El neón es inerte, monoatómico, incoloro, inodoro e insípido y se encuentra en mínimas cantidades en la atmósfera. Es un gas pesado y no exhibe las propiedades narcóticas del nitrógeno cuando se usa como medio respiratorio. Debido a que no provoca la distorsión de la voz asociada al helio y tiene mayor capacidad como aislante térmico, por lo que ha sido sujeto a algunas investigaciones experimentales en buceo.

g.- **Dióxido de carbono**. El dióxido de carbono (CO_2) es incoloro, inodoro e insípido y se encuentra en pequeños porcentajes en el aire. En concentraciones mayores tiene un olor y gusto ácido. Es un producto natural de la respiración de hombres, animales y se forma por la oxidación del carbono en la producción de energía. Para los buzos las dos principales preocupaciones respecto del dióxido de carbono son el control de la cantidad en la mezcla de respiración y la eliminación de éste al respirar. El CO2 puede causar inconsciencia cuando es respirado a una mayor presión parcial. En altas concentraciones el gas puede ser extremadamente tóxico. En el caso de equipos de respiración de circuito cerrado y semi-cerrado, es esencial para la seguridad del buzo la eliminación del CO2 producido por la respiración.

h.- **Monóxido de carbono.** El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro, insípido y venenoso cuya presencia es difícil de detectar. Se forma como producto de la combustión incompleta de combustible y se encuentra con mayor frecuencia en el escape de motores de combustión interna. El aire de un buzo puede estar contaminado con monóxido de carbono si la toma de aire del compresor está colocada muy cerca del escape del motor del compresor. Los gases de escape son absorbidos junto con el aire y enviados al buzo, con resultados potencialmente desastrosos. El monóxido de carbono interfiere con la capacidad de la sangre de transportar el oxígeno requerido para funcionar normalmente. La afinidad del monóxido de carbono con la hemoglobina es aprox. 210 veces más que la del oxígeno. El monóxido de carbono se disocia de la hemoglobina a una tasa mucho menor que el oxígeno.

i.- **Teoría cinética de los gases**. Sobre la superficie de la tierra la presión constante y la composición de la atmósfera tienden a ser aceptadas sin mayor preocupación. Para el buzo sin embargo, la naturaleza del ambiente gaseoso de alta presión o hiperbárico asume gran importancia. La explicación básica para el comportamiento de los gases bajo todas las condiciones de presión y temperatura se conoce como la teoría cinética de los gases.

La teoría establece: “ la energía cinética de cualquier gas a una temperatura dada es la misma que la de cualquier otro gas a la misma temperatura”. Consecuentemente, las presiones medibles de todos los gases resultantes de la actividad cinética están afectas por los mismos factores.

La energía cinética de un gas está relacionada con la velocidad a la cual se están moviendo las moléculas en la masa de gas. La velocidad es una función de la temperatura y la masa es una función del tipo de gas. A una temperatura dada, las moléculas de gases más pesados se mueven a menor velocidad que los gases más ligeros, pero su combinación de masa y velocidad se obtiene en el mismo nivel de energía cinética y fuerza de impacto. La fuerza de impacto medida o presión, es representativa de la energía cinética del gas. Esto es ilustrado en la Figura 6.

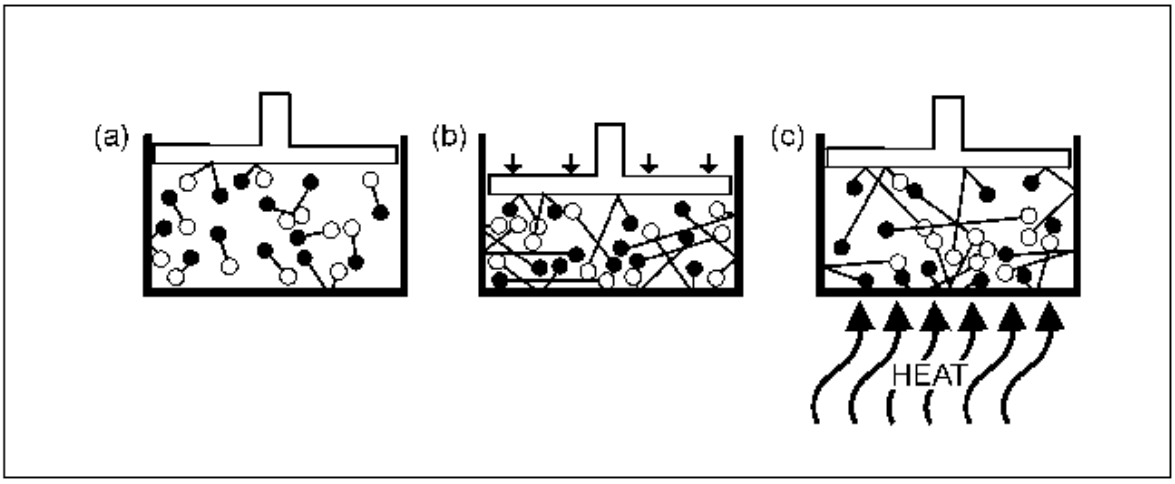


Figura 6. Energía cinética. La energía cinética de las moléculas dentro de un recipiente

a.- Produce una presión constante sobre la superficie interna. Cuando el volumen decrece
b.- Las moléculas por unidad de volumen (densidad) se incrementan así como la presión. Cuando el nivel de energía de las moléculas aumenta debido a la adición de energía térmica (calor), así también la presión.

20111. LEYES DE LOS GASES.

Los gases están sujetos a tres factores íntimamente relacionados: temperatura, presión y volumen.
Como establece la teoría cinética de los gases, un cambio en uno de estos factores da como resultado, necesariamente en un cambio medible en los otros factores. Más aún, la teoría indica que el comportamiento cinético de cualquier gas es el mismo para todos los gases o mezclas de gases. Consecuentemente, se han establecido leyes básicas que ayudan a predecir los cambios que serán reflejados en un factor cuando las condiciones del otro factor o factores cambien. Un buzo necesita saber como la variación de presión afectará al aire en su traje y pulmones mientras sube y baja en el agua. Debe ser capaz de determinar si un compresor de aire es capaz de enviar el suministro de aire para una profundidad de operación propuesta. También necesita ser capaz de interpretar las lecturas de los manómetros de sus tanques bajo condiciones variables de temperatura y presión. La respuesta a tales preguntas son calculadas usando un conjunto de reglas llamadas leyes de los gases. Esta sección explica las leyes de los gases que afectan directamente a los buzos.

a.- **Ley de Boyle.** La Ley de Boyle establece que “a temperatura constante, la presión absoluta y el volumen de un gas son inversamente proporcionales”. Mientras la presión se incrementa, el volumen se reduce; cuando la presión se reduce, el volumen del gas aumenta. La Ley de Boyle es importante para los buzos porque relaciona el cambio en el volumen de un gas causado por un cambio de presión debido a la profundidad, lo que define la relación de presión y volumen en las provisiones de aire de respiración.

La fórmula de la Ley de Boyle es: $C = P \times V$

Donde :

C= Una constante
P= Presión absoluta
V= Volumen

La Ley de Boyle también puede expresarse como:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

Donde :

P_1= Presión inicial
V_1= Volumen inicial
P_2= Presión final
V_2= Volumen final

Cuando se trabaja con la Ley de Boyle la presión a utilizar debe ser medida en atmósferas absolutas y para calcular la presión en atmósferas absolutas a una determinada profundidad se debe usar la siguiente formula:

$$P_{ata} = \frac{\text{Profundidad (fsw)} + 33 \text{ fsw}}{33 \text{ fsw}} \quad \text{o} \quad P_{ata} = \frac{\text{psig} + 14{,}7\text{psi}}{14{,}7\text{psi}}$$

Ejemplo 1. Una campana abierta de buceo con un volumen de 24 pies cúbicos será bajada al mar desde una nave de apoyo. No se suministrará, ni se pierde, aire por la campana. Calcule el volumen del aire en la campana a 99fsw.

1. despejando la fórmula de Boyle para calcular el volumen final (V_2)

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

2. Calcule la presión final a 99 fsw :

$$P_2 = \frac{99 \text{ fsw} + 33 \text{ fsw}}{33 \text{ fsw}}$$

P_2 = 4 atm.

3. Sustituir los valores conocidos para encontrar el volumen final:

$$V_2 = \frac{1\text{at} \times 24 \text{ ft}^3}{4\text{at}}$$

V_2 = 6 ft^3

El volumen de aire dentro de la campana ha sido comprimido a 6 ft^3 a 99 fsw.

b.- **Ley de Charles/Gay-Lussac**. Cuando se trabaja con la Ley de Boyle, la temperatura de un gas es un valor constante. Sin embargo, la temperatura afecta significativamente la presión y el volumen de un gas. La ley de Charles/Gay-Lussac describe la relación física de la temperatura sobre el volumen y la presión. Esta ley establece que "a una presión constante, el volumen de un gas es directamente proporcional al cambio en la temperatura absoluta". Si la presión se mantiene constante y se duplica la temperatura absoluta, el volumen se duplicará. Si la temperatura decrece, el volumen también decrece. Si se mantiene constante el volumen en lugar de la presión y se procede a calentar en un recipiente rígido, entonces la presión absoluta cambia en proporción a la temperatura absoluta.

Las fórmulas para expresar la ley de Charles/Gay-Lussac son las siguientes :

Para la relación entre el volumen y la temperatura ;

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

En donde:

T_1= temperatura inicial (absoluta)
T_2= temperatura final (absoluta)
V_1= volumen inicial
V_2= volumen final

"La presión es constante"

Y para la relación entre la presión y la temperatura :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

En donde:

P_1= presión inicial (absoluta)
P_2= presión final (absoluta)
T_1= temperatura inicial (absoluta)
T_2= temperatura final (absoluta)

"El volumen es constante"

Problema ejemplo 1. Una campana abierta de buceo de 24 pies cúbicos de capacidad es bajada en el océano a una profundidad de 99 pies. La temperatura de la superficie es 80ºF, y la temperatura en la profundidad es de 45ºF. Del ejemplo que ilustraba la ley de Boyle, sabemos que el volumen del gas fue comprimido a 6 pies cúbicos cuando la campana era bajada a 99 pies. Aplicar la ley de Charles/Gay-Lussac para determinar el volumen cuando es afectado por la temperatura.

1.- Convertir la temperatura en grados Fahrenheit a temperatura absoluta (Rankine):

ºR = ºF + 460
T1 = 80 ºF + 460 = 540 ºR
T2 = 45 ºF + 460 = 505 ºR

2.- Despejar la fórmula de la ley de Charles/Gay-Lussac para resolver el volumen final V_2:

3.- $V_2 = \frac{V_1 * T_2}{T_1}$

4.- Sustituir los valores conocidos para resolver el volumen final V2 :

$$V_2 = \frac{6ft^3 * 505}{540}$$

$= 5{,}61\ ft^3$

El volumen del gas a 99 fsw es 5,61 ft^3

Problema ejemplo 2. Un acumulador de 6 pies cúbicos está cargado a 3000 psig y la temperatura en la habitación es de 72ºF. Un incendio en el espacio vecino causa que la temperatura en la habitación del acumulador alcance los 170ºF. Qué sucederá con la presión en el acumulador?.

1.- Convertir la presión manometrica a presión atmosférica:

P1 = 3000 psig + 14,7 psi
P1 = 3014,7 psia

2.- Convertir temperaturas Fahrenheit a temperaturas absolutas (Rankine):

ºR = ºF + 460
T1 = 72ªF + 460
= 532ºR
T2 = 170ºF + 460
T2 = 630ºR

3.- Utilizar la fórmula de la ley de Charles/Gay-Lussac para resolver la presión final:

$$P2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$$

4.- Sustituir los valores conocidos y resolver para la presión final (P2):

$$P2 = \frac{3014,7 * 630}{532}$$
= 3570,03 psia – 14,7
= 3555,33 psig

La presión en el acumulador se incrementa desde 3000 psig hasta 3555,33 psig. Nótese que la presión aumenta aún cuando el volumen del acumulador y el volumen del gas permanecen constantes.

Este ejemplo también muestra lo que le pasaría a un cilindro scuba que fuera llenado al máximo y fuera dejado en la maleta de un automóvil o expuesto a la luz directa del sol en un día caluroso.

c.- **La ley general de los gases**. Boyle, Charles / Gay-Lussac demostraron que la temperatura, el volumen y la presión afectan a un gas de manera que el cambio en un factor debía ser equilibrado con el correspondiente cambio en uno o ambos de los otros factores. La ley de Boyle describe la relación entre la presión y el volumen. La ley de Charles/Gay-Lussac describe la relación entre la temperatura y el volumen y la relación entre la temperatura y la presión. La ley general de los gases combina estas leyes para predecir el comportamiento de una cantidad dada de gas cuando se experimenta una variación de cualquiera de los factores.

La fórmula para expresar la ley general de los gases es:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

donde:

P_1= presión inicial (absoluta)
V_1 = volumen inicial
T_1 = temperatura inicial (absoluta)
P_2 = presión final (absoluta)
V_2 = volumen final
T_2 = temperatura final (absoluta)

Tres reglas simples deben tenerse en cuenta cuando se trabaja con la ley general de los gases:

- Sólo puede haber un valor desconocido.
- La ecuación puede ser simplificada si se conoce que uno de los valores permanece constante (como el volumen de un cilindro de aire) o que el cambio en una de las variables es de pequeña consecuencia. En cualquiera de estos casos, cancele el valor de ambos lados de la ecuación para simplificar los cálculos.

- Recordar que todos los cálculos deben hacerse considerando valores absolutos

Problema ejemplo 1. Su buque ha sido asignado para salvar una nave de desembarco LCM hundida a 130 fsw. Una inmersión exploratoria, usando Equipo autónomo circuito abierto, se planea para inspeccionar los restos. Los cilindros son cargados a 2250psig, lo que eleva la temperatura en los tanques a 140ºF. De la experiencia sobre esta agua, usted sabe que la temperatura a la profundidad de operación será de aprox. 40 ºF. Aplique la ley general de los gases para encontrar la presión manométrica que habrá en el equipo cuando se alcance el fondo (Asuma que no hay pérdida de aire debido a la respiración).

1.- Simplificar la ecuación eliminando las variables que no cambiarán. El volumen del cilindro no cambiará, luego V1 y V2 pueden ser eliminados de la fórmula en este problema:

$$\frac{P_1}{T1} = \frac{P_2}{T2}$$

2.- Calcular la presión inicial convirtiendo las unidades de presión manométrica a las unidades de presión atmosférica:

P1 = 2,250 psig + 14.7
= 2,264.7 psia

3.- Convertir la temperatura en Fahrenheit a temperatura en grados absolutos (Rankine):

T1 = 140ºF + 460
= 600ºR
T2 = 40ºF + 460
= 500ºR

4.- Despejando la fórmula para resolver la presión final (P2):

$$P2 = \frac{P1T2}{T1}$$

5.- Llenando los valores conocidos :

$$P2 = \frac{2,264.7psia * 500ºR}{600ºR}$$

6.- Convertir la presión final (P2) a presión manométrica:

P2 = 1,887.25 – 14.7
= 1,872.55 psig

La lectura manométrica cuando se alcance el fondo será 1872.55 psig

Problema ejemplo 2. Durante la inmersión de inspección delineada en el problema 1, los buzos determinaron que el daño requerirá un simple parche. El Supervisor de Buceo elige usar un equipo MK21 alimentado desde la superficie. La capacidad de descarga del compresor es de 60 pies cúbicos por minuto y la temperatura del aire sobre la cubierta del buque es de 80 ºF.

Aplique la ley general de los gases para determinar si el compresor puede enviar el volumen apropiado de aire para la pareja de buzos que realizaran el trabajo, considerando la temperatura y presión del fondo.

1.- Calcular la presión absoluta en el fondo (P2):

$$P2 = \frac{133fsw + 33fsw}{33fsw}$$
$$= 4,93 \text{ ata}$$

2.- Convertir la temperatura Fahrenheit a temperatura Rankine (absoluta):

T1 = 80ºF + 460
= 540ºR
T2 = 40ºF + 460
= 500ºR

3.- Despejando la fórmula de la ley general de gases para resolver el volumen de aire en el fondo:

$$V2 = \frac{P1V1T2}{P2T1}$$

4.- Substituyendo los valores conocidos y resolviendo:

$$V2 = \frac{1ata*60fcm*500ºR}{4,93ata*540ºR}$$
= 11,26 fcam en las condiciones del fondo

Basados en los requerimientos de flujo de volumen (desplazamiento) real de 1,4 pies cúbicos de aire por minuto para un buzo a esa profundidad, la capacidad del compresor es suficiente para apoyar a los buzos durante su trabajo a 130fsw.

Problema ejemplo 3. Encuentre los pies cúbicos reales contenidos en un cilindro de 700 pulgadas cúbicas de volumen interno presurizado a 3000psi.

1.- Simplificar la ecuación eliminando las variables que no cambian. La temperatura del tanque no cambiará por lo que T1 y T2 pueden ser eliminadas de la fórmula en este problema:

P1V1 = P2V2

2.- Despejando la fórmula para resolver el volumen inicial:

$$V1 = \frac{P2V2}{P1}$$

donde:

P1 = 14,7 psi

P2 = 3000psi + 14,7 psi

V2 = 700 in^3

3.- Llenando los valores conocidos y resolviendo para V1:

$$V1 = \frac{3014,7psia*700in^3}{14,7\ psi}$$

$$= 143.557,14\ in^3$$

4.- Convertir V1 a pies cúbicos considerando: $1ft^3 = 1728in^3$

$$V1 = \frac{143.557,14\ in^3}{17283\ in^3}$$

$$= 83.07\ ft^3$$

20112. MEZCLAS DE GASES

Si un buzo utilizara sólo un gas para todo el trabajo submarino, a todas las profundidades, entonces la ley general de los gases sería suficiente para la mayoría de sus cálculos necesarios. Sin embargo, para acomodar el uso de un solo gas, se debería elegir el oxígeno ya que es el único gas que provee soporte vital. Pero un 100% de oxígeno puede ser peligroso para un buzo cuando se incrementa la profundidad y el tiempo de respiración. Los buzos usualmente respiran una mezcla de gases, ya sea aire (21% de oxígeno, 78% de nitrógeno, 1% de otros gases) o oxígeno con uno de los gases inertes sirviendo como diluyente del oxígeno. El cuerpo humano tiene un amplio rango de reacciones a varios gases bajo diferentes condiciones de presión y por esta razón se requiere otra ley de los gases que ayude a calcular las diferencias entre respirar en la superficie y respirar bajo presión.

a.- **Ley de Dalton**. La ley de Dalton establece: “La presión total ejercida por una mezcla de gas es igual a la suma de las presiones de cada uno de los gases componentes de la mezcla, con cada gas actuando como si estuviera sólo y ocupando el volumen total”.

En una mezcla de gas, la presión de un gas que forma parte de una mezcla es llamada presión parcial del gas (pp). Un ejemplo fácil de entender es el de un contenedor a presión atmosférica (14.7 psi). Si el contenedor estuviera lleno sólo con oxígeno, la presión parcial del oxígeno sería de una atmósfera. Si el mismo contenedor a una atmósfera estuviera lleno con aire seco, las presiones parciales de todos los gases constituyentes aportarían a la presión total, como se muestra en la Tabla 3.

Si el mismo contenedor estuviera lleno con aire a 2000 psi (137 ata), las presiones parciales de los componentes reflejarían el incremento de la presión en la misma proporción que su porcentaje en el gas, como se ilustra en la Tabla 4.

Gas	Porcentaje del Componente	Presión Parcial en Atas
N_2	78.08	0.7808
O_2	20.95	0.2095
CO_2	.03	0.0003
Otros	094	0.0094
Total	100.00	1.0000

T abla 3. Presión parcial a 1 atmósfera

Gas	Porcentaje del Componente	Presión Parcial en Atas
N_2	78.08	106.97
O_2	20.95	28.70
CO_2	.03	0.04
Otros	094	1.29
Total	100.00	137.00

Tabla 4. Presión parcial a 137 atmósferas

La fórmula para expresar la ley de Dalton es:

$$P_{total} = ppA + ppB + ppC + ...$$

Donde : A,B y C son gases y

$$\frac{PpA = Ptotal * \%Vol\ A}{1,00}$$

Otro método de arribar a la misma conclusión es usar la fórmula T. Cuando se usa la fórmula T, sólo puede existir un valor desconocido. Luego simplemente se trata de multiplicar cruzado o dividir para resolver el valor desconocido. La fórmula T se ilustra así:

$$\frac{\text{Presión parcial}}{\text{Atmósferas absolutas} \qquad \% \text{ volumen (en forma decimal)}}$$

Problema ejemplo 1. Use la fórmula T para calcular la presión parcial de oxígeno dada por 10ata y 16% de oxígeno.

1.- Reemplazar con los valores conocidos:

$$\frac{Pp}{\quad 0,16}$$

2.- Multiplicar la presión por el volumen para resolver la presión parcial de oxígeno (pp):

10 ata x 0,16

La presión parcial de oxígeno es 1,6.

Problema ejemplo 2. ¿Qué sucede con la mezcla de respiración a la profundidad de operación de 130 fsw (4,93 ata)? El compresor de aire del buque está tomando aire en la superficie a la presión y mezcla normal, y enviándola al buzo a la presión necesaria para mantener el adecuado equilibrio. La composición del aire no es alterada, pero la cantidad suministrada al buzo es cinco veces lo que estaba respirando en la superficie. Más moléculas de oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono están todas comprimidas en el mismo volumen a la mayor presión. Use la ley de Dalton para determinar las presiones parciales en el fondo.

1.- Calcular la presión parcial del oxígeno en el fondo:

pp O_2 = 0,21 (superficie)*4,93 ata
= 1,03 ata

2.- Calcular la presión parcial del nitrógeno en el fondo:

pp N2 = 0,79 (superficie)*4,93 ata
= 3,89 ata

3.- Calcular la presión parcial del dióxido de carbono en el fondo:

pp CO2 = 0,0003 (superficie)*4,93 ata
= 0,0014 ata

1) **La expresión de pequeñas presiones.** Expresar las presiones parciales de los gases en atmósferas absolutas (ata) es el método más común empleado para las grandes presiones. Las presiones parciales menores a 0,1 atmósferas son usualmente expresadas en milímetros de mercurio (mmHg). En la superficie, la presión atmosférica es igual a 1 ata o 14,7 psi o 760 mmHg. La fórmula usada parta calcular la ppCO_2 a 130 fsw en milímetros de mercurio es:

$$\text{pp } CO_2 = \frac{0{,}03 \times 4{,}93 \text{ ata} \times 760 \text{mmHg}}{1 \text{ ata}}$$
$$= 1{,}12 \text{ mmHg}$$

2) **Cálculo del valor de superficie equivalente.** De los cálculos previos, es evidente que el buzo está respirando más moléculas de oxígeno del aire de respiración a 130 fsw que si estuviera usando 100% de oxígeno en la superficie. También está inspirando cinco veces más moléculas de dióxido de carbono que si estuviera respirando aire normal en la superficie. Si el aire de la superficie estaba contaminado con un 2% (0.02 ata) de dióxido de carbono a un nivel que soportaría sin esfuerzo una persona normal a una ata, la presión parcial a esa profundidad sería peligrosamente alta – 0,0986 ata (0,02 x 4,93). Esta presión parcial es comúnmente llamada el valor equivalente en superficie **(ves)** del 10% de dióxido de carbono. La fórmula para calcular el valor de superficie equivalente es:

$$\text{VES} = \frac{\text{pp a la profundidad (en ata)} * 100\%}{1 \text{ ata}}$$
$$= \frac{0{,}0986 \text{ ata} * 100\%}{1 \text{ ata}}$$
$$= 9{,}86 \% \ CO_2$$

b.- **Difusión de gas.** Otro efecto físico de las presiones parciales y la actividad cinética es la difusión de un gas. La difusión de gas es el proceso de entremezclar o mezclar moléculas de gas. Si dos gases se colocan en un recipiente, eventualmente se mezclaran completamente aún cuando uno de ellos sea más pesado. La mezcla ocurre como resultado del constante movimiento molecular.

Un gas individual se moverá a través de una membrana permeable (un sólido que permite la transmisión molecular) dependiendo de la presión parcial del gas sobre cada lado de la membrana. Si la presión parcial es mayor en uno de los lados, las moléculas de gas difundirán a través de la membrana desde el lado de presión parcial más alta a la más baja hasta que la presión parcial en ambos lados de la membrana se iguale. De hecho, las moléculas están pasando a través de la membrana todo el tiempo en ambas direcciones debido a la actividad cinética, pero se moverán más desde el lado de alta concentración hacia el lado de menor concentración.

Los tejidos del cuerpo son membranas permeables. La tasa de difusión de gas, la cual está relacionada a la diferencia en las presiones parciales, es una consideración importante para determinar la absorción y eliminación de gases cuando se está calculando las tablas de descompresión.

c.- **Humedad.** La humedad es la cantidad de vapor de agua en atmósferas gaseosas. Como otros gases, el vapor de agua se comporta de acuerdo a las leyes de los gases. Sin embargo, a diferencia de otros gases encontrados en el buceo, el vapor de agua se condensa a su estado líquido a las temperaturas que normalmente enfrenta el buzo.

La humedad está relacionada con la presión de vapor del agua y la máxima presión parcial de vapor de agua en un gas está completamente gobernada por la temperatura del gas. Cuando la temperatura del gas aumenta, más moléculas de agua pueden ser mantenidas en el gas hasta establecer una nueva condición de equilibrio y una más alta máxima presión parcial. Cuando el gas se enfría, el vapor de agua en el gas se condensa hasta una condición de presión parcial más baja indiferente a la presión total del gas. La temperatura a la cual un gas está saturado con vapor de agua se le llama punto de rocío.

El vapor de agua en la mezcla de respiración de un buzo puede ser benéfica, si se mantiene bajo los niveles recomendados. El vapor de agua humedece los tejidos del cuerpo, manteniendo al buzo cómodo. Como líquido condensable sin embargo, el vapor de agua puede congelarse y bloquear las pasadas de aire en mangueras y equipos, nublar el visor de la máscara y corroer los equipos.

d.- **Gases en líquidos.** Cuando un gas entra en contacto con un líquido, una porción de las moléculas del gas entra en solución con el líquido. Se dice que el gas está disuelto en el líquido. La solubilidad es de vital importancia porque una cantidad significativa de gases es disuelto en los tejidos corporales, de acuerdo a las presiones enfrentadas durante el buceo.

e.- **Solubilidad**. Algunos gases son más solubles (capaces de ser disueltos) que otros, y algunos líquidos y sustancias son mejores solventes (capaces de disolver otra sustancia) que otros. Por ejemplo, el nitrógeno es cinco veces más soluble en grasa de lo que es en agua.

Aparte de las características individuales de los diversos líquidos y gases, la temperatura y la presión afectan enormemente la cantidad de gas que será absorbida. Debido a que un buzo siempre estará operando bajo condiciones inusuales de presión, entender este factor es particularmente importante.

f.- **Ley de Henry.** La ley de Henry establece que: “La cantidad de cualquier gas dado que se disolverá en un líquido a una temperatura dada, es directamente proporcional a la presión parcial de ese gas”. Debido a que gran porcentaje del cuerpo humano es agua, la ley simplemente establece que mientras más profundo se bucee, más gas será disuelto en los tejidos corporales y que durante el ascenso este gas disuelto debe ser liberado.

1) **Tensión del gas.** Cuando un líquido libre de gas es expuesto por vez primera a un gas, cuantiosas moléculas de gas se apresuran a ingresar a la solución, empujados por la presión parcial del gas. Mientras las molécula entran en el líquido, se añaden a un estado de tensión en el gas. La tensión en el gas es una vía para identificar la presión parcial de ese gas en el líquido.

La diferencia entre la tensión en el gas y la presión parcial del gas fuera del líquido es llamada el **gradiente de presión**. El gradiente de presión indica la tasa a la cual el gas entra o sale de la solución.

2) **Absorción de gas**. A nivel del mar, los tejidos corporales están equilibrados con nitrógeno disuelto a una presión parcial igual a la presión parcial del nitrógeno en los pulmones. Al ser expuesto a altura o presión incrementada por el buceo, la presión parcial del nitrógeno en los pulmones cambia y los tejidos ganan o pierden nitrógeno para alcanzar un nuevo equilibrio con la presión de nitrógeno en los pulmones. La adquisición de nitrógeno por los tejidos es llamada **absorción**. La entrega de nitrógeno por parte de los tejidos es llamada **eliminación** o **desgasificación**. En el buceo con aire, la absorción de nitrógeno ocurre cuando un buzo es expuesto a una presión parcial de nitrógeno mayor a la atmosférica. Cuando la presión decrece, el nitrógeno es eliminado. Esto se cumple para cualquier gas inerte respirado.

La absorción contiene varias fases, incluyendo la transferencia de gas inerte desde los pulmones y luego desde la sangre a los diversos tejidos mientras fluye a través del cuerpo. El gradiente de gas transferido es la diferencia de presión parcial del gas entre los pulmones y la sangre y entre la sangre y los tejidos.

El volumen de sangre fluyendo a través de los tejidos es pequeño comparado con la masa de tejido, pero pasado un período de tiempo el gas enviado a los tejidos hace que sea equilibrado con el gas transportado por la sangre. Mientras el número de moléculas de gas en el líquido aumenta, la tensión se incrementa hasta que alcanza un valor igual a la presión parcial. Cuando la tensión iguala la presión parcial, el líquido está saturado con el gas y el gradiente de presión es nulo. A menos que la temperatura o la presión cambien, las únicas moléculas de gas que entran o dejan el líquido son aquellas que pueden, de modo aleatorio, intercambiar lugares sin alterar el equilibrio.

La tasa de equilibrio entre el gas y la sangre depende del volumen de flujo de sangre, las capacidades respectivas de ésta y los tejidos que absorben el gas disuelto. Por ejemplo, los tejidos grasos mantienen significativamente más gas que los tejidos acuosos y por lo tanto les tomará más absorber o eliminar el exceso de gas inerte.

3) **Solubilidad del gas.** La solubilidad de los gases es afectada por la temperatura-mientras más baja la temperatura mayor la solubilidad. Cuando la temperatura de la solución aumenta, algo del gas disuelto deja la solución. Las burbujas que aparecen en una olla de agua calentándose (mucho antes de que hierva) son burbujas de gas disuelto que están saliendo de la solución.

Los gases en la mezcla de respiración de un buzo son disueltos en su cuerpo en proporción a la presión parcial de cada gas en la mezcla. Debido a la variada solubilidad de diferentes gases, la cantidad de cada gas particular que se disuelve también está gobernada por la amplitud de tiempo que el buzo está respirando el gas a la presión incrementada. Si el buzo respira el gas suficiente tiempo, su cuerpo se saturará.

El gas disuelto en el cuerpo de un buzo, sin importar la cantidad, profundidad o presión, permanecerá en solución mientras se mantenga la presión. Sin embargo, mientras el buzo asciende, el gas disuelto en la solución comienza a salir. Si su tasa de ascenso es controlada (por ejemplo, a través del uso de tablas de descompresión), el gas disuelto es llevado a los pulmones y exhalado antes de que se acumule y forme burbujas significativas en los tejidos. Si en lugar de ello, asciende bruscamente y la presión es reducida a una tasa mayor de la que el cuerpo puede acomodar, se pueden formar burbujas, separar tejidos y sistemas corporales y producir el mal de presión.

SIMBOLOS	VALORES
=F	Grados Fahrenheit
=C	Grados Celsius
=R	Grados Rankine
A	Area
C	Circunferencia
S	Profundidad del Agua
H	Altura
L	Largo
P	Presión
r	Radio
T	Temperatura
t	Tiempo
V	Volumen
W	Ancho
Dia	Diámetro
Dia^2	Diámetro al Cuadrado
Dia^3	Diámetro al Cúbico
II	3,1416
ata	Atmósfera absoluta
pp	Presión Parcial
psi	Libras por pulgadas cuadrada
psig	Libras por pulgadas cuadrada manométrica
psia	Libras por pulgadas cuadrada absoluta
fas	Pies de agua salada
fpm	Pies por minuto
fcs	Pies cúbicos estándar
BTU	British thermal Unit.
cm^3	Centímetros cúbicos
kw hr	Kilowatt hora
mb	Milibares

Tabla 5. Símbolos y valores.

Agua Dulce	(V cu ftx62.4) - Peso de Unidad
Agua Salada	(V cu ftx64) - Peso de Unidad

Tabla 6. Boyantés (en libras).

Cuadrado o Rectángulo	A = L x A
Circulo	A = 0.7854 x $Día^2$ o A = πr^2

Tabla 7. Fórmulas de área

Cubo	= L x A x H
Esfera	= π x 4/3 x r^3 = 0.5236 x $Día^3$
Cilindro	= π x r^2 x L = π x ¼ x $Día^2$ x L = 0.7854 x $Día^2$ x L

Tabla 8. Fórmulas de volúmenes.

Presión Parcial en pst	pp = (D + 33 fsw) x 0.445 psi x $\frac{\%V}{100\%}$	
Presión Parcial en ata	pp = $\frac{D + 33 \text{ fsw}}{33 \text{ fsw}}$ x $\frac{\%V}{100\%}$	
Presión parcial en fsw	pp = (D + 33 fsw) x $\frac{\%V}{100\%}$	
Fórmula “T” para medir pp	$\frac{\text{pp}}{\text{Ata} \quad \%}$	
Equivalente en Profundidad de aire en fsw para buceo con N_2 O_2	$EAD = \left(\frac{(1.0 - O_2\%)(D + 33)}{.79} \right)$	-33
Equivalente en Profundidad de aire en metros para buceo con N_2 O_2	$EAD = \left(\frac{(1.0 - O_2\%)(M + 10)}{.79} \right)$	-10

Tabla 9. Fórmulas de área.

Atmósfera	Bar	10 Newton Cm^2	psi	Columna Mercurio a O° C		Columna de agua a 15° C			
				Metros	Pulgs.	Metros	Pulgs	Pie (fw)	Pie (fsw)
1	1.01325	1.03323	14.596	0.76	29.9212	10.337	406.955	33.9138	33.066
0.986823	1	1.01972	14.5038	0.750062	29.5299	10.2018	401.645	33.4704	32.6336
0.967841	0.980665	1	14.2234	0.735559	28.959	10.0045	383.879	32.8232	32.0026
0.068046	0.068947	0.070307	1	0.061714 7	2.03601	0.70338 6	27.6823	2.30769	2.25
1.31579	1.33322	1.35951	19.3337	1	39.37	13.6013	535.482	44.6235	43.5079
0.033421 1	0.033864	0.034532	0.49116	0.0254	1	0.34547 3	13.6013	1.13344	1.1051
0.09674	0.09788	0.099955	1.42169	0.073523	2.89458	1	39.37	3.28083	3.19881
0.002456	0.002489	0.002538	0.03609	0.001967	0.07352 3	0.0254	1	0.08333	0.08125
0.029487	0.029877	0.030466	0.43333	0.02241	0.98227 1	0.30480 1	12	1	0.975
0.030242	0.030643	0.031247	0.44444	0.022984	0.90488 4	0.31261 6	12.3077	1.02564	1

1.- (FW) agua dulce = 62.4 lbs/tt^3; SW = 64,0 lbs/tt^3
2.- El sistema internacional la unidad de presión en Kilo pascal (Kpa)/1Kg/Cm^2 = 98.0565 kp
por definición 1 BAR = 100.00 KPA a 4° C.
3.- En el sistema métrico, 10 MSW es por definición 1 BAR.

Tabla 10. Equivalencias de Presión.

Cms3	Pulgadas Cúbicas	Pie Cúbicos	Yardas	Mililitros	Litros	Pinta	Agua	Gallón
1	1	$3.531x10^{-5}$	$1.3097x10^{-5}$	1	1	$2.113x10^{-3}$	$1.0567x10^{-3}$	$2.6417x10^{-4}$
16.3872	1728	$5.787x10^{-4}$	$2.1434x10^{-5}$	16.3867	0.016367	0.034632	0.017316	$4.329x10^{-3}$
28317	46656	1	0.037037	28316.2	28.3162	59.8442	29.9221	7.48052
764559	0.0610251	27	1	764538	764.538	1615.79	807.896	201.974
1.00000	61.0251	$3.5310x10^{-5}$	$1.308x10^{-5}$	1	0.001	$2.1134x10^{-3}$	$1.0567x10^{-3}$	$2.6418x10^{-4}$
1000.00	28.875	0.0303154	$1.308x100^{-3}$	1000	1	2.11342	1.05671	0.264179
473.179	57.75	0.167101	$6.1889x10^{-4}$	473.166	0.473179	1	0.5	0.125
946.359	231	0.0334201	$1.2378x100^{-3}$	946.332	0.946359	2	1	0.25
3780.43		0.133681	$49511x10^{-3}$	3785.33	3.78033	8	4	1

Tabla 11. Equivalencias de Volumen y Capacidad.

Centímetros	Pulgs.	Pies	Yardas	Metros	Fathom	Kilómetros	Millas	Millas Náuticas
1	0.3937	0.032808	0.010936	0.01	$0.468x10^{-3}$	0.00001	$6.2137x10^{-5}$	$5.3659x10^{-5}$
2.4001	1	0.08333	0.027778	0.025400	0.013889	$2.540x10^{-5}$	$1.5783x10^{-5}$	$1.3706x10^{-5}$
30.4801	12	1	0.33333	0.304801	0.166665	$3.0480x10^{-4}$	$1.8939x10^{-4}$	$1.6447x10^{-4}$
91.4403	36	3	1	0.914403	0.5	$9.144x10^{-4}$	$0.5818x10^{-4}$	$4.9341x10^{-4}$
100	39.37	3.28083	1.09361	1	0.5468	0.001	$6.2137x10^{-4}$	$0.3959x10^{-4}$
182.882	72	6	2	1.82882	1	$1.8288x10^{-3}$	$1.1364x10^{-3}$	$9.9682x10^{-4}$
100000	39370	3280.83	1093.61	1000	046.8	1	0.62137	0.539593
160935	63360	5290	1760	1609.35	80	1.60935	1	0.868393
180325	72952.4	6080.4	2026.73	1853.25	1013.36	1.85.320	1.15100	1

Tabla 12. Equivalencias de Longitud

Millas Cuadradas	Pulgadas	Pulgadas cuadradas	Pie	Yardas	acres	millas
1	1000	1550	10.7639	1.19099	$2.471x10^{-4}$	$3.861x10^{-7}$
0.0001	1	0.155	$1.0764x10^{-3}$	$1.196x10^{-4}$	$2.471x10^{-0}$	$3.861x10^{-11}$
$6.4516x10^{-4}$	6.45163	1	$6.944x10^{-3}$	$7.716x10^{-4}$	$1.594x10^{-7}$	$2.491x10^{-10}$
0.092903	929.034	144	1	0.11111	$2.2957x10^{-5}$	$3.579x10^{-4}$
0.836131	8361.31	1296	9	1	$2.0861x10^{-4}$	$3.2283x10^{-7}$
4046.87	$4.0469x10^{7}$	$6.2725x10^{5}$	43060	4840	1	$1.5625x10^{-3}$
$259x10^{5}$	$2.59x10^{10}$	$4.0145x10^{5}$	$2.7878x10^{7}$	$3.0976x10^{5}$	640	1

Tabla 13. Equivalencias de área.

Centímetros segundo	Metros segundo	Metros Minutos	Klms/fps	fps	fpm	Millas horas	Nudos
1	0.01	0.6	0.036	0.0328083	1.9685	0.0223638	0.0194673
100	1	60	3.6	3.28083	195.85	2.23693	1.9473
1.66667	0.016667	1	0.06	0.064805	3.28083	0.0372822	0.0324456
27.778	0.27778	16.667	1	0.911343	54.6806	0.62137	0.540758
30.4801	0.304801	18.288	1.09728	1	60	0.691818	0.593365
0.5080	$5.080x10^{-3}$	0.304801	0.018288	0.016667	1	0.0113636	$9.8894x10^{-3}$
44.7041	0.447041	26.8225	1.60935	1.4667	88	1	0.870268
51.3682	0.513682	30.8209	1.84926	1.6853	101.118	1.14907	1

Tabla 14. Equivalencias de Velocidad

Kgrs	Gramos	Grains	Onzas	Libras	Toneladas (cortas)	Toneladas (largas)	Toneladas (Métricas)
1	1000	15432.4	35.274	2.20462	$1.1023x10^{-3}$	$8.842x10^{-4}$	0.001
0.001	1	15432.4	0.035274	$2.2046x10^{-3}$	$1.1023x10^{-4}$	$8.842x10^{-7}$	0.000001
$6.4799x10^{-5}$	0.6047889	1	$2.2857x10^{-3}$	$1.4286x10^{-4}$	$7.1428x10^{-3}$	$6.3776x10^{-8}$	$6.4799x10^{-3}$
0.0283485	28.3495	437.5	1	0.0525	$3.125x10^{-5}$	$2.790x10^{-5}$	$2.835x10^{5}$
0.453592	453.592	7000	16	1	0.0005	$4.4543x10^{-4}$	$4.5359x10^{-4}$
907.185	907.185	$1.4x10^{7}$	32000	2000	1	0.892857	0.907185
1016.05	$1.016x10^{5}$	$1.568x10^{7}$	35840	2240	1.12	1	1.01605
1000	10^{5}	$1.5432x10^{7}$	35274	2204.62	1.10231	884206	1

Tabla 15. Equivalencias de Masa

Joules	Ergs	Libras	Kilowatt (masa)	HP Horas	Calorías	BTUs
1	10^{7}	0.737682	$2.778x10^{-7}$	$3.7257x10^{-7}$	$2.3889x10^{-4}$	$9.4799x10^{-4}$
10^{-7}	1	$7.3768x10^{-4}$	$2.778x10^{-14}$	$3.726x10^{-14}$	$2.389x10^{-11}$	$9.4799x10^{-11}$
1.3566	$1.3556x10^{7}$	1	$3.766x10^{-7}$	$5.0505x10^{-7}$	$3.238x10^{-4}$	$1.285x10^{-3}$
$3.6x10^{5}$	$3.6x10^{13}$	$2.6557x10^{4}$	1	1.34124	960	3412.76
$2.684x10^{5}$	$2.684x10^{13}$	$1.98x10^{4}$	0.745578	1	641.197	2544.48
4186.04	$4.186x10^{10}$	3087.97	$1.163x10^{-3}$	$1.596x10^{-3}$	1	3.96832
1054.87	$1.0549x10^{10}$	778.155	$2.930x10^{-4}$	$3.83x10^{-4}$	0.251996	1

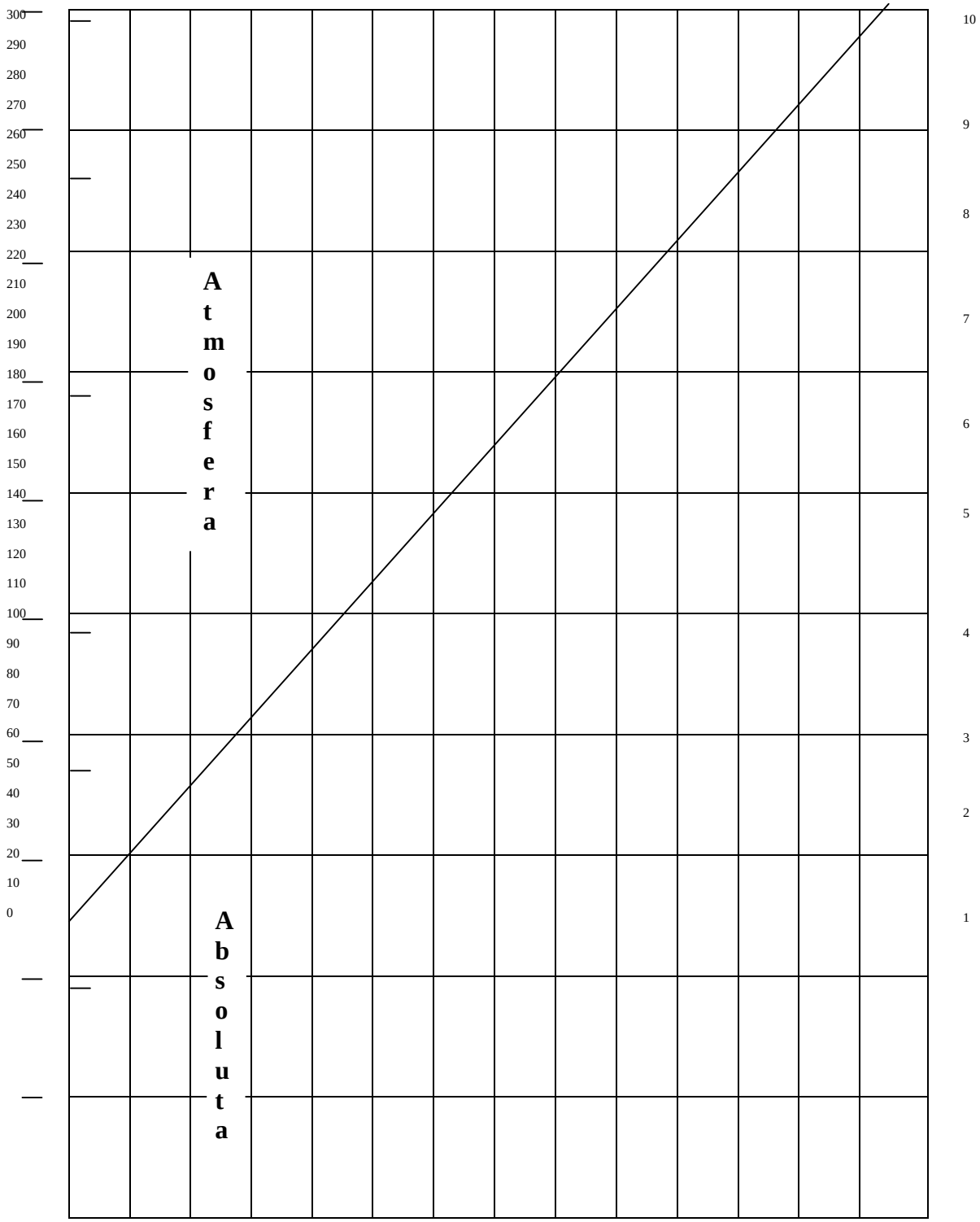
Tabla 16. Equivalencias de Energía o Trabajo

HP	Kilowatts	Jul/seg	Kgrs segundo	Libras/pie seg	Calorias seg	BTU/seg
1	0.745578	745.578	76.0404	550	178.11	0.7068
1.34124	1	1000	101.989	737.683	238.888	0.947888
$1.3412x10^{-3}$	0.001	1	0.101988	0.737682	0.238888	$9.4799x10^{-4}$
0.0131509	$8.805x10^{-3}$	8.80503	1	7.233	2.34231	$9.2951x10^{-3}$
$1.8182x10^{-3}$	$1.3556x10^{-3}$	1.3556	0.138255	1	0.323837	$1.2851x10^{-3}$
$5.6145x10^{-3}$	$5.6145x10^{-3}$	4.18605	0.425929	3.08797	1	$3.9683x10^{-3}$
1.41483	1.41483	1054	107.584	778.155	251.985	1

Tabla 17. Equivalencias de Potencia

Fórmulas de Conversión						°C= (°F-32) x 5/9				°C = (9/5 x °C) + 32			
°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
-100.0	-148.0	-60.0	-76.0	-20.0	-4.0	20.0	68.0	60.0	140.0	100.0	212.0	140	284.0
-98.0	-144.4	-58.0	-72.4	-18.0	-0.4	22.0	71.6	62.0	143.6	102.0	215.6	142	287.6
-96.0	-140.8	-56.0	-68.8	-16.0	3.2	24.0	75.2	64.0	147.2	104.0	219.2	144	291.2
-94.0	-137.2	-54.0	-65.2	-14.0	6.8	26.0	78.8	66.0	150.8	106.0	222.8	146	294.8
-92.0	-133.6	-52.0	-61.6	-12.0	10.4	28.0	82.4	68.0	154.4	108.0	226.4	148	298.4
-90.0	-130.0	-50.0	-58.0	-10.0	14.0	30.0	86.0	70.0	158.0	110.0	230.0	150	302.0
-88.0	-126.4	-48.0	-54.4	-8.0	17.6	32.0	89.6	72.0	161.6	112.0	233.6	152	305.6
-86.0	-122.8	-46.0	-50.8	-6.0	21.2	34.0	93.2	74.0	165.2	114.0	237.2	154	309.2
-84.0	-119.2	-44.0	-47.2	-4.0	24.8	36.0	96.8	76.0	168.8	116.0	240.8	156	312.8
-82.0	-115.6	-42.0	-43.6	-2.0	28.4	38.0	100.4	78.0	172.4	118.0	244.4	158	316.4
-80.0	-112.0	-40.0	-40.0	0.0	32.0	40.0	104.0	80.0	176.0	120.0	248.0	160	320.0
-78.0	-108.4	-38.0	-36.4	2.0	35.6	42.0	107.6	82.0	179.6	122.0	251.6	162	323.6
-76.0	-104.8	-36.0	-32.8	4.0	39.2	44.0	111.2	84.0	183.2	124.0	255.2	164	327.2
-74.0	-101.2	-34.0	-29.2	6.0	42.8	46.0	114.8	86.0	186.8	126.0	258.8	166	330.8
-72.0	-97.6	-32.0	-25.6	8.0	46.4	48.0	118.4	88.0	190.4	128.0	262.4	168	334.4
-70.0	-94.0	-30.0	-22.0	10.0	50.0	50.0	122.0	90.0	194.0	130.0	266.0	170	338.0
-68.0	-90.4	-28.0	-18.4	12.0	53.6	52.0	125.6	92.0	197.6	132.0	269.6	172	341.6
-66.0	-86.8	-26.0	-14.8	14.0	57.2	54.0	129.2	94.0	201.2	134.0	273.2	174	345.2
-64.0	-83.2	-24.0	-11.2	16.0	60.8	56.0	132.8	96.0	204.8	136.0	276.8	176	348.8
-62.0	-79.6	-22.0	-7.6	18.0	64.4	58.0	136.4	98.0	208.4	138.0	280.4	178	352.4

Tabla 18. Equivalencias de Temperatura



Profundidad

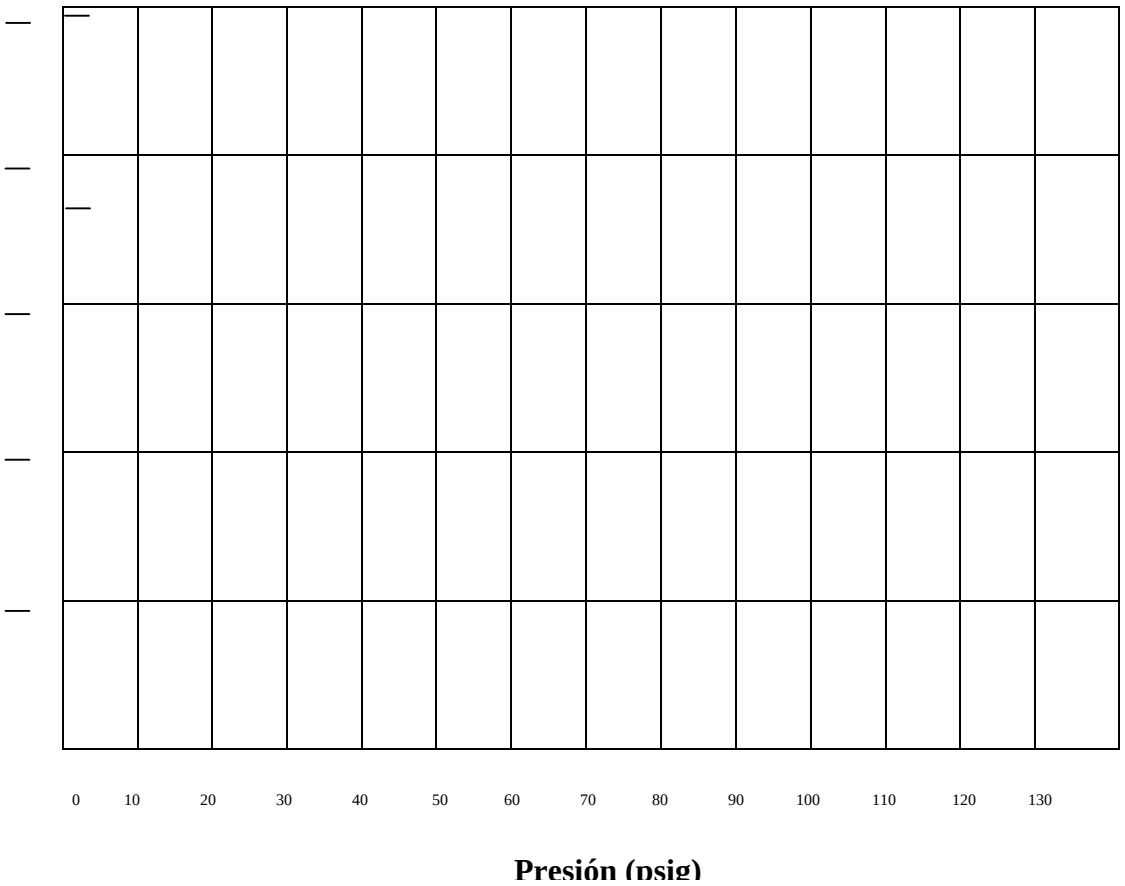


Figura 7. Gráfico – Profundidad, Presión, Atmósferas

TRATADO 3

FISIOLOGÍA SUBMARINA

30101. INTRODUCCIÓN

a.- **Propósito**. Este capítulo provee información básica sobre la Fisiología y Anatomía Humana relativa al trabajo dentro de un ambiente submarino. La Fisiología es el estudio de los procesos y funciones del cuerpo humano. La Anatomía es el estudio de la estructura de los órganos del cuerpo.

b.- **Perspectiva.** Este capítulo contiene información básica para proveer un entendimiento fundamental de los procesos y funciones Fisiológicas que son afectados cuando el ser humano está expuesto a un ambiente hiperbárico. El conocimiento de un buzo sobre la fisiología submarina es tan importante como conocer su equipamiento y procedimientos. Un buceo seguro es posible solamente cuando la persona entiende completamente los fundamentos y limitaciones de la fisiología humana dentro de este ambiente subacuático.

c.- **Generalidades.** El organismo humano necesita que todos los órganos y sistemas trabajen en forma coordinada para lograr su funcionamiento óptimo. El corazón bombea la sangre a todas partes del cuerpo, los tejidos intercambian los materiales disueltos en la sangre y los pulmones mantienen la sangre oxigenada y limpian el exceso de dióxido de carbono. La mayoría de estos procesos son controlados por el cerebro, el sistema nervioso y diferentes glándulas, por lo que el individuo generalmente está ajeno a todas estas funciones que se realizan en forma autónoma.

Aunque es muy eficiente, el cuerpo humano carece de formas efectivas para compensar muchos de los efectos provocados por la presión ejercida por la columna de agua y puede hacer muy poco al respecto a nivel interno, al entrar en este nuevo ambiente. Tales efectos exteriorizados, definen los límites de lo que un buzo puede hacer y, si no se entiende a si, puede producirse serios accidentes.

30102. EL SISTEMA NERVIOSO.

Este sistema coordina todas las funciones y actividades del cuerpo. Comprende el cerebro, espina dorsal y una complicada red nerviosa que abarca todo el cuerpo. El cerebro y la espina dorsal componen lo que se llama: Sistema Nervioso Central (SNC). Los nervios nacen desde el cerebro y la espina dorsal, conectando todas las partes “periféricas” del cuerpo formando el “Sistema Nervioso Periférico” (SNP). Este sistema relaciona los nervios craneales, dorsales y el sistema nervioso ”simpático”. El sistema periférico está relacionado con funciones automáticas como el pulso cardiovascular, respiración y otros. Este “tronco” nervioso además transmite impulsos nerviosos asociados a la vista, oído, balance, gusto, tacto, dolor y la temperatura entre los sensores periféricos, la espina dorsal y el cerebro.

30103. EL SISTEMA CIRCULATORIO.

Este consiste en el corazón, arterias, venas y vasos capilares. El sistema lleva o transporta oxígeno, nutrientes y hormonas a cada célula del cuerpo además de sacar el dióxido de carbono, desechos químicos y calor. La sangre circula dentro de un sistema cerrado de conductos que incluye los pulmones, tejido capilar, corazón, arterias y venas.

a.- **Anatomía.** Las áreas más extensas necesitan de una amplia difusión de gases tanto en los pulmones como en los tejidos por lo que están provistas de finas paredes de capilares. Cada parte del cuerpo está completamente vinculada con la intrincada red de pequeñísimos conductos de sangre llamados capilares. En los pulmones, los capilares rodean pequeños sacos de aire (alvéolos), permitiendo en este lugar efectuar el intercambio gaseoso.

1) **El Corazón**. (ver Figura 1) Es la bomba muscular que permite la circulación de la sangre a través del sistema. Tiene el tamaño aproximado de un puño cerrado, cóncavo y compuesto casi enteramente de tejido muscular que forma sus paredes y provee la acción del latido. Se localiza en el frente y centro de la cavidad torácica entre los pulmones, directamente tras el esternón.

El interior de éste está dividido longitudinalmente en dos mitades, separadas por una muralla de tejido llamado septo, él que no posee un conducto que una estas dos mitades. Cada mitad está dividida en una cámara superior (atrium), la cual recibe sangre desde las venas de su propio circuito y una cámara baja (el ventrículo), que toma esta sangre desde el

átrium y la bombea hacia la arteria principal. Porque los ventrículos hacen un mayor esfuerzo de bombeo, poseen las murallas musculares más gruesas. Las arterias llevan la sangre desde el corazón hacia los capilares; las venas retornan la sangre desde los capilares hacia el corazón. Arterias y venas poseen una composición similar a la sabia dentro de un árbol. Los troncos cercanos al corazón tienen el diámetro aproximado de un dedo pulgar mientras que las arterias y venas que están ubicadas al final de las diferentes ramas del sistema circulatorio son microscópicas. Los capilares son los conductos que permiten la conexión entre las pequeñísimas arterias (arteriolas) hacia venas microscópicas llamadas vénulas.

2) **Circuitos Pulmonar y Sistémicos**. El sistema circulatorio consiste en dos circuitos que usan la misma sangre a través del cuerpo. El circuito pulmonar sirve a los capilares pulmonares; el circuito sistémico sirve a los tejidos capilares. Cada circuito posee sus propias arterias y venas, además de una mitad del corazón. La figura 2 muestra en donde se inicia el sistema circulatorio. En un ciclo completo, la sangre pasa primero por el corazón y es bombeada al circuito Pulmonar, posteriormente retorna al corazón para ser bombeada al circuito sistémico, completando así el ciclo.

b.- **Función Circulatoria.** La sangre sigue un circuito continuo a través del cuerpo humano. Al dejar ésta un músculo ó un órgano, está cargada de dióxido de carbono y ha entregado la mayor parte del oxígeno que transportaba. La sangre circula a través de las venas del organismo hacia una vena mayor que se encuentra en la parte superior del pecho denominada “Vena Cava Superior ó Inferior”. La vena cava superior recibe la sangre desde la mitad superior del cuerpo; la cava inferior recibe desde las áreas inferiores al diafragma. La sangre circula hacia el átrium derecho y con cada contracción del corazón es bombeada a través de una válvula triple hacia el ventrílocuo derecho.

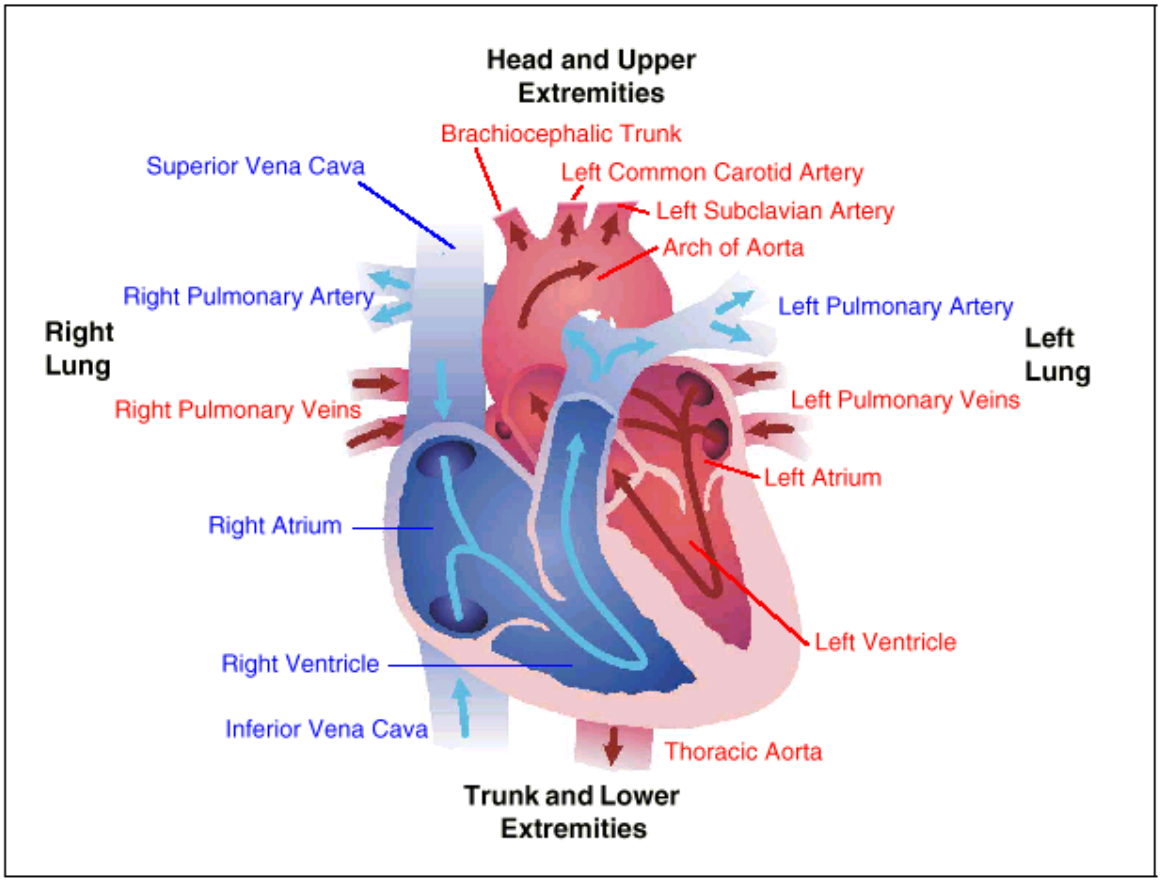


Figura 1. Los componentes del corazón y flujo sanguíneo.

La siguiente contracción envía la sangre hacia la válvula pulmonar dentro de la arteria Pulmonar. Esta sangre circula por un ramal de arterias hacia los capilares pulmonares, donde se transfiere el gas con el aire. Por difusión, la sangre intercambia gas inerte, dióxido de carbono y oxígeno con el aire que está en los pulmones. Entonces, la sangre regresa al corazón, vía sistema venoso pulmonar, y entra en el atrium izquierdo.

En la siguiente relajación del corazón, la sangre fluye a través de la válvula mitral, dentro del ventrículo izquierdo, donde la sangre es bombeada hacia la válvula aórtica dentro de la arteria principal (aorta) del circuito sistémico. Entonces, la sangre fluye desde la aorta al ramal de arterias cada vez más pequeñas, hasta alcanzar los capilares, donde el oxígeno es intercambiado por dióxido de carbono. La sangre está nuevamente lista para efectuar otro recorrido hacia los pulmones y volver a oxigenar los tejidos.

Los vasos sanguíneos más grandes son más elásticas y poseen paredes musculares. Ellas se contraen ó relajan según cómo la sangre es bombeada desde el corazón, manteniendo un flujo lento pero adecuado (perfusión) a través de los capilares.

c.- **Componentes de la Sangre.** En promedio, el organismo de un ser humano contiene aproximadamente cinco litros de sangre. El oxígeno es llevado principalmente por los glóbulos rojos (células de la sangre). Existen aproximadamente 300 millones de glóbulos rojos por gota-promedio de sangre. Estos corpúsculos son pequeños, en forma de disco y contienen una gran cantidad de hemoglobina para transportar oxígeno. La hemoglobina es un compuesto químico complejo que contiene hierro. Puede formar un compuesto químico flotante con el oxígeno, absorbiendo tal como una esponja absorbe líquido. La hemoglobina es de un rojo brillante cuando es rica en oxígeno y se oscurece gradualmente al perderlo. La hemoglobina gana ó pierde oxígeno dependiendo de la presión parcial de oxígeno a la cual está expuesta. Esta transporta sobre el 98% del oxígeno cuando este está expuesto a una presión normal y parcial del mismo en los pulmones. Los tejidos capilares poseen una presión parcial menor a la existente en la hemoglobina, por lo que se produce el intercambio gaseoso entre estos.

El Dióxido de carbono se disuelve en forma de ácido en la sangre, es por ello que la sangre posee elementos que pueden neutralizar y absorber grandes cantidades de este elemento con el propósito de eliminarlo. La hemoglobina juega un papel importante en el transporte del CO_2. La absorción o eliminación del CO_2 depende principalmente de la presión parcial del gas en el área donde la sangre es expuesta. Por ejemplo, en los tejidos periféricos, el CO_2 difunde hacia la sangre y el oxígeno hacia los tejidos.

La sangre también contiene glóbulos blancos (defensa contra infecciones) y plaquetas (células que participan activamente en el proceso de coagulación). El plasma es la porción acuosa de la sangre y contiene en solución la mayor parte de los elementos necesarios para mantener la vida. La sangre también contiene muchas otras sustancias, tales como fibrógeno (asociado a la coagulación de la sangre), hormonas, etc.

30104. EL SISTEMA RESPIRATORIO.

Cada célula en el organismo debe obtener energía para sustentar su vida, crecimiento y funcionamiento. Las células consiguen su energía de la oxidación a través de la combustión de materiales orgánicos, requiriendo de combustible y oxígeno. La respiración es el proceso de intercambio de dióxido de carbono durante la oxidación y relaciona la energía con el agua.

a.-**Intercambio de Gases.** Muy pocas células están suficientemente cerca de la superficie para poder obtener oxígeno y expeler dióxido de carbono por difusión directamente con el aire. En cambio, la mayor proporción del intercambio gaseoso es realizado en el sistema sanguíneo. La sangre es expuesta al aire a través de una gran superficie mientras pasa a través de los pulmones. Cuando la sangre alcanza los tejidos, los pequeños vasos capilares proveen otra gran superficie donde la sangre y los fluidos del tejido están en un contacto directo. Este sistema está tan bien diseñado que hasta las células más profundas del cuerpo pueden obtener oxígeno y dejar el exceso de dióxido de carbono, tal como si estuvieran completamente rodeadas de aire.

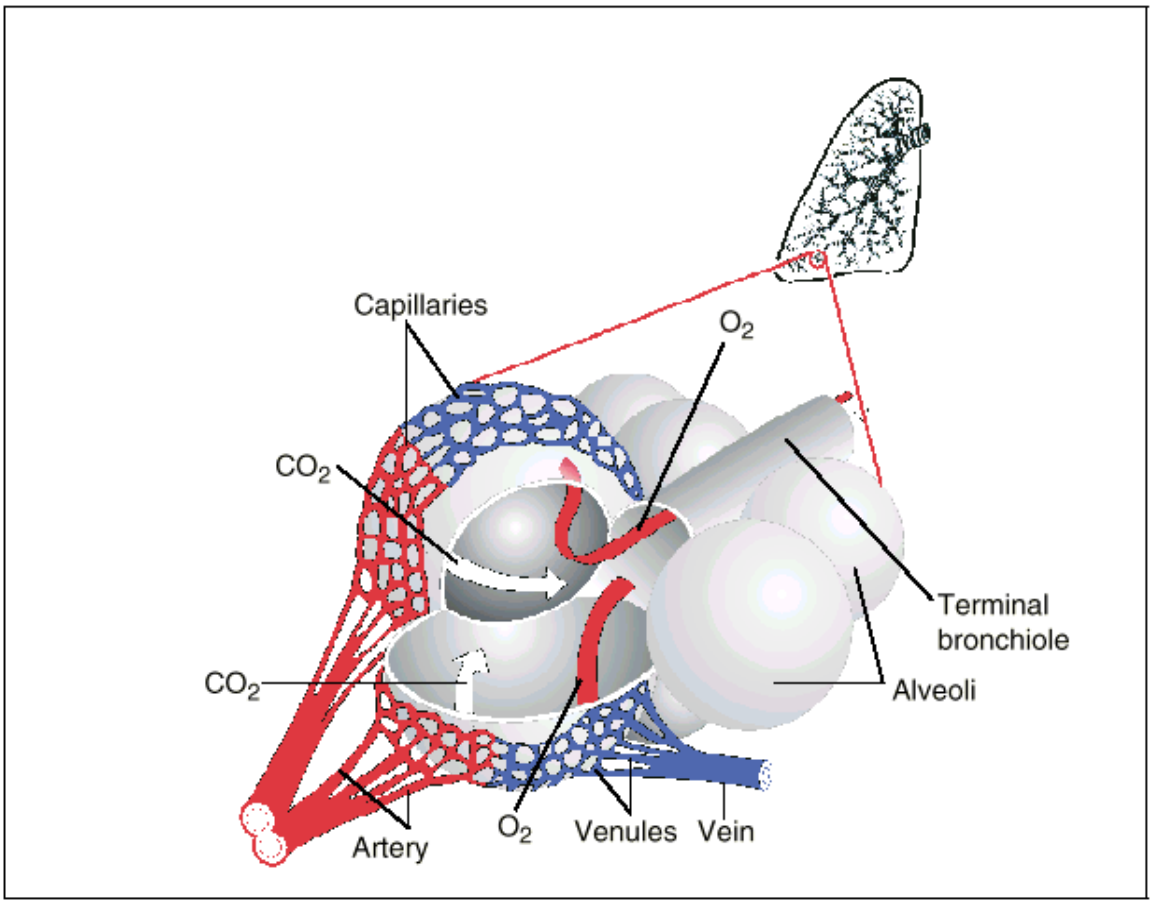


Figura 2. Respiración y Circulación de Sangre.

El sistema pulmonar de intercambio de gases está esencialmente compuesto de tres bombas. El tórax, una bomba de gas, mueve el aire a través de la traquea y el bronquio hacia los alvéolos, mostrados con y sin su cubierta de capilares pulmonares. El ventrílocuo derecho del corazón, una bomba de fluido, mueve la sangre baja en oxígeno y rica en dióxido de carbono dentro de los capilares pulmonares. El oxígeno desde el aire se diluye en la sangre mientras el dióxido de carbono se diluye desde la sangre hacia el aire que está en los pulmones. La sangre oxigenada se mueve hacia el ventrílocuo izquierdo, otra bomba de fluido, la que envía la sangre a los capilares sistémicos los que derivan oxígeno y colectan el dióxido de carbono desde las células corporales.

El ácido formado por el dióxido de carbono, se disuelve en la sangre. Elementos químicos dentro de ella, neutralizan los ácidos y permiten juntar grandes cantidades de dióxido de carbono para expulsarlo y prevenir el exceso de acidez. La hemoglobina también juega una parte importante en el transporte del mismo. La salida ó perdida de dióxido de carbono por la sangre depende principalmente de la presión parcial (tensión) del gas en el área donde la sangre está expuesta. Por ejemplo, en los tejidos periféricos, el dióxido de carbono se esparce en la sangre y el oxígeno se esparce dentro de los tejidos.

La sangre contiene glóbulos blancos para contener las infecciones y plaquetas, que son células esenciales en la coagulación sanguínea. El plasma es la porción descolorida y acuosa de la sangre. Contiene la mayor cantidad de materiales disueltos esenciales para la vida. La sangre también contiene muchas sustancias importantes como el fibrógeno, asociado a la coagulación. Sin esta habilidad coaguladora, cualquier daño físico podría ocasionar la muerte por hemorragia.

Si la membrana superficial del pulmón, donde la sangre y el aire se acercan, fuera como una sábana de tejido como la piel expuesta al aire natural, éste la mantendría ventilada sólo con su contacto. Realmente, la superficie de la membrana pulmonar es muchas veces más grande que la piel del organismo y es acomodada y fuera comprimida dentro de un pequeño espacio, quedando protegida dentro de la cavidad torácica. Esto hace necesario mover el aire continuamente dentro y fuera de ese espacio. El proceso de respiración é intercambio gaseoso en los pulmones, se refiere a la ventilación e intercambio pulmonar de gases respectivamente.

b.- **Fases de la Respiración.** El proceso completo de respiración, incluye seis fases:

1. Ventilación de los pulmones con aire fresco.
2. Intercambio de gases entre la sangre y el aire en los pulmones.
3. Transporte de gases por la sangre.
4. Intercambio de gases entre la sangre y los fluidos de los tejidos.
5. Intercambio de gases entre los fluidos de los tejidos y las células.
6. Uso y producción de gases por las células.

Si uno de estos procesos se detuviera ó se dañara de modo serio, las células afectadas no podrían funcionar normalmente ó sobrevivir por un tiempo prolongado. Por ejemplo, los tejidos celulares del Cerebro paran de funcionar casi inmediatamente y podrán morir o quedar con daño permanente en algunos minutos si no hay alimentación con oxígeno.

El sistema respiratorio es un conjunto de órganos y estructuras que realizan la ventilación pulmonar del cuerpo y el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el aire ambiente y la sangre que circula a través de los pulmones. Además entibia el aire que entra al cuerpo y ayuda a la función del habla, proveyendo de aire a la laringe y a las cuerdas vocales. El aparato respiratorio, está dividido en superior e inferior.

c.- **Aparato respiratorio superior e Inferior.** El aparato superior de respiración consiste en la nariz, cavidad nasal, senos frontales, senos maxilares, laringe y la tráquea. Este permite llevar aire desde y hacia los pulmones, filtrando, humedeciendo y entibiando el aire en cada inhalación.

El aparato respiratorio inferior consta de los bronquios y los pulmones, donde el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono ocurre durante el ciclo respiratorio. Los bronquios se dividen en ductos más pequeños denominados bronquíolos. Estos, a su vez, se dividen ductos alveolares, continuando en sacos alveolares, para terminar en los alvéolos. Los sacos alveolares y el alvéolo, presentan cerca de 850 pies cuadrados de superficie para el intercambio gaseoso, lo que ocurre entre la superficie alveolar interna y los pequeños capilares alrededor de la pared alveolar externa.

d.- **El Aparato Respiratorio.** La mecánica de tomar aire fresco hacia los pulmones (inspirar ó inhalar) y expeler aire usado desde los pulmones (expirar ó exhalar) es representado en la figura 3. Al elevar las costillas y bajar el diafragma, el volumen de los pulmones se incrementa. De este modo, de acuerdo a la Ley Boyle, se produce una baja presión, lo que obliga al aire a entrar a los pulmones para igualar la presión interna con la externa. Cuando las costillas bajan otra vez y el diafragma alcanza su posición original, aumenta la presión dentro de los pulmones, obligando a exhalar el aire para nuevamente igualar la presión interna a la externa.

1) **La cavidad torácica**. Esta cavidad no posee espacio entre los pulmones y los alrededores del pecho y el diafragma. Ambas superficies están cubiertas por membranas; la pleura visceral cubre los pulmones y la pleura parietal, el perímetro del pecho. Estas están separadas entre si por una pequeña cantidad de fluido que actúa como lubricante permitiendo a las membranas moverse libremente durante las fases de expansión y contracción de los pulmones.

2) **Los Pulmones**. Son dos órganos livianos y esponjosos ubicados en el pecho, correspondiendo al componente más importante del Sistema Respiratorio (Figura 4). Su alta elasticidad son el mecanismo central en la inhalación de aire para que la sangre del sistema arterial extraiga el oxígeno y para que el dióxido de carbono sea exhalado desde el sistema sanguíneo venoso. Los pulmones están compuestos de lóbulos que son suaves y brillantes en su superficie. Los pulmones contienen millones de pequeños sacos expansibles (alvéolos) conectados a conductos que transportan aire. Estos pasajes se expanden como las ramas de un árbol. El aire entra por las vías aéreas principales de los pulmones logrando cubrir la superficie entera del alvéolo. Cada alvéolo está cubierto con una delgada membrana y rodeado por una red de pequeñísimos conductos sanguíneos que hacen la cama capilar de los pulmones. La mayoría de las membranas pulmonares tienen aire en un lado y sangre en el otro, por lo que la difusión de gases tienen libre dirección hacia ambos lados.

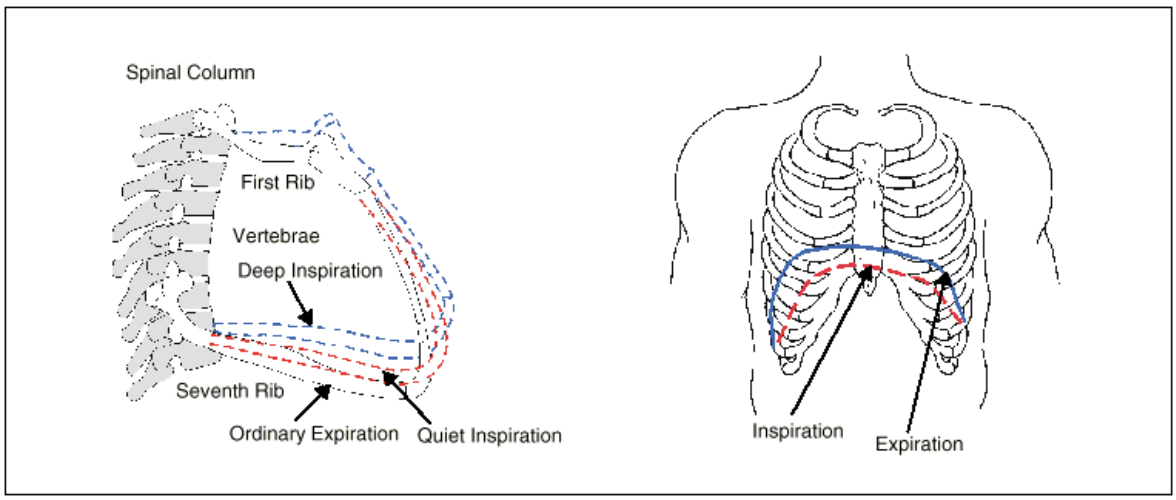


Figura 3. Proceso de inspiración.

La inspiración utiliza el desplazamiento de la caja de torácica (panel izquierdo) y el movimiento hacia abajo del diafragma (panel derecho). Ambos movimientos aumentan el volumen de la cavidad toráxica , haciendo que el aire ingrese a los pulmones.

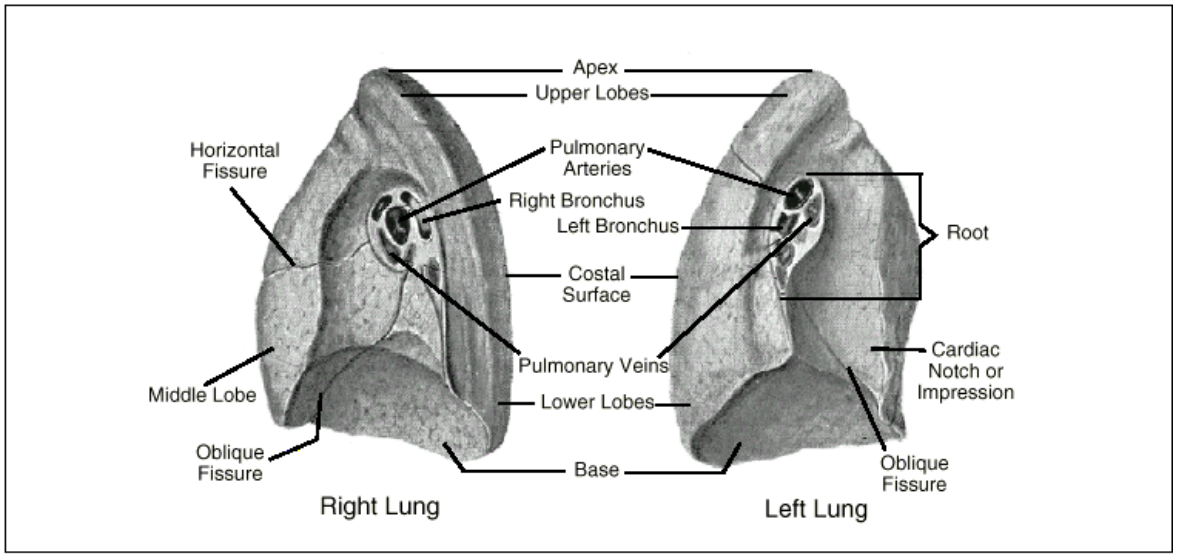


Figura 4. Vista central de los pulmones.

e.- **Definiciones de Ventilación del Tracto Respiratorio**. El sistema de ventilación de la respiración, establece la propia composición de gases en el alvéolo para intercambio con la sangre. Las siguientes definiciones ayudan al entendimiento de la respiración. (Figura 5).

1) **Ciclo Respiratorio**. El ciclo respiratorio es una respiración completa, y consiste de una inspiración y una exhalación, incluyendo cualquier pausa entre éstos dos movimientos.

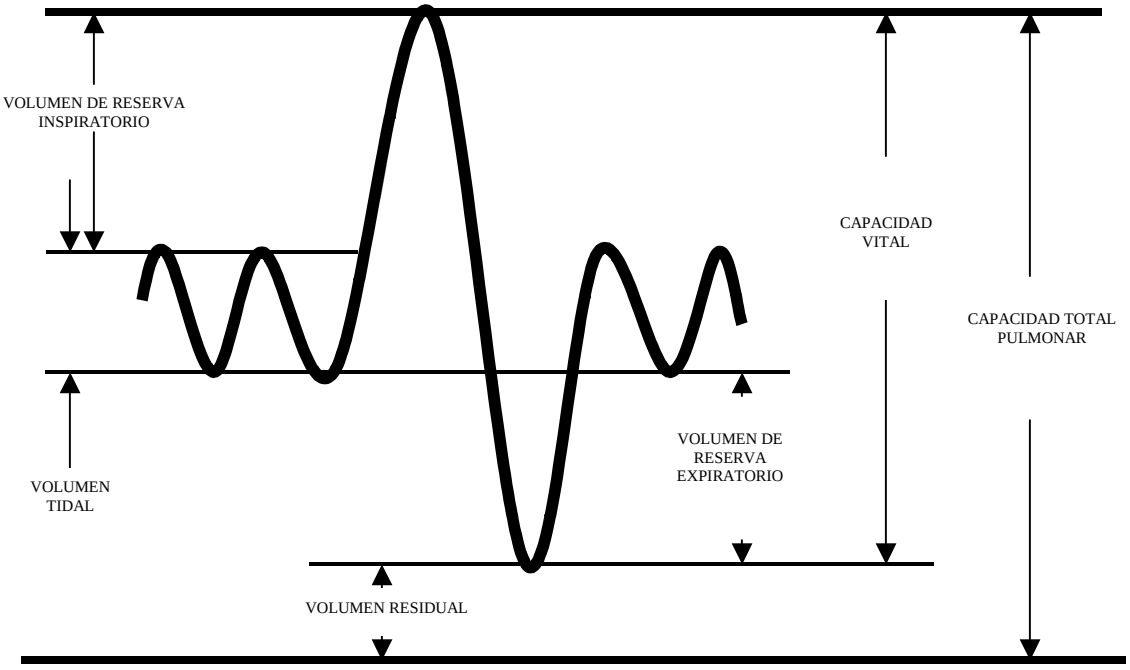


Figura 5. Volúmenes Pulmonares.

La líneas gruesa es un registro derivado de la respiración de un sujeto respirando desde y hacia un circuito cerrado. Seguido de varias respiraciones normales o tidales, el sujeto inhala y exhala hasta su capacidad máxima y exhala respectivamente. El volumen de aire movido durante el máximo esfuerzo, es llamado capacidad vital. Durante el ejercicio, el volumen tidal crece, usando parte de los volúmenes de reserva de la inhalación y exhalación. Sin embargo, el volumen tidal nunca puede exceder la capacidad vital. El volumen residual, es el monto de aire sobrante en los pulmones después de la más forzosa exhalación. La suma de la capacidad vital y el volumen residual son la capacidad total del pulmón.

2) **Frecuencia Respiratoria:** El número de ciclos respiratorios efectuados en un minuto se denomina frecuencia respiratoria. Un adulto descansando, tiene un rango de aproximadamente 12 a 16 respiraciones por minuto.

3) **Capacidad Total Pulmonar (CPT).** Es el volumen total de aire que los pulmones pueden contener cuando llenan su capacidad. TLC está normalmente entre cinco y seis litros.

4) **Capacidad Vital**. Es el volumen de aire que puede ser expedido desde los pulmones después de una inspiración completa. El promedio de capacidad vital está entre 4 a 5 litros.

5) **Volumen Tidal.** Es el volumen de aire movido desde y hacia los pulmones durante un ciclo de respiración normal. El volumen tidal generalmente promedia cerca de un litro y medio cuando un adulto descansa. Este se incrementa considerablemente durante el ejercicio físico y no puede exceder la capacidad vital.

6) **Volumen Respiratorio por Minuto (VRM)**. Es el volumen total de aire movido dentro y fuera de los pulmones en un minuto. El VRM es calculado multiplicando el volumen tidal por la frecuencia respiratoria. El VRM varía grandemente cuando el individuo está en actividad, pasando de un VRM de 6 a 10 litros por minuto en completo descanso, hasta superar los 100 litros por minuto durante un trabajo forzado.

7) **Capacidad Máxima Respiratoria y Máximo Volumen de Ventilación.** La capacidad máxima de respiración (CMR) y máximo volumen de ventilación (MVV), son los grandes volúmenes, por minuto, que una persona puede respirar durante un corto período durante un trabajo extremadamente forzado. En un hombre joven saludable, puede alcanzar 180 litros por minuto (el rango es 140 a 240 litros por minuto).

8) **Frecuencia Inspiratoria Máxima y Frecuencia Expiratoria Máxima.** La frecuencia inspiratoria y expiratoria máximas son los volúmenes de aire máximos que puede respirar un ser humano. Estos rangos son importantes en el diseño de los equipos de respiración y cálculo de gas usado bajo diferentes tipos de trabajo. Estos flujos máximos están expresados usualmente en litros por segundo.

9) **Cuociente Respiratorio.** El cuociente respiratorio (QR) es la relación de dióxido de carbono producido con respecto a la cantidad de oxígeno consumido por unidad de tiempo durante el proceso celular. Este valor alcanza rangos desde 0.7 a 1.0 dependiendo de la dieta y de la actividad física que es usualmente asumida al 0.9 para los cálculos. Este porcentaje es significante cuando se calculan los montos de dióxido de carbono producidos según cuanto oxígeno es usado en varios períodos de trabajo mientras se usa un aparato de respiración con circuito cerrado. La duración del dióxido de carbono, absorbido en el recipiente debe ser comparado con la duración del cilindro de oxígeno.

10) **Volumen de Respiración Muerta.** Se refiere a la parte del sistema respiratorio que no tiene alvéolos, por lo que no se produce el intercambio gaseoso con la sangre. Normalmente este volumen es menor a 0.2 litros. El aire que ocupa este espacio es aspirado nuevamente en cada ciclo, por lo que no es renovado. Parte de un equipo de buceo puede aumentar este volumen, reduciendo el volumen tidal, por lo que el buzo deberá aumentar la profundidad de su respiración para mantener el volumen de aire requerido.

    El problema puede ser visualizado si se usa un tubo respiratorio como ejemplo. Si el tubo contiene un litro de aire, una exhalación cercana al litro dejaría el tubo lleno con aire usado desde los pulmones. Al inhalarlo, el aire usado será respirado nuevamente por los pulmones. El volumen de flujo debe ser incrementado por más de un litro para acarrear el aire fresco necesario, el que será diluido por el aire en el espacio muerto. De este modo, el aire que es tomado dentro de los pulmones (aire inspirado) es una mezcla de aire frasco y gases del espacio muerto.

f.- **Intercambio gaseoso alvéolo / capilar.** Dentro de los espacios de aire alveolar, la composición del aire alveolar es cambiada por el aporte del dióxido de carbono desde la sangre, la absorción de oxígeno por la sangre, y la adición de vapor de agua. El aire que es exhalado es una mezcla de aire alveolar y el aire inspirado que queda en el espacio muerto.

La sangre en la cama capilar de los pulmones es expuesta a las presiones del gas del aire alveolar a través de delgadas membranas de sacos de aire en las murallas capilares. Con esta exposición, realizada sobre una vasta superficie, la presión parcial de los gases en la sangre es similar a la presión parcial existente en el aire alveolar.

Cuando la sangre arterial pasa alrededor de las células a través de la red capilar del organismo, estas quedan expuestas a la presión parcial de los gases disueltos en la sangre, igualándose las presiones.

Algo de esta sangre oxigenada es absorbida por las células y el dióxido de carbono es sacado desde estas. Cuando la sangre regresa a los capilares pulmonares y es expuesta al aire alveolar, la presión parcial de los gases es nuevamente igualada entre la sangre y el aire alveolar.

EL dióxido de carbono se diluye desde la sangre al aire alveolar, bajando su presión parcial, y el oxígeno es absorbido por la sangre desde el alvéolo, incrementando su pp. La sangre es el medio en que en cada ronda de circulación, se produce este proceso de intercambio de gases. Cada ciclo requiere aproximadamente normalmente de 20 segundos para completarse.

g.- **Control de respiración**. La cantidad de oxígeno consumido y el dióxido de carbono producido aumentan marcadamente cuando un buzo está trabajando. La cantidad de sangre bombeada a través de los tejidos y la respiración por minuto aumenta en proporción a la tasa a la cual los gases deben ser transportados. Como resultado, más oxígeno es absorbido desde el aire alveolar y más dióxido de carbón es enviada a los pulmones para su eliminación. Para mantener los niveles apropiados de sangre, el volumen respiratorio por minuto debe también cambiar en proporción al oxígeno consumido y al dióxido de carbono expulsado.

Los cambios en la presión parcial (concentración) de oxígeno y dióxido de carbono (ppO_2 y $ppCO_2$) en la circulación arterial activan quimioreceptores centrales y periféricos. Estos quimioreceptores están unidos a importantes arterias. Las más importantes son los cuerpos de la carótida en el cuello y los cuerpos de la aorta cerca del corazón. El quimioreceptor en la arteria carótida es activado por la $ppCO_2$ en la sangre enviando señales para que el centro respiratorio en el cerebro ordene aumentar o disminuir la frecuencia respiratoria. El quimioreceptor en la aorta causa el reflejo de los cuerpos de la aorta. Este es un reflejo químico natural iniciado por la disminución de la concentración del oxígeno y el aumento de la concentración de dióxido de carbono en la sangre. Estos cambios resultan en impulsos nerviosos que incrementan la actividad respiratoria. La baja presión parcial de oxígeno, por sí sola, no incrementa la respiración marcadamente hasta que se alcanzan niveles peligrosos. El rol jugado por los quimioreceptores es evidente en procesos normales tales como la contención de la respiración.

Como resultado del proceso de regulación y de los ajustes que causa, la sangre que deja los pulmones usualmente tienen casi los mismos niveles de oxígeno y dióxido de carbono, tanto durante la ejecución de un trabajo, como en reposo. La máxima capacidad de bombeo del corazón (circulación de sangre) y del sistema respiratorio (ventilación) determinan primordialmente la capacidad de trabajo que una persona puede realizar.

h.- **Consumo de oxígeno**. El consumo de oxígeno de un buzo es un factor importante al determinar cuanto durará el gas de respiración, la tasa de ventilación requerida para mantener un nivel de oxígeno apropiado en el casco y la cantidad de tiempo que una cánula absorberá dióxido de carbono. El consumo de oxígeno es una medida de la energía gastada y esta estrechamente relacionada con los procesos respiratorios de ventilación y producción de dióxido de carbono.

El consumo de oxígeno es medido en litros por minuto (l/min) a Temperatura Estándar (0 ºC;32 ºF) y Presión (14,7psi; 1ata), Gas Seco (STPD). Estas tasas de consumo de oxígeno no son dependientes de la profundidad. Esto significa que una botella de oxígeno MK16 totalmente cargada, conteniendo 360 litros estándar (3,96scf) de gas útil a una tasa de consumo de 1.6 litros por minuto a cualquier profundidad durará 225 minutos, asumiendo que no hay pérdidas de gas por el equipo.

La ventilación por minuto, o volumen respiratorio por minuto (VRM), es medido en BTPS (temperatura corporal 37ºC/98.6ºF, presión barométrica ambiente, saturada con vapor de agua a la temperatura corporal) y varía dependiendo del nivel de actividad de la persona, como muestra la Figura 6. El VRM en superficie puede ser aproximada por la multiplicación de la tasa de consumo de oxígeno por 25. Aún cuando esta relación 25:1 decrece con el incremento de la densidad del gas y altas concentraciones de oxígeno inhaladas, es una buena aproximación para calcular cuanto durará el gas de respiración.

A diferencia del consumo de oxígeno, la cantidad de gas exhalada por los pulmones si depende de la profundidad. En la superficie, un buzo nadando a 0.5 nudos exhala 20 l/min. Un cilindro Scuba conteniendo 71.2 pies cúbicos estándar (scf) de aire (aproximadamente 2000 litros estándar) dura aproximadamente 100 minutos. A 33 fsw, el buzo aún exhala 20 l/min a BTPS, pero el gas es el doble de denso; luego, la exhalación sería aproximadamente 40 l/min y el cilindro duraría sólo la mitad del tiempo, o 50 minutos. A tres atmósferas, el mismo cilindro duraría sólo un tercio del tiempo que duraría en la superficie.

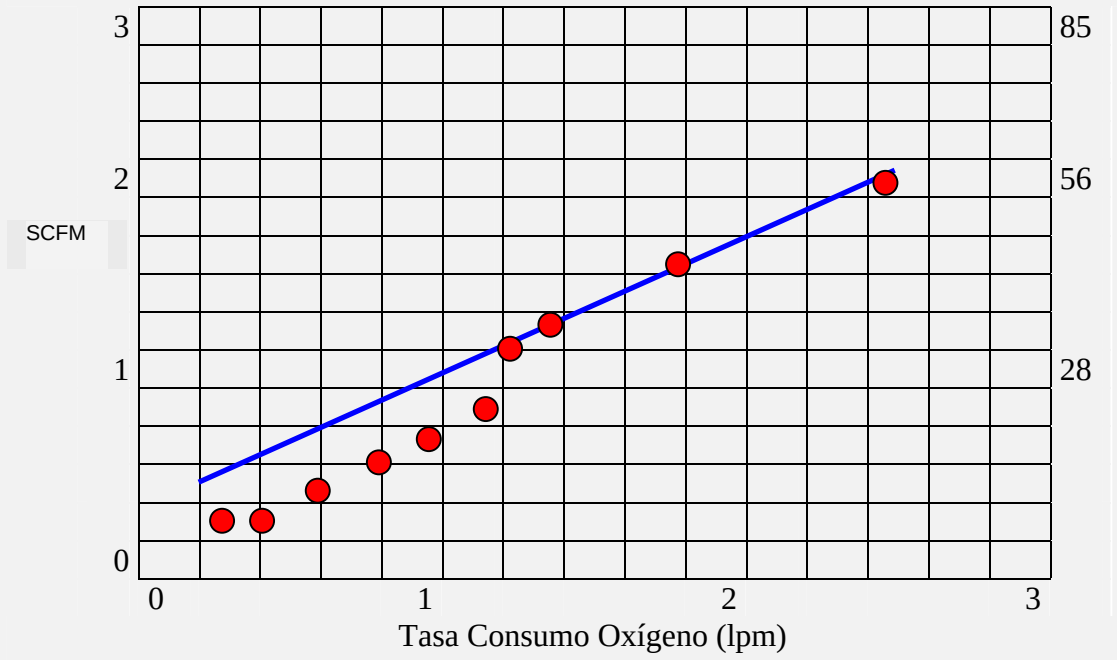
La producción de dióxido de carbono depende sólo del nivel de esfuerzo y puede asumirse que es independiente de la profundidad. La producción de dióxido de carbono y RQ son usados para calcular las tasas de ventilación de las cámaras y los cascos de buceo de libre circulación. Estos factores pueden ser usados para determinar si es que la provisión de oxígeno o la absorción de CO_2 limitará el tiempo de un buzo en un sistema cerrado o semicerrado.

30105. PROBLEMAS RESPIRATORIOS EN EL BUCEO.

A menudo ocurren problemas fisiológicos cuando los buzos están expuestos a las presiones de la profundidad. Sin embargo, algunas de las dificultades relacionadas a los procesos respiratorios pueden ocurrir en cualquier momento debido a una inadecuada provisión de oxígeno o una deficiente eliminación del dióxido de carbono desde el tejido celular. La profundidad puede modificar estos problemas para el buzo, pero las dificultades básicas son las mismas. Afortunadamente, el buzo tiene reservas fisiológicas normales para adaptarse a los cambios ambientales y sólo debe preocuparse marginalmente por pequeños cambios. El trabajo extra de respirar reduce la habilidad de un buzo para realizar trabajo pesado a grandes profundidades, pero un trabajo moderado puede ser perfectamente realizado con el equipo adecuado a grandes profundidades.

a.- **Deficiencia de oxígeno (Hipoxia).** La hipoxia o deficiencia de oxígeno, es una deficiencia anormal de oxígeno en la sangre arterial que causa que el tejido celular sea incapaz de recibir el suficiente oxígeno para mantener un funcionamiento normal. La hipoxia severa detendrá el normal funcionamiento de cualquier tejido celular del cuerpo y éste eventualmente morirá, siendo las células del tejido cerebral las más susceptibles a sus efectos.

La presión parcial del oxígeno determina si es que la cantidad de oxígeno es adecuada en un medio respiratorio. Por ejemplo, el aire contiene cerca de 21% de oxígeno y por lo tanto provee una presión parcial de oxígeno de cerca de 0,21 ata en la superficie. Esta presión es abundante, pero si esta disminuye a una ppO_2 de 0,14 ata, comienzan la aparición de síntomas de hipoxia en la superficie. Si la pp O_2 desciende a 0,11 ata en la superficie, muchos individuos requerirán ayuda. La conciencia se pierde usualmente alrededor de 0.10 ata y si este nivel baja aún más, puede ocurrir daño cerebral permanente o la muerte. En el buceo, un bajo porcentaje sería suficiente, dependiendo de cual es la presión parcial de O_2 a una profundidad dada. Por ejemplo, en una mezcla de gas con un 5% de oxígeno a una profundidad de 100 pies, la presión parcial de O_2 equivaldría a 0,2 ata, presión suficiente para mantener adecuadamente la vida. En la ascensión, sin embargo, el buzo experimentará hipoxia en caso de mantener constante la mezcla respiratoria y disminuir la presión total del fluido.



Trabajo	VO_2 (lpm)	RMV (acfm)	RMV (lpm)	Trabajo Level
Descanso	0.24	035	10	__
Sentado, de pie, quieto	0.40	042	12	liviano
Caminando en el tanque, tasa mínima	0.58	053	15	liviano
Actividad liviana en cámara	0.70	064	18	liviano
Caminando, fondo de barro, tasa mínima	0.80	071	20	moderado
Caminando en el tanque, tasa máxima	1.10	099	28	moderado
Caminando, fondo de barro, tasa máxima	1.20	114	32	moderado
Nadar, 0,8 nudos, velocidad promedio (utilizando como factor de planificación, redondear en 1,40)	1.40	134	38	moderado
Nadar, 1 nudo	1.70	159	45	arduo,
Nadar, 1,2 nudos	2.50	212	60	pesado severo

Figura 6. Consumo de Oxígeno y RMV a diferentes rangos de trabajo.

1) **Causas de la Hipoxia**. Estas causas varían, pero todas interfieren con el suministro normal de oxígeno al cuerpo. Para los buzos, esta interferencia de oxígeno enviado puede ser causado por:

   - Problemas en el equipamiento, tales como baja presión parcial de oxígeno en el regulador de respiración, inadecuado fluido de gas, mala purga de las bolsas de respiración en equipos de circuito cerrado (alto contenido de gases inertes) ó falla del sistema de inyección de gas en un equipo de circuito semi-cerrado.

   - Obstrucción de todo ó parte las vías aéreas del sistema pulmonar por vómitos, secreciones, objetos extraños u otro daño.

   - Neumotórax ó parálisis de los músculos respiratorios por un daño en la espina dorsal.

   - Decrecimiento del intercambio de oxígeno de la membrana alvéolo / capilar causada por la acumulación de fluido en los tejidos (edema), un desajuste del flujo de la sangre y la ventilación alveolar, daño pulmonar por ahogamiento ó inhalación de humo, ó “chokes” (espasmos bronquiales) causados por la irritación pulmonar debido a una alta cantidad de burbujas en la circulación sanguínea.

   - Problemas fisiológicos como una anemia o un inadecuado flujo sanguíneo, interfiriendo en el transporte del oxígeno por la sangre. Un edema puede interferir con el intercambio gaseoso en las áreas de tejido y capilares, y el envenenamiento por monóxido de carbono puede obstruir la utilización de oxígeno a nivel celular.

   - Hiperventilación seguida de una apnea voluntaria, puede generar una severa hipoxia. La Hiperventilación baja el nivel de dióxido de carbono a niveles inferiores a los normales (condición conocida como hipocapnia) y puede evitar que el mecanismo de control que estimula la respiración de la alarma hasta que la tensión del oxígeno haya caído bajo el nivel necesario para mantener la conciencia. No es recomendable efectuar una apnea después de la realización de una hiperventilación exagerada. Refiérase al párrafo 7 para más información sobre los riesgos de la hiperventilación.

2) **Síntomas de Hipoxia.** El tejido cerebral es por lejos el más susceptible a los efectos de la hipoxia. Un buzo puede llegar a un estado de inconsciencia o muerte cerebral por efecto de la hipoxia antes de que los efectos sobre otros tejidos sean prominentes.

No hay un aviso confiable del padecimiento de hipoxia. Puede ocurrir inesperadamente, haciéndolo un peligro particularmente serio. Un buzo que pierda su provisión de aire está en peligro de hipoxia, pero él sabe inmediatamente que está en peligro y generalmente tiene tiempo suficiente actuar de acuerdo a su entrenamiento. Este buzo es mucho más afortunado que aquel que gradualmente consume su oxígeno en un aparato de respiración de circuito cerrado y que no tiene aviso de la amenazante pérdida de conciencia.

Cuando se desarrolla la hipoxia, el pulso y la presión sanguínea se incrementan al tratar el cuerpo de evitar la hipoxia mediante la circulación de más sangre. Puede ocurrir también, un pequeño incremento de la frecuencia respiratoria. La hipoxia puede producir un color azulado general (cianosis), especialmente en los labios, la cutícula y la piel. Esto puede que no sea notado por el buzo y a menudo no es un indicador confiable de hipoxia, aún para un observador entrenado en la superficie. Los mismos signos pueden ser causados por una prolongada exposición al agua fría.

Si la hipoxia se desarrolla gradualmente, aparecerán los síntomas de interferencia con la función cerebral. Sin embargo, ninguno de estos síntomas son un aviso suficiente y muy pocas personas son capaces de reconocer con tiempo los efectos mentales de la hipoxia para tomar las medidas correctivas.

Los síntomas de la hipoxia incluyen:

- Falta de concentración.
- Falta de control muscular.
- Incapacidad de realizar tareas delicadas o de alta calificación.
- Somnolencia.
- Debilidad.
- Agitación.
- Euforia.
- Pérdida de conciencia.

3) **Tratamiento de la hipoxia**. Un buzo sufriendo de hipoxia severa debe ser rescatado prontamente. La interferencia de la hipoxia con la función cerebral produce no sólo inconsciencia sino también la falla de los centros de control de la respiración. Si se le da a una víctima de hipoxia una dosis de gas con el contenido adecuado de oxígeno antes de que su respiración cese, usualmente recupera la conciencia en poco tiempo y se recupera totalmente. Para los buzos con equipo autónomo, esto significa generalmente traer al buzo a la superficie. En caso de buceo asistido con gas mezclado, involucra cambiar la provisión de gas a bancos alternativos y efectuar una ventilación del casco o cámara con el nuevo gas.

4) **Prevención de la Hipoxia.** Debido a su naturaleza insidiosa y a las potencialmente fatales consecuencias, la prevención de la Hipoxia es esencial. En el buceo autónomo o buceo asistido, la hipoxia es poco probable a menos que el gas tenga un contenido de oxígeno muy bajo. En operaciones de gas-mezclado, se debe prestar estricta atención al análisis de los gases, la alineación de los cilindros y los procedimientos de control previos a la inmersión. En los Equipos de Respiración Submarina (ERS) de circuito cerrado y semicerrado, un mal funcionamiento puede causar hipoxia aún cuando se estén usando los gases apropiados. Un ECC, electrónicamente controlados tienen sensores de oxígeno para obtener lecturas de la presión parcial de oxígeno y a sí regular la mezcla del medio respiratorio. A pesar de ello, los buzos deben estar permanentemente alerta ante la posibilidad de hipoxia por un mal funcionamiento del equipo. **Los sensores de oxígeno deben ser monitoreados constantemente a lo largo de la inmersión con ECC de mezcla de gas. En el caso de los ECC 100% O_2, las bolsas de respiración deben ser purgadas de acuerdo a los Procedimientos de Operación (PO).** En Cámaras en donde se utilizó gas mezclado recientemente no debe hacerse ingreso hasta que hayan sido ventiladas con aire completamente.

b.- **Intoxicación con dióxido de carbono (Hipercapnia).** La intoxicación con dióxido de carbono o hipercapnia, es producida por un alto nivel de dióxido de carbono en los tejidos.

1) **Causas de la hipercapnia**. En las operaciones de buceo, la hipercapnia generalmente es el resultado de una elevada concentración de dióxido de carbono en la provisión de aire o en el organismo, siendo normalmente producida por:

- Inadecuada ventilación de los cascos durante buceo asistido.

- Exceso de dióxido de carbono en el gas de abastecimiento del casco (falla en la cánula de absorción de CO_2) en el buceo con gas mezclado.

- Falla en las cánulas de absorción de CO_2 en los ECC o ECSC.

- Inadecuada ventilación de los pulmones en relación al nivel de ejercicio (causado por la respiración controlada, resistencia excesiva de los aparatos de respiración, alta presión parcial de oxígeno o alta densidad del gas respiratorio).

- Cualquier causa de incremento en el espacio muerto, tal como la respiración rápida y superficial a través de un snorkel.

2) **Síntomas de hipercapnia**. Los equipos de respiración submarina están diseñados para mantener el dióxido de carbono bajo el 1.5% durante el trabajo pesado. La causa más común de hipercapnia es una falla en la adecuada ventilación de los cascos. Esto puede ocurrir a través de técnicas inadecuadas de respiración ó excesiva resistencia respiratoria; un buzo puede auto-envenenarse al ventilar inadecuadamente sus pulmones. Esto sucede normalmente cuando un buzo con equipo autónomo trata de hacer durar su provisión de aire disminuyendo su rango respiratorio, llegando a niveles peligrosos (sostenimiento innecesario de la respiración). Una ventilación inadecuada de los pulmones es más común en el buceo que en las actividades de superficie por dos razones. Primero, algunos buzos tienen un bajo manejo para incrementar la ventilación pulmonar al emerger, lo que incrementa el nivel de dióxido de carbono en la sangre. Segundo, el alto $pp0_2$ encontrado en el buceo evita la sensación de falta de aire que acompaña la ventilación pulmonar inadecuada.

   La hipercapnia afecta al cerebro de un modo diferente a como lo hace la hipoxia. Sin embargo, pueden resultar síntomas similares como confusión, inhabilidad para concentrarse, somnolencia, pérdida de la conciencia y convulsiones. Tales efectos pasan a ser más severos a medida que aumenta la concentración del gas. Un buzo que respira gas con un 10% de dióxido de carbono, generalmente pierde la conciencia después de algunos minutos. Al respirar una mezcla con un 15% de dióxido de carbono por cualquier período de tiempo, causa espasmos musculares y rigidez.

Un buzo que pierde la conciencia por exceso de dióxido de carbono en su medio de respiración y no aspira agua, generalmente revive rápidamente cuando recibe aire fresco. Usualmente se recupera dentro de 15 minutos y los efectos posteriores raramente incluyen síntomas más serios que un dolor de cabeza, náuseas y vértigo. Daño cerebral permanente y la muerte son menos comunes que en los casos de hipoxia.

a) **Efectos de Incremento en los Niveles de Dióxido de Carbono.** El incremento en el nivel de dióxido de carbono en la sangre, estimula al centro respiratorio a elevar la frecuencia y profundidad respiratoria aumentando, además, la frecuencia cardiaca. Normalmente, el aumento de la respiración es notorio y suficientemente inconfortable para que el buzo la detecte y evite que el $ppCO_2$ llegue a ser peligroso. Sin embargo, variables como el rango de trabajo, profundidad y la composición de la mezcla respiratoria pueden producir cambios en la respiración y en la composición de la sangre, lo que puede enmascarar cualquier cambio causado por el exceso de dióxido de carbono.

   Este es común que en los ECC (especialmente en los de 100% de oxígeno) cuando falla ó se agota el material absorbente del dióxido de carbono, este comienza a aumentar mientras el nivel de oxígeno crece. En casos donde el ppO_2 está sobre 0,5 ata, el aumento de la frecuencia respiratoria está asociada al exceso de CO_2 y puede que el buzo no logre detectarlo, especialmente si se encuentra en un período de exigencia física. En estos casos el buzo puede llegar a confundirse y estar un poco eufórico antes de perder la conciencia. Por esta razón, el buzo debe estar alerta a cualquier cambio marcado en el ciclo respiratorio (como falta de aire ó hiperventilación), lo que podría ser una advertencia de hipercapnia.

b) **Efectos del Exceso de Dióxido de Carbono.** El exceso de dióxido de carbono también dilata las arterias del cerebro. Esto puede explicar los dolores de cabeza que con frecuencia se asocian con la intoxicación de dióxido de carbono, creyendo que estos efectos son más comunes después de un exposición que durante la misma. El incremento del flujo sanguíneo a través del cerebro, como resultado de la dilatación arterial, es lo que explica el porqué el dióxido de carbono acelera la aparición de los síntomas de intoxicación por oxígeno. También se cree que el exceso de dióxido de carbono durante una inmersión aumenta las probabilidades de la aparición de la enfermedad por descompresión inadecuada, pero las razones son menos claras aún. Dolor de cabeza, cianosis, sudoración inusual, fatiga y una sensación general de disconformidad pueden entregar una advertencia al buzo, pero no son totalmente confiables como advertencias.

La hipotermia también puede ocultar el aumento del dióxido de carbono porque el aumento de la frecuencia respiratoria crece l ser expuesto al agua fría. Adicionalmente, la narcosis por nitrógeno también puede esconder esta condición ya que un buzo bajo los efectos de la narcosis no nota la diferencia en su frecuencia respiratoria. Durante un buceo asistido, el Supervisor de Buceo debe asegurarse que los buzos tengan una ventilación adecuada.

3) **Tratamiento de la Hipercapnia.** La hipercapnia es tratada en base a disminuir el exceso de presión parcial del dióxido de carbono. En buceo asistido con aire, esto es realizado ventilando adecuadamente el casco con aire fresco. En caso de tener un elemento absorbedor de CO_2, se deberá bypasear o ascender para disminuir la presión parcial. Cualquier método usado para reducir la presión parcial, remueve los problemas encontrados con el exceso de dióxido de carbono.

c.- **Asfixia.** Asfixia indica la existencia de hipoxia y exceso de dióxido de carbono en el cuerpo. La asfixia ocurre cuando la respiración se detiene. La respiración puede ser detenida por daño en la traquea, el tragar algún objeto, obstrucción causada por la lengua durante un desmayo ó la inhalación de agua, saliva ó vómito.

En muchas situaciones, la hipoxia y el exceso de dióxido de carbono ocurren separadamente. La verdadera asfixia ocurre cuando la hipoxia es severa ó suficientemente larga para detener la respiración del buzo y dando paso a que la toxicidad del dióxido de carbono se desarrolle rápidamente. En este punto, el buzo no podrá respirar por sí sólo.

d.- **Resistencia Respiratoria y la Disnea.** La habilidad para desarrollar un trabajo útil bajo el agua, depende de la habilidad del buzo para hacer circular suficiente gas desde y hacia los pulmones para proveer suficiente oxígeno a los músculos y a la eliminación metabólica del dióxido de carbono. El incremento de la densidad del gas y la resistencia a respirar producida por el equipo de buceo son los dos factores principales que impiden esta habilidad. Incluso en una cámara hiperbárica seca sin un equipo de respiración, el incremento de la densidad del gas puede causar que los buzos experimenten una falta de aire (disnea). La disnea usualmente se torna aparente con cargas de trabajo pesadas a profundidades bajo los 120 fsw y se está respirando aire. Si el buzo está respirando helio-oxígeno, la disnea se transforma en un problema con cargas de trabajo pesado en el rango de los 850-1000 fsw. A grandes profundidades (1600-1800 fsw) la disnea puede ocurrir aún en reposo.

1) **Causas de la resistencia respiratoria**. La resistencia de flujo y la carga estática de los pulmones son las dos principales causas de las limitaciones respiratorias impuestas por lo equipos de respiración submarina. La resistencia de flujo se debe al flujo de gas denso a través de los tubos, mangueras y orificios en el equipamiento de buceo. A medida que la densidad del gas se incrementa, debe ser aplicada una mayor presión en el manejo del equipo para mantener el flujo de gas al mismo nivel. El buzo tiene que ejercer una alta presión negativa al inhalar y una alta presión positiva al exhalar. Como la ventilación aumenta con el crecimiento de los niveles de ejercicio, la presión necesaria para respirar necesariamente aumenta. Ya que los músculos respiratorios sólo pueden esforzarse al inhalar o exhalar, el punto es alcanzado cuando el incremento mayor ya no puede ocurrir. En este momento, el dióxido de carbono metabolitamente producido no es adecuadamente eliminado, aumentando su nivel en la sangre y causando los síntomas de hipercapnia.

La carga estática pulmonar es el resultado del gas respiratorio suministrado a diferente presión que la presión hidrostática existente alrededor de los pulmones. Por ejemplo, cuando se nada horizontalmente usando un regulador de doble etapa, la segunda etapa se encuentra ubicado levemente bajo la boca, entregando aire con una presión positiva durante la abertura de la válvula de demanda. Si el buzo flota sobre su espalda, el diafragma de la segunda etapa está a menor profundidad que su boca y éste genera una leve presión negativa. La inhalación es más difícil que la exhalación porque las vías de descarga del regulador están sobre la boca y ejercen una menor presión.

La carga pulmonar estática es más aparente en los equipos de circuito cerrados y semi-cerrados, tales como el MK25 y el MK16. Cuando se nada horizontalmente el diafragma sobre la espalda del buzo está más bajo que los pulmones por lo que el buzo siente una presión negativa en la boca. La inhalación es más difícil que la exhalación, si el buzo se voltea sobre su espalda, el diafragma está bajo los pulmones y el buzo siente una presión positiva en la boca. La inhalación llega a ser más fácil que la exhalación. Con una carga alta de trabajo puede causar disnea sin ningún incremento de dióxido de carbono en la sangre, solamente debido a una carga pulmonar estática excesivamente alta o baja.

2) **Prevención de la disnea**. La Armada americana hace muchos esfuerzos para asegurar que los ERS reúnan estándares de respiración adecuados para minimizar la resistencia al flujo y los problemas de la carga estática pulmonar. Sin embargo, todo ERS tiene sus limitaciones y los buzos deben tener suficiente experiencia para reconocer esas limitaciones. Si el ERS no impide la ventilación, el propio sistema pulmonar del buzo podrá limitar su habilidad al ventilar. Mientras las limitaciones de los equipos o las limitaciones impuestas por el propio sistema respiratorio del buzo pueden resultar en síntomas de hipercapnia o disnea sin incrementar el nivel de dióxido de carbono en la sangre. Esto está referido comúnmente al “sobre respirar el equipo”.

Muchos buzos disminuyen su nivel de ejercitación al experimentar los primeros síntomas de disnea, pero en algunos casos, dependiendo de la profundidad y el tipo de ERS, la disnea puede continuar aumentando por un período después de haber parado los ejercicios. Cuando esto ocurre, un buzo sin experiencia puede entrar en pánico, comenzando a hiperventilarse (respirar más rápido de lo requerido para efectuar el intercambio gaseoso), lo que incrementa la disnea. La situación rápidamente se desarrolla hacia una disnea severa y a una hiperventilación incontrolable. En esta situación, incluso si una pequeña cantidad de agua es inhalada, puede causar espasmos de los músculos en la laringe (caja de voz) llamado laringoespasmo, seguido por una asfixia y posible ahogo. La reacción adecuada para enfrentar una disnea es parar el ejercicio, si es posible ventilar el ERS y controlar la frecuencia respiratoria hasta que la disnea baje, evaluando la situación para proceder cuidadosamente. Generalmente la única secuela de un buzo que ha sufrido una alta resistencia respiratoria es dolor muscular en aquellos músculos relacionados con el mecanismo de la respiración.

e.- **Envenenamiento por monóxido de carbono**. El monóxido de carbono en la alimentación de para buzo es extremadamente peligrosa. Este desplaza el oxígeno de la hemoglobina e interfiere con el metabolismo celular, sometiendo las células a la hipoxia. El monóxido de carbono no es encontrado en una cantidad significativa en el aire fresco; la contaminación del aire de alimentación de un buzo normalmente proviene de la descarga de un motor a combustión interna cerca de la aspiración del compresor. Concentraciones tan bajas como 0,002 ata pueden ser fatales. El envenenamiento por monóxido de carbono es particularmente traicionero, porque los síntomas no son detectados por el buzo hasta que comienza a ascender.

Estando en profundidad, la mayor presión parcial del oxígeno en el gas respiratorio fuerza a que este se diluya en el plasma. Algo de este oxígeno alcanza las células y evita que se produzca hipoxia. Además, el aumento de la ppO_2 fuerza a desplazar parte del CO desde la hemoglobina. Sin embargo, durante el ascenso, mientras la presión parcial del oxígeno disminuye, el efecto total del envenenamiento por monóxido aparece.

1) **Síntomas del envenenamiento por monóxido de carbono**. Los síntomas de envenenamiento por monóxido de carbono son prácticamente idénticos a los otros tipos de hipoxia. El gran peligro está en la pérdida de conciencia que puede ocurrir sin señales de aviso. Cuando la concentración de monóxido es suficientemente alta para causar un envenenamiento, la víctima puede no tener aviso de debilidad o somnolencia u otro síntoma antes de llegar a la inconciencia. Cuando la toxicidad se desarrolla gradualmente se presentan los síntomas de presión alrededor de la frente, palpitaciones en las sienes, náuseas y vómitos.

2) **Tratamiento del envenenamiento por monóxido de carbono**. El tratamiento inmediato consiste en proveer de aire fresco al buzo y la brevedad trasladarlo para recibir atención médica. El oxígeno, si esta disponible, debe ser administrado inmediatamente, incluyendo el tiempo mientras el paciente es transportado a un centro médico para tratamiento hiperbárico. La oxigenoterapia es el tratamiento definitivo a elegir, y el transporte no debe dilatarse, excepto para estabilizar a un paciente grave antes del transporte. El aire acumulado sospechoso de estar contaminado con monóxido de carbono, debe ser asegurada para que nadie más respire de este y posteriormente sea analizado.

3) **Prevención del envenenamiento por monóxido de carbono**. El envenenamiento puede ser prevenido al localizar las tomas de los compresores lejos de los escapes de motores y mantener los compresores en las mejores condiciones mecánicas posibles.

30106. CONTENCIÓN DE LA RESPIRACIÓN E INCONSCIENCIA (Apnea)

La mayoría de la gente puede mantener su respiración aproximadamente por un minuto, pero no puede extenderla por más tiempo sin entrenamiento ó preparación especial. En algún instante, durante la contención respiratoria, el deseo de respirar llega a ser incontrolable. Esta demanda es hecha por el centro respiratorio al responder al incremento de los niveles de dióxido de carbono y ácidos en el sistema arterial.

a.- **Restricciones a la contención respiratoria en el Buceo.** El buceo a apnea debe ser restringido a operaciones tácticas que no pueden ser realizadas con ERS, o en condiciones de entrenamiento donde se requiere efectuar su entrenamiento. La contención respiratoria incluye la práctica de tomar dos ó tres inhalaciones profundas antes de la inmersión. El buzo debe terminar su inmersión y regresar a la superficie al primer signo de urgencia respiratoria. La hiperventilación (excesiva frecuencia y profundidad de la respiración antes de la inmersión) no deberá ser practicada por la alta posibilidad de causar inconsciencia bajo el agua.

b.- **Riesgos de la Apnea en el Buceo.** Uno de los grandes riesgos de la contención respiratoria es la posibilidad de perder la conciencia durante el ascenso. Durante el descenso, el aire en los pulmones es comprimido aumentando la presión parcial de oxígeno. El incremento de $pp0_2$ satisface la demanda de oxígeno durante el descenso y mientras está en el fondo, incluso considerando el consumo de oxígeno efectuado por el organismo. Durante el ascenso, la presión parcial del oxígeno restante se reduce rápidamente a medida que la presión hidrostática en el cuerpo decrece. Si el $pp0_2$ cae bajo el 11% (83,6 mmHg), puede producirse la inconsciencia con peligro de muerte. Este peligro aumenta cuando, por efecto de una excesiva hiperventilación, se han eliminado los signos corporales de peligro por acumulación de dióxido de carbono.

30107. HIPERVENTILACIÓN

La hiperventilación es el término aplicado a respirar más de lo necesario para mantener la presión parcial del dióxido de carbono a un nivel apropiado. La hiperventilación (tanto voluntaria como involuntaria) tiene un pequeño efecto en los niveles de oxígeno en el cuerpo, pero niveles anormales en la presión parcial de dióxido de carbono en la sangre retrasa la urgencia de respirar. Si la cantidad de dióxido de carbono es ventilada bajo los niveles de estímulo, la urgencia por respirar será baja y aparecerá en el último tramo de la apnea. La presión parcial de oxígeno cae progresivamente a medida de que el oxígeno es consumido. El ejercicio acelera el consumo de oxígeno y decrece la sensibilidad del mecanismo detector de dióxido de carbono. Esto permite bajar el nivel de oxígeno en la sangre más allá de lo que normalmente se alcanzaría.

Cuando el buzo asciende, la caída de presión parcial de oxígeno en los pulmones puede ser suficiente para detener el intercambio gaseoso. Al mismo tiempo, la presión parcial de dióxido de carbono también cae, dando al buzo la falsa impresión de no tener necesidad de respirar. Bajos niveles de oxígeno no son causas de una fuerte demanda para respirara; de este modo, el nivel de oxígeno en la sangre puede alcanzar el punto en el cual el buzo pierde la conciencia antes de sentir la necesidad de respirar.

ADVERTENCIA: La hiperventilación es peligrosa y puede llevar a la inconsciencia y muerte.

a.- **Hiperventilación Involuntaria.** Puede ser provocada por miedo experimentado durante situaciones altamente estresantes. También puede ser parcialmente iniciada por la leve "sensación de ahogamiento" que acompaña a un crecimiento del espacio muerto, carga estática anormal o incremento a la resistencia respiratoria. El contacto con agua helada agrega la sensación de necesitar una respiración más rápida y profunda. Un buzo que está usando un equipo autónomo por primera vez puede tener una hiperventilación en los primeros momentos debido a la ansiedad.

b.- **Hiperventilación Voluntaria.** La hiperventilación voluntaria (tomar un número de respiraciones profundas en un tiempo corto) puede producir síntomas de anomalías por una baja tensión de dióxido de carbono (hipocapnia). Bajo estas circunstancias, el buzo puede experimentar una sensación de aturdimiento o zumbido. Efectuar Hiperventilación por un período prolongado, produce síntomas adicionales como debilidad, dolores de cabeza, entumecimiento, desfallecimiento y visión borrosa. La ansiedad causada por la sensación de sofocación que a menudo produce la hiperventilación impulsa a seguir aumentando la frecuencia respiratoria, produciendo un ciclo cerrado. Como resultado de este ciclo cerrado se puede producir una hipocapnia severa con espasmos musculares, pérdida de conciencia y schock. Es necesario que el buzo preste atención a su frecuencia respiratoria, y en caso de producirse una hiperventilación por efecto de alguna situación estresante, debe recuperar la calma y controlar su respiración.

30108. EFECTOS DE BAROTRAUMA Y PRESIÓN EN EL CUERPO HUMANO.

Los tejidos del cuerpo pueden soportar enormes presiones. Algunos buzos han hecho inmersiones en mar abierto superando los mil pies (445 psi) y en situaciones experimentales han sido expuestos a una profundidad de 2.250 pies (1.001,3 psi). A pesar de estas presiones, es algo irónico que el buzo deba efectuar la mayoría de los exámenes médicos y entrenamiento en baja profundidad. La causa es el barotrauma, que es el daño hecho a los tejidos cuando existe un cambio en la presión ambiental. Durante el descenso se denomina simplemente "***barotrauma***" y durante el ascenso se denomina "***Barotrauma reverso***".

a.- **Condiciones que Causan el Barotrauma.** El barotrauma no ocurre normalmente en los buzos que tienen una anatomía y fisiología normal, además de usar el equipo apropiadamente y cumplir con los procedimientos relativos a cambios de profundidad. El barotrauma puede ser provocado en ciertas áreas del cuerpo que cumplan las siguientes condiciones:

- Debe haber un espacio lleno de gas. Cualquier espacio lleno de gas dentro del organismo (como los senos paranasales) ó cercana al cuerpo (como la máscara de buceo), puede dañar los tejidos corporales al producirse una diferencia de presión cuando el volumen de gas cambia por un cambio de profundidad.

- El espacio debe tener paredes rígidas. Cuando las paredes son elásticas como un globo, no existe daño por la compresión ó expansión del gas hasta que las paredes ó los vasos sanguíneos sobrepasan su límite elástico.

- El espacio debe ser cerrado. Si cualquier fluido (con la excepción de sangre en los vasos que rodean el espacio) fuese permitido para entrar ó dejar el espacio a medida que el gas cambia su volumen, no debería ocurrir algún daño.

- El espacio debe tener una entrada vascular (arterias y venas) y una membrana cubriendo el espacio. Esto fuerza a la sangre a entrar en el espacio y sobrepasar el límite elástico de los vasos sanguíneos para compensar el cambio en la presión.

- Debe haber un cambio en la presión ambiental.

b.- **Síntomas Generales de Barotrauma.** El síntoma predominante de barotrauma es el dolor. Pueden producirse otros síntomas como el vértigo, aturdimiento ó parálisis facial, dependiendo de la anatomía específica del barotrauma. El Síndrome de Sobre expansión Pulmonar es una forma potencial seria de barotrauma y es discutida en detalle dentro de este capítulo. En toda situación de buceo, la embolia gaseosa traumática (EGT) y la enfermedad por descompresión inadecuada (EDI) deben ser descartadas antes de aceptar como diagnóstico un “barotrauma”.

c.- **Barotrauma del Oído Medio.** El barotrauma del oído medio es el tipo más común de barotrauma. La anatomía del oído es ilustrada en la figura 7. El tímpano está completamente sellado del canal externo en la mitad del espacio auditivo. Cuando el buzo desciende, la presión del agua se incrementa sobre la cara externa del tímpano. Para contrapesar esta presión, la presión de aire debe alcanzar la cara interna del tímpano. Esto es realizado por el paso de aire a través de la “Trompa de Eustaquio” que une la cavidad nasal con el espacio existente en el oído medio. Cuando la “trompa de Eustaquio” está bloqueada por mucosidad, el oído medio reúne cuatro de los requisitos para que ocurra un barotrauma (espacio lleno de gas, paredes rígidas, espacio cercado y penetración de lo vasos sanguíneos).

Cuando el buzo continúa su descenso, se produce el quinto requisito (cambio en la presión ambiental) es alcanzado. Con el incremento de la presión, la membrana del oído se curva hacia el interior para permitir igualar la presión por compresión del gas en el oído medio. Existe un límite para esta capacidad de contracción y pronto la baja presión relativa dentro del oído medio comienza a bajar tanto que la presión externa de agua crea un vacío relativo en el espacio medio auditivo. Esta presión negativa afecta a los vasos sanguíneos de la membrana del oído y a la membrana que rodea al oído medio, primero provocando una expansión y posteriormente una ruptura. Si el descenso continúa, ó la ruptura del tímpano, permitiendo la entrada de agua ó aire al oído medio equiparando la presión, ó la ruptura de los vasos, causando suficiente sangramiento dentro del oído medio como para equiparar la presión. Siendo esto último lo más usual que ocurra.

El “sello distintivo” del barotrauma de oído medio es un dolor agudo causado por la extensión del tímpano. El dolor producido antes de que se rompa el tímpano llega a ser tan intenso que previene de seguir descendiendo. Con simplemente parar el descenso y ascender algunos pies, se produce un alivio inmediato.

Si el descenso continúa a pesar del dolor, el tímpano puede romperse. A menos que el buzo esté utilizando un casco, la cavidad del oído medio puede ser expuesta al agua al romperse la membrana. Esto expone al buzo a una posible infección al oído medio y en cualquier caso, no podrá bucear hasta que exista una cura completa. Al momento de la ruptura, el buzo puede experimentar un repentino y corto ataque de vértigo de gran violencia. Esto puede desorientar completamente al buzo y causarle náuseas y vómitos. Este vértigo es causado por la violenta alteración del martillo, yunque y estribos, ó por agua fría estimulando el mecanismo de balance del oído interno. Esta última situación se refiere al vértigo calórico y puede ocurrir desde la simple entrada de agua fría ó tibia a sólo uno de los oídos. En el caso de un vértigo calórico, la membrana no presenta rupturas. Esto puede ocurrir como resultado de la entrada de agua en un canal del oído cuando se nadan ó se sumergen en aguas heladas. Afortunadamente, estos síntomas son superados cuando el agua alcanza el oído medio y es entibiada por el cuerpo.

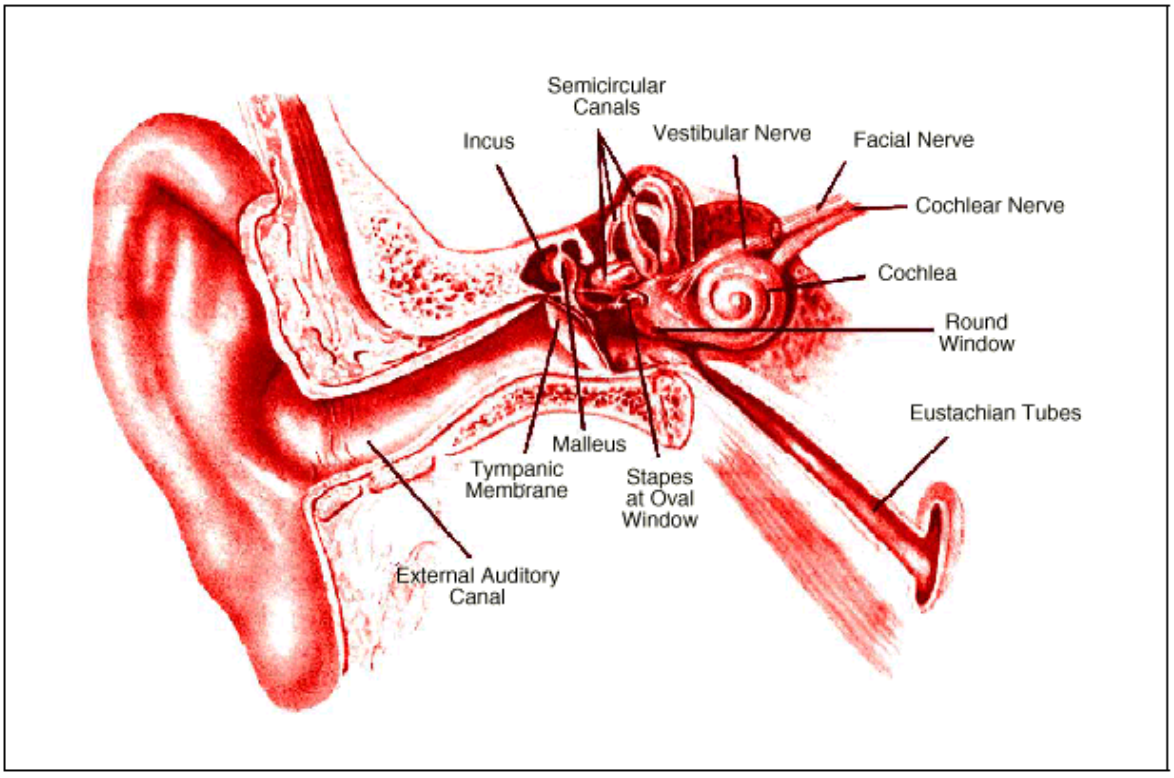


Figura 7. Anatomía General del Oído en la Sección Frontal.

1) **Prevención del Barotrauma de Oído Medio.** Bucear con un bloqueo parcial del tubo de Eustaquio incrementa la posibilidad del barotrauma del oído medio. Los buzos que no pueden igualar sus oídos en la superficie no deben bucear. Los buzos que tengan problemas en aclarar sus oídos deben ser examinados por personal médico antes de bucear.

   La posibilidad de barotrauma puede ser virtualmente eliminada si se toman ciertas precauciones. Mientras se desciende, mantener igualadas las presiones. Para evitar el colapso del tubo de Eustaquio e igualar los oídos, se deben hacer frecuentes ajustes a la presión del oído medio añadiendo gas a través del tubo de Eustaquio desde la parte de atrás de la nariz. Si se desarrolla una diferencia de presión demasiado grande entre la presión del oído medio y la presión externa, el tubo de Eustaquio colapsa tornándose hinchado y bloqueado. Para algunos buzos, el tubo de Eustaquio está siempre abierto y no hay necesidad de un esfuerzo conciente para aclarar los oídos. Para la mayoría, sin embargo, el tubo de Eustaquio está normalmente cerrado y debe tomarse alguna acción para aclarar los oídos. Muchos buzos pueden aclararse por medio del bostezo, el tragar o el mover la mandíbula.

   Algunos buzos deben forzar gentilmente el ingreso de gas hasta el tubo de Eustaquio cerrando la boca, apretándose la nariz y exhalando. Esta es llamada una maniobra Valsalva. Si existe un vacío relativo grande en el oído medio, el tubo de Eustaquio colapsa y a pesar de efectuar un gran esfuerzo para igualar no se abrirá. Si se percibe un barotrauma durante el descenso, el buzo debe detenerse, ascender unos cuantos pies y realizar suavemente una maniobra de Valsalva. Si no puede igualar a pesar de este intento, se debe abortar la inmersión.

   AVISO : Nunca realice una maniobra Valsalva forzada durante el descenso o el ascenso. Durante el descenso esta acción puede resultar en vértigo alternobárico o la ruptura de una ventana redonda u oval. Durante el ascenso esta acción puede llevar al síndrome de sobre expansión pulmonar.

2) **Tratamiento del barotrauma de oído medio**. Al salir a la superficie después de un barotrauma de oído medio, un buzo puede quejarse de dolor, sensación de oídos llenos con fluido, pérdida de audición y hasta vértigo suave. Ocasionalmente, puede haber sangre de nariz como resultado de forzar la sangre a través del tubo de Eustaquio para efectuar la expansión de aire en el oído medio. El buzo debe informar de ello al supervisor de buceo y consultar a personal médico. El tratamiento consta de la ingesta de descongestionantes y la suspensión de actividades de buceo hasta que el daño esté reparado.

d.- **Barotrauma cavidades aéreas del cráneo**. Las cavidades (Comúnmente llamados “senos”) aéreas son en espacios con aire dentro del cráneo y están cubiertas con una membrana mucosa, que es continuación con la que cubre la cavidad nasal (Figura 8). Los senos son pequeños bolsillos de aire conectados a la cavidad nasal por estrechos pasajes. Si se aplica presión al cuerpo y los pasajes de cualquiera de estos senos están bloqueados por mucosa o tejidos desarrollados, se experimentará rápidamente dolor en el área afectada. La situación es muy parecida a la descrita para el oído medio.

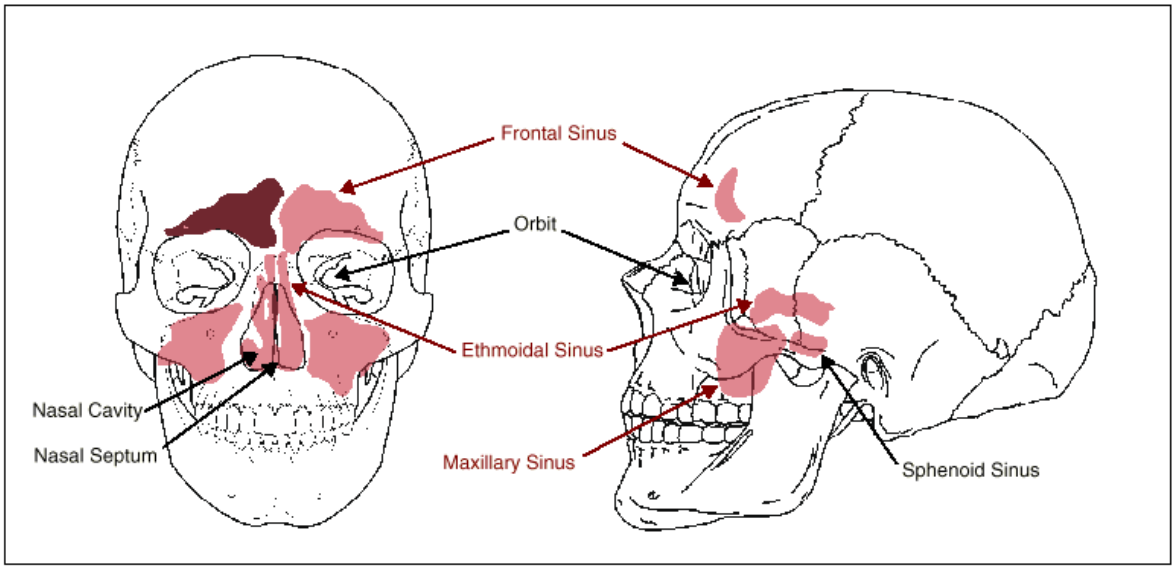


Figura 8. Locación de cavidades aéreas del cráneo Humano.

1) **Causas del barotrauma de seno**. Cuando la presión de aire en estos senos es menor que la presión aplicada a los tejidos que rodean estos espacios incompresibles, se produce el mismo efecto relativo que si se produjera vacío dentro de los mismos senos: las membranas interiores se hinchan y si es suficientemente severa, se produce hemorragia hacia los espacios de los senos. Este proceso representa un esfuerzo natural para equilibrar la presión de aire negativa, llenando el espacio produciendo un edema o / y con fluidos y sangre. Al producirse un barotrauma, el dolor puede ser suficiente para detener el descenso del buzo. A menos que el daño ya haya ocurrido, el retorno a la presión normal traerá alivio casi inmediato. Si se ha presentado este problema durante el buceo, a menudo existirá una pequeña cantidad de descarga nasal sanguinolenta al llegar a la superficie.

2) **Prevención del barotrauma de seno**. Los buzos no deben sumergirse si presenta cualquier evidente signo de congestión nasal o resfrío. Los efectos del barotrauma pueden ser limitados durante el buceo si se detiene el descenso y se asciende unos pocos pies para recuperar el equilibrio de las presiones. Si el espacio no puede ser equilibrado tragando saliva o soplando contra la nariz comprimida, la inmersión debe ser cancelada.

e.- **Barotrauma de dientes (Barodontalgia).** El barotrauma de dientes ocurre cuando una pequeña cantidad de aire, generado por una carie, se aloja en una abertura de una tapadura o una tapadura rota. Si este bolsillo de gas está completamente aislado, la pulpa del diente o los tejidos en la encía pueden ser succionados al espacio causando dolor. Si entran gases adicionales a los dientes durante el descenso y no se ventilan durante el ascenso, pueden causar que el diente se quiebre o que la tapadura se salga. Antes de cualquier trabajo dental, los buzos deben identificarse como tales ante el dentista.

f.- **Barotrauma del oído externo**. Un buzo que use tapones de oídos, tiene un oído externo infectado, tiene un canal auditivo tapado con cerumen o usa una caperuza muy ajustada puede desarrollar un barotrauma de oído externo. Esto ocurre cuando el gas atrapado en el canal externo del oído se mantiene a la presión atmosférica mientras se incrementa la presión externa durante el descenso. En este caso la membrana del oído medio se curva hacia afuera (opuesto al barotrauma del oído medio) en un esfuerzo por equilibrar la diferencia de presión y pudiéndose producir una ruptura. La piel del canal se inflama y sangra, causando considerable dolor. Por esta razón, **"Nunca debe usarse tapones de oído para bucear"**. Además de crear el barotrauma, pueden ser forzados a ingresar al interior del canal auditivo. Al usar caperuza como parte del equipo, ésta debe permitir que el aire o agua ingrese a la capucha para equilibrar la presión en el canal auditivo.

g.- **Barotrauma toráxico (de los pulmones).** Cuando se realiza una inmersión conteniendo la respiración, es posible alcanzar una profundidad donde el aire mantenido en los pulmones es comprimido a un volumen de alguna forma más pequeño que el volumen residual normal de los pulmones. A este volumen, la pared torácica se pone rígida e incompresible. Si el buzo desciende aún más, la presión adicional es incapaz de comprimir las paredes del tórax, forzando el ingreso de más sangre a los vasos sanguíneos en el pecho, ó elevar el diafragma aún más. A contar de este punto, la presión en el pulmón pasa a ser negativa con respecto a la presión de agua externa, tomando la forma de un barotrauma. La sangre y los fluidos de los tejidos son forzados hacia el espacio de los alvéolos y los pasajes aéreos donde el aire está a una menor presión que la sangre en los vasos circundantes. Este efecto se produce como respuesta para compensar la presión negativa dentro de los pulmones, llenando parcialmente el espacio aéreo con el desarrollo de un edema, fluido y sangre. Esto produce un daño pulmonar considerable, y si es severo, puede ser fatal. Si el buzo desciende aún más puede ocurrir la muerte como resultado del colapso de tórax. El desarrollo de las actividades submarinas en apnea deben ser efectuadas con un adecuado control y ser limitadas a situaciones de instrucción u operaciones especiales.

Un buzo con equipo asistido que sufra la pérdida de presión del gas de alimentación ó una ruptura en la manguera, con falla de la válvula de retorno, puede sufrir un barotrauma pulmonar, si su profundidad es suficientemente como para que la presión del agua circundante comprima su tórax (sólo se requieren unos pocos pies de profundidad).

h.- **Barotrauma Facial ó Corporal.** Las máscaras de buceo, gafas protectoras y cierto tipo de trajes de exposición secos pueden causar barotrauma bajo ciertas condiciones. Usualmente, la diferencia de presión en la máscara de buceo puede ser compensada por una exhalación a través de la nariz, pero esto no es posible de realizar en el caso de usar gafas protectoras. Estas solamente pueden ser usadas en nado de superficie. En este tipo de barotrauma, el ojo y los tejidos de la cuenca ocular son los más afectados. Al usar trajes de exposición secos, puede quedar aire atrapado en algún doblez de la prenda, causando incomodidad y en algunos casos, hemorragia por algún "pellizco" producido por el traje.

i.- **Barotrauma Reverso del Oído Medio (Sobrepresión en el oído medio).** La expansión de gas en el espacio del oído medio durante un ascenso, comúnmente sale sin esfuerzo a través del "tubo de Eustaquio". Si el tubo llega a bloquearse, la presión relativa del oído medio con respecto a la del medio aumenta. Para aligerar esta presión, la membrana del oído se curva hacia fuera causando dolor. Si el aumento de la presión es significativa, la membrana puede romperse y el buzo puede experimentar los mismos síntomas que ocurren con una rotura de membrana timpánica durante el descenso (barotrauma oído medio).

El incremento de presión en el oído medio también puede afectar a estructuras cercanas produciendo síntomas de vértigo, además de daños en el oído interno. Al ocurrir síntomas un Barotrauma Reverso del Oído Medio durante el ascenso ó al llegar a la superficie, es extremadamente importante seguir los procedimientos para descartar una EGT o EDI.

Un buzo que esté resfriado ó sea incapaz de igualar los oídos, es más propenso a desarrollar este problema de sobrepresión. No existe un modo efectivo para aclarar los oídos en el ascenso, pero es extremadamente importante no realizar una maniobra de Valsalva durante el ascenso ya que esto incrementará la presión en el oído medio, lo cual es exactamente opuesto a lo que se requiere. La maniobra Valsalva también puede llevar a la posibilidad de producir una EGT. Si se desarrolla dolor durante el ascenso, el buzo debe detener el ascenso, descender unos pocos pies para aliviar los síntomas y luego continuar el ascenso a una menor velocidad. Puede ser necesario efectuar muchas veces este procedimiento antes de alcanzar la superficie.

j.- **Barotrauma Reverso de cavidades aéreas del cráneo (Sobrepresión de los senos).** El barotrauma es producido cuando el gas queda atrapado en la cavidades aéreas del cráneo. Acumulación de mucosidad, malformación congénita u otro tipo de problema pueden actuar como una válvula de una vía e impedir que el gas salga del seno durante el ascenso. El incremento de presión produce un agudo dolor en el área del seno afectado. El dolor normalmente es suficiente para que el buzo detenga su ascenso, siendo inmediatamente aliviado al descender unos pocos pies. Desde este punto, el buzo debería ascender lentamente hasta que gradualmente alcance la superficie.

k.- **Barotrauma Reverso del estómago e intestino**. Mientras un buzo está bajo presión, se puede formar gas dentro de sus intestinos o el gas puede ser tragado y atrapado en el estómago. Durante el ascenso, este gas atrapado se expande y ocasionalmente causa suficiente molestia como para que el buzo se detenga y evacue el gas. En caso de continuar el ascenso sin efectuar detención a pesar de una marcada molestia puede producir daño.

l.- **Disfunción del oído interno**. El oído interno no contiene gas, por lo que no está sujeto a barotrauma. Sin embargo, el oído interno está ubicado cerca de la cavidad del oído medio y es afectada por las mismas condiciones que producen el barotrauma del oído medio. Cuando el gas en el oído medio es comprimido o expandido sin el alivio normal provisto por el tubo de Eustaquio, el fluido y las membranas del delicado oído interno serán perturbados funcionalmente, llegándose a producir desgarros cuando existe un gradiente de presión alto.

El oído interno contiene dos importantes órganos, la cóclea y el aparato vestibular. La cóclea es el órgano sensorial de la audición, por lo que si se llega a dañar, puede producir síntomas de pérdida de audición y campanilleo en los oídos (tinnitus).

1) **Vértigo.** El aparato vestibular es el sensor del equilibrio y el movimiento; el daño en él puede causar vértigo, el cual es una falsa sensación de un movimiento de tipo rotatorio. El buzo sentirá que él o el ambiente que lo rodea está girando, cuando en realidad no hay movimiento. Uno puede normalmente conocer esta distintiva sensación a partir de los más vagos problemas del mareo o la pesadez de cabeza causada por otras condiciones.

El vértigo es generalmente específico del oído interno o a aquella parte del cerebro que analiza las señales producidas por este. El vértigo tiene asociados síntomas que pueden o no ser notados. Estos incluyen nauseas, vómitos, pérdida de equilibrio, descoordinación y un rápido movimiento espasmódico de los ojos (nystagmus). El vértigo también puede ser causado por la EGT o EDI Tipo II, los que son descritos en el volumen 5.

Frecuentes oscilaciones en la presión del oído medio, asociadas a la dificultad de aclarar el oído, pueden producir una condición de vértigo momentáneo llamado vértigo alternobárico del descenso. Este vértigo usualmente se produce a continuación a una maniobra de Valsalva, cuando el buzo logra aclarar los oídos al alcanzar el fondo. Este vértigo es de corta duración, pero puede causar una desorientación significativa.

El vértigo alternobárico también puede ocurrir durante el ascenso asociado a una sobrepresión en el oído medio. En este caso, el vértigo a menudo es precedido por dolor en el oído debido a una mala evacuación del exceso de presión dentro de éste. El vértigo dura generalmente pocos minutos, pero durante ese tiempo puede ser incapacitante. El alivio es repentino y puede estar acompañado de un sonido silbante en el oído afectado. El vértigo alternobárico durante el ascenso desaparece inmediatamente cuando el buzo detiene su ascenso y desciende unos pocos pies.

2) **Barotrauma del oído interno**. Un desequilibrio repentino o duradero de las presiones entre el oído medio y el ambiente externo puede causar un daño permanente al oído interno. Este tipo de barotrauma del oído interno a menudo está asociado a una ruptura de ventana redonda u oval.

   Existen tres huesos en el oído medio : el martillo, el yunque y el estribo (Figura 9). El martillo está conectado a la membrana del oído (membrana timpánica) y transmite las vibraciones del sonido al yunque, el cual transmite estas vibraciones al estribo, él que las retransmite al oído interno. El estribo transmite estas vibraciones al fluido del oído interno a través de un hueco cubierto con una membrana llamada la ventana oval. Otro hueco cubierto con una membrana llamada la ventana redonda conecta el oído interno con el oído medio y alivia las ondas de presión en el oído interno causadas por el movimiento del estribo.

El barotrauma puede romper la membrana de la ventana oval, causando una pérdida del fluido del oído interno (fluido perilinfático). Una abertura constante que drene el fluido perilinfático desde el oído interno al oído medio se conoce como una fístula perilinfática. Esta puede ocurrir cuando un buzo se sobrepasa a sí mismo, causando un aumento de la presión intracraneal. Si es suficientemente grande, esta presión puede ser transmitida al oído interno, causando un severo daño a la membrana de la ventana redonda. La ventana oval raramente es afectada por barotrauma ya que está protegida por el pie del estribo. El daño en el oído interno también puede resultar de la sobrepresión del oído medio por una maniobra Valsalva demasiado forzada. La maniobra, además de su efecto deseado de forzar el gas hasta el tubo de eustaquio, aumenta la presión del fluido dentro del oído interno. Los síntomas de esta disfunción del oído interno incluyen el campanilleo o rugido dentro del oído afectado, vértigo, desorientación, nystagmus, inestabilidad y una marcada pérdida de audición.

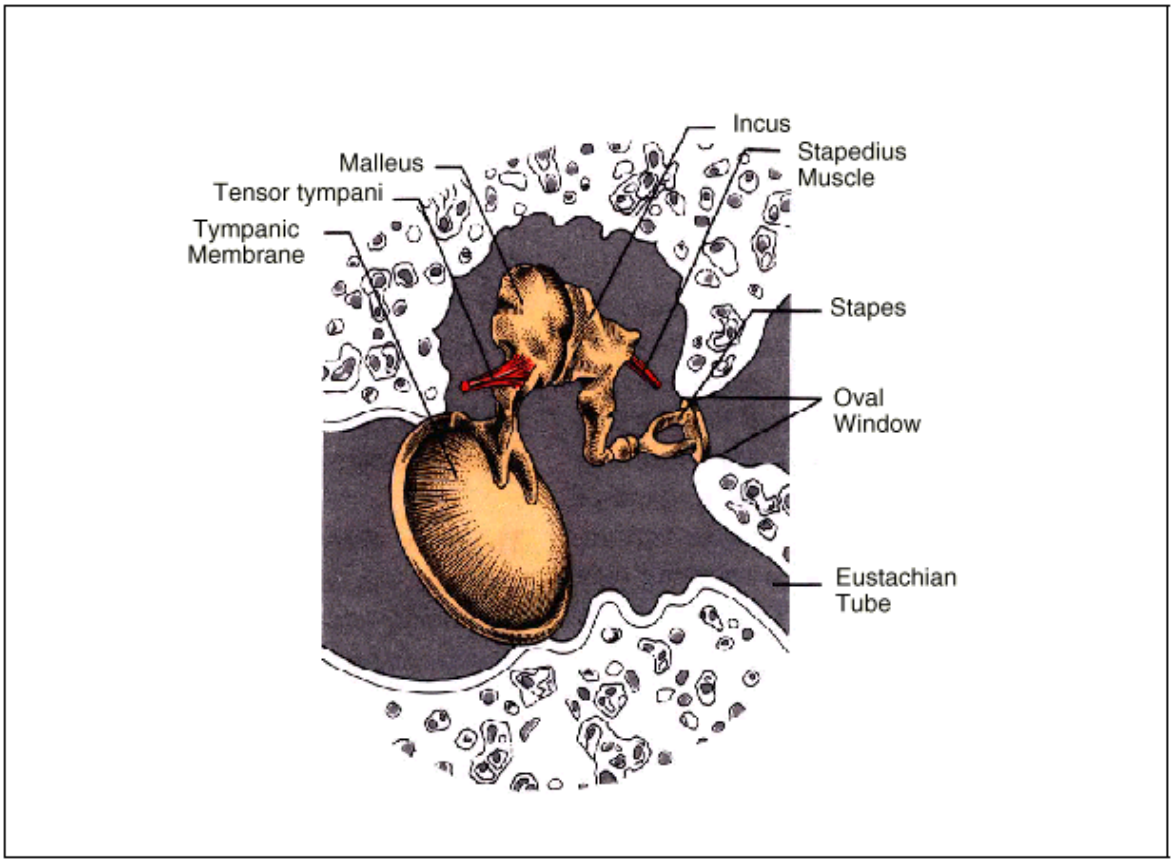


Figura 9. Imagen de Impedancia de los Componentes del Oído Interno.

La diagnosis del barotrauma del oído interno podría ser considerada en cualquier síntoma que ocurra durante la compresión ó después de un buceo poco profundo donde la enfermedad por descompresión inadecuada es poco probable. En algunos casos es difícil distinguir entre los síntomas del barotrauma de oído interno, una EDI y una EGT. La recomprensión no es peligrosa si el barotrauma fuera la causa de los síntomas, tomando las precauciones anotadas en el Volumen 5. Cuando exista duda, debe efectuarse el tratamiento hiperbárico correspondiente. Todos los casos sospechosos de barotrauma de oído interno deben ser evaluados por un especialista, tan rápido como sea posible. El tratamiento de barotrauma de oído interno va desde reposo a cirugía exploratoria, dependiendo de la severidad de los síntomas.

30109. SINDROMES PULMONARES DE SOBREEXPANSIÓN

Los síndromes de sobreexpansión pulmonar son un grupo de accidentes asociados a Barotraumas relacionados con la expansión de gas atrapado en los pulmones durante el ascenso (barotrauma reverso) ó por sobre presurización del pulmón con la subsiguiente sobreexpansión y ruptura de los sacos alveolares. También ocurre exceso de presión dentro del pulmón cuando el buzo presiona el botón de purga de un regulador mientras está respirando. Las dos causas más importantes de ruptura alveolar son:

- Presión excesiva dentro del pulmón causada por presión positiva.
- Falla en la eliminación del exceso de gas durante el ascenso.

La sobreexpansión pulmonar se puede producir por la expansión de gas al no ser eliminado adecuadamente desde el pulmón durante el ascenso cuando un buzo contiene voluntaria ó involuntariamente su respiración durante el ascenso. Otras de las causas asociadas a este fenómeno son aquellas que pueden obstruir la salida del aire desde el pulmón, tales como asma, secreciones producto de neumonía ó resfrío severo. Las condiciones que llevan a estos incidentes son diferentes de aquellas que producen el barotrauma pulmonar y están asociadas a los entrenamientos de ascenso libre ó ascensos de emergencia por falla de suministro de aire.

La manifestación clínica de la sobreexpansión pulmonar depende de donde se aloje el aire libre. En todos los casos, el primer paso es la

ruptura de los alvéolos con una acumulación de aire en los tejidos de los pulmones, condición conocida como enfisema intersticial. Este enfisema no causa síntomas, salvo que haya una nueva distribución de aire que pueda ocurrir. El gas puede encontrar su camino dentro de la cavidad toráxica ó en la circulación arterial. Estas condiciones están descritas en la figura 10.

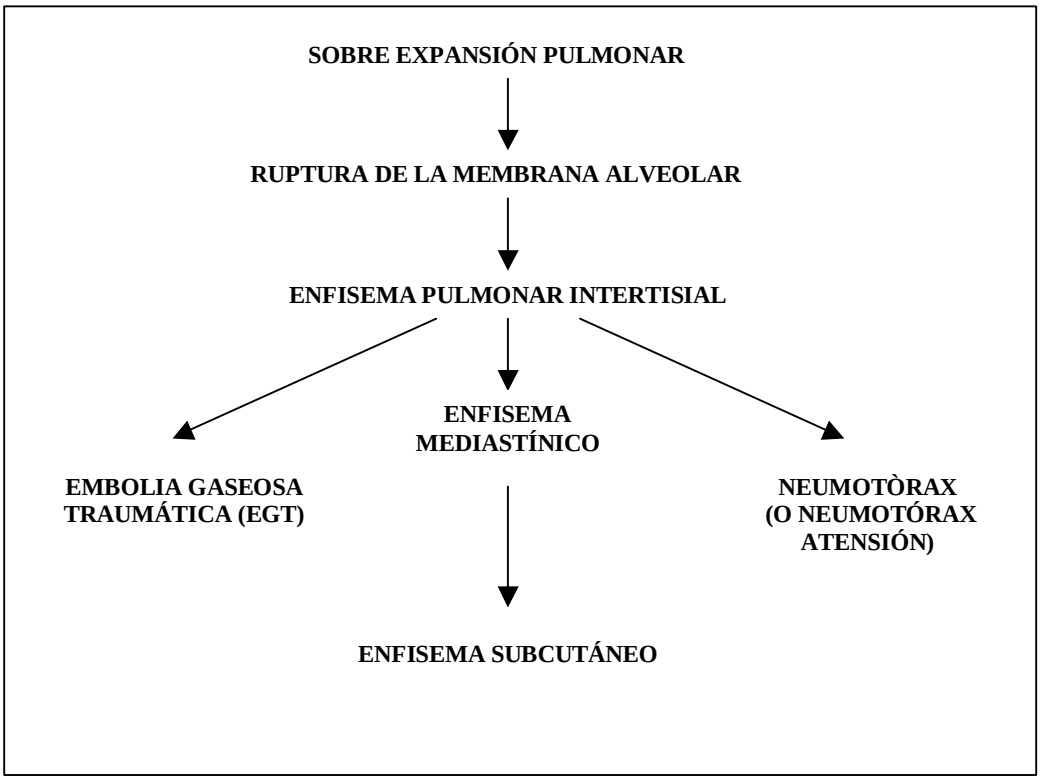


Figura 10. Consecuencias de la Sobreexpansión Pulmonar.

La filtración de gas en el tejido intersticial del pulmón no causa síntomas, a menos que ocurran filtraciones. Si el gas entra en la circulación arterial, puede ocurrir un potencial riesgo fatal por una embolia gaseosa traumática. El neumotórax ocurre si el gas se acumula entre el pulmón y el tórax y si ésta acumulación continua, se denomina neumotórax atensión.

a.- **Embolia Gaseosa Traumática (EGT).** Es la complicación potencial más seria para un buzo y es causada por un exceso de presión dentro de los pulmones al sostener la respiración durante el ascenso (Figura 3-11). Por ejemplo, si un buzo asciende a la superficie desde una profundidad de 100 pies, el aire dentro de sus pulmones se expande cuatro veces su volumen original. Si el exceso de aire no se elimina, aumenta dentro de los pulmones, sobreexpandiéndolos y rompiendo alvéolos y vasos sanguíneos. Entonces, el aire es forzado hacia la cama capilar pulmonar y las burbujas son llevadas hacia las cámaras izquierdas del corazón, donde estas burbujas son bombeadas hacia las arterias. Cualquier burbuja que sea demasiado grande para circular por las arterias formará un tapón (émbolo) dejando los tejidos que están a continuación desprovistos de sangre y oxígeno. Las consecuencias dependerán del área u órgano donde se produzca el bloqueo. Cuando está involucrado el cerebro, usualmente los síntomas son extremadamente serios. La víctima estará en peligro de muerte, a menos que sea recomprimida prontamente para reducir el tamaño de la burbuja y permitir que la sangre fluya de nuevo.

Un buzo nunca debe contener su respiración durante el ascenso. El que lo hace sentirá una sensación molesta tras el esternón y una expansión pulmonar. El miedo y la inhalación de agua pueden gatillar un espasmo muscular en la laringe (laringoespasmo), cerrando el paso de airea desde y hacia los pulmones, produciendo de este modo, una sobreexpansión. Bajo estas circunstancias, puede ocurrir que un buzo ascendiendo desde solo algunos pies de profundidad encuentre la muerte. Cada buzo debe asegurar una respiración completamente normal y continua durante el ascenso. Sin embargo, el buzo que no puede respirar por causas falla del suministro de aire, debe exhalar continuamente durante el ascenso.

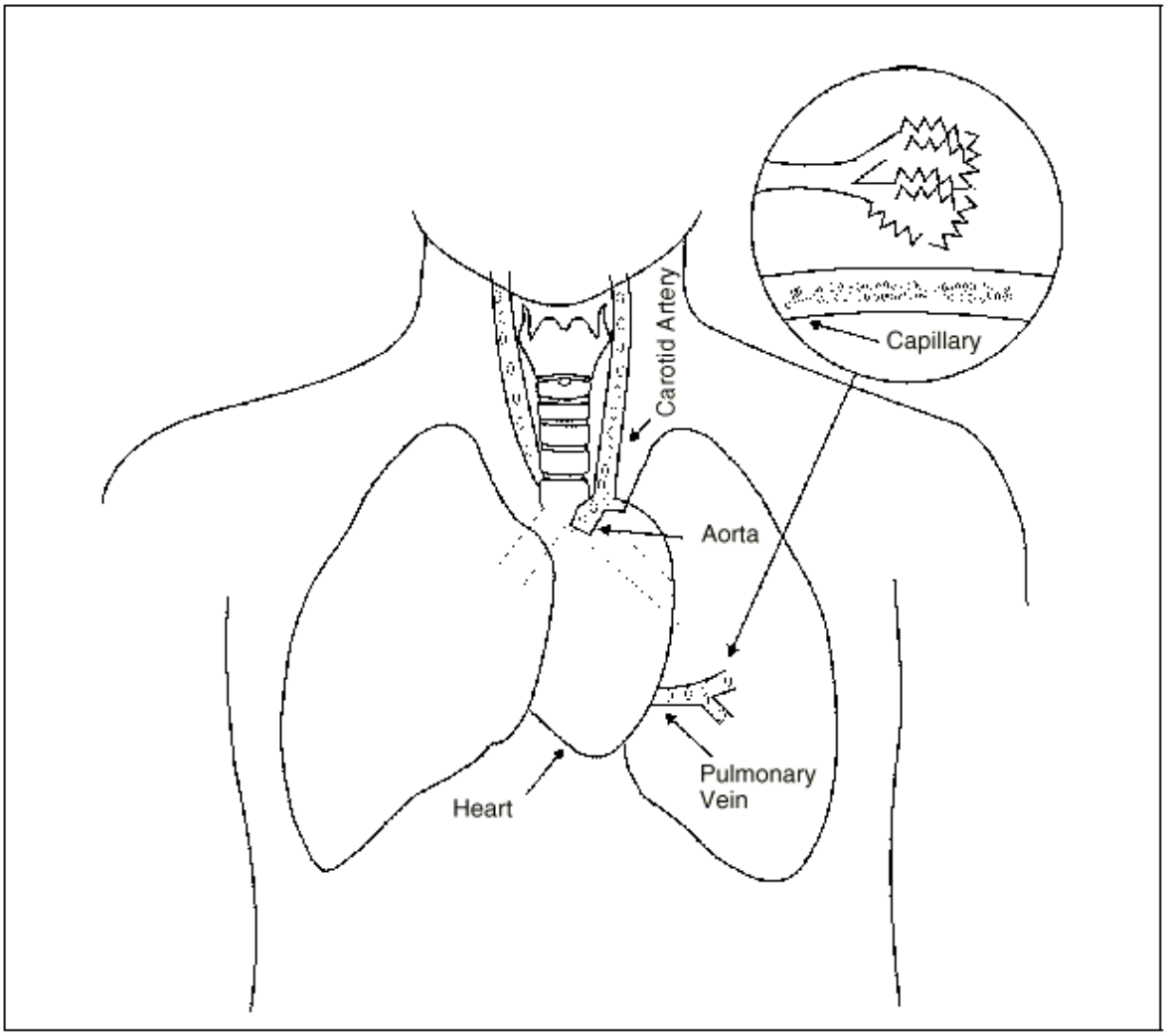


Figura 11. Embolismo de Gas Arterial.

b.- **Enfisema Medistínico y Subcutáneo.** El enfisema mediastínico (Figura 12) ocurre cuando el gas ha sido forzado a través del tejido pulmonar a llegar hacia los tejidos mediastínicos en la mitad del tórax, alrededor del corazón, la traquea y los vasos sanguíneos mayores. El enfisema subcutáneo (Figura 13) resulta de la expansión del gas que se ha filtrado desde el mediastino hacia los tejidos subcutáneos del cuello. Estos tipos de enfisema, incluyendo el enfisema intersticial, no deben confundirse con el enfisema producido por los procesos de soltura ó por fumar.

c.- **Neumotórax.** Es el resultado de la entrada de aire al potencial espacio existente entre la cubierta del pulmón y la membrana que cubre la pared toráxica (Figura 14). En éste caso común, llamado neumotórax simple, entra una sola vez aire desde el pulmón hacia el tórax, colapsando parcialmente el pulmón. La cantidad de aire definirá en cuanto afecta el ciclo respiratorio. Esta condición normalmente mejora a medida que el aire es reabsorbido. En casos severos de colapso, el aire debe ser removido con la adición de un tubo ó catéter. El comienzo del neumotórax es acompañado por un rápido dolor agudo del tórax, seguido de una respiración rápida y dificultosa, suspensión de movimiento normal del pecho en el lado afectado, taquicardia, pulso débil y ansiedad. Un buzo que crea haber sufrido un neumotórax, debe ser examinado rápidamente por si existe EGT. Este diagnóstico es detallado en el capítulo 5.

En algunas instancias, el daño pulmonar puede permitir la entrada de aire al espacio pleural, pero no la salida desde él. Gradualmente, las respiraciones aumentan la cantidad de aire en este espacio. Esto es llamado neumotórax atensión (Figura 15) debido al progresivo incremento de la tensión ó presión ejercida sobre el pulmón y el corazón por la expansión del gas. Si no es corregido, esta fuerza presiona contra el pulmón afectado, causando un colapso completo. El pulmón y el corazón serán empujados al lado opuesto del tórax, lo que impedirá la circulación y la respiración. Los síntomas son progresivamente más serios, comenzando por una respiración más rápida y terminando en cianosis (un color azulado en la piel), hipotensión (baja presión sanguínea), shock, y si no se corrige, la muerte.

Si ocurre un neumotórax simple en un buzo bajo presión, el aire se expandirá durante el ascenso, de acuerdo a la ley de Boyle, creando un neumotórax atensión. El volumen de aire inicialmente filtrado dentro de la cavidad pleural y la profundidad a la cual ocurrió, serán determinantes en la condición de llegada del buzo a la superficie.

Todos los casos de neumotórax deben ser tratados. En algunos casos se requiere remover el aire con un catéter ó un tubo insertado dentro de la cavidad toráxica. En casos de neumotórax atensión, este procedimiento puede salvar la vida del buzo. El Volumen 5 muestra el tratamiento del neumotórax.

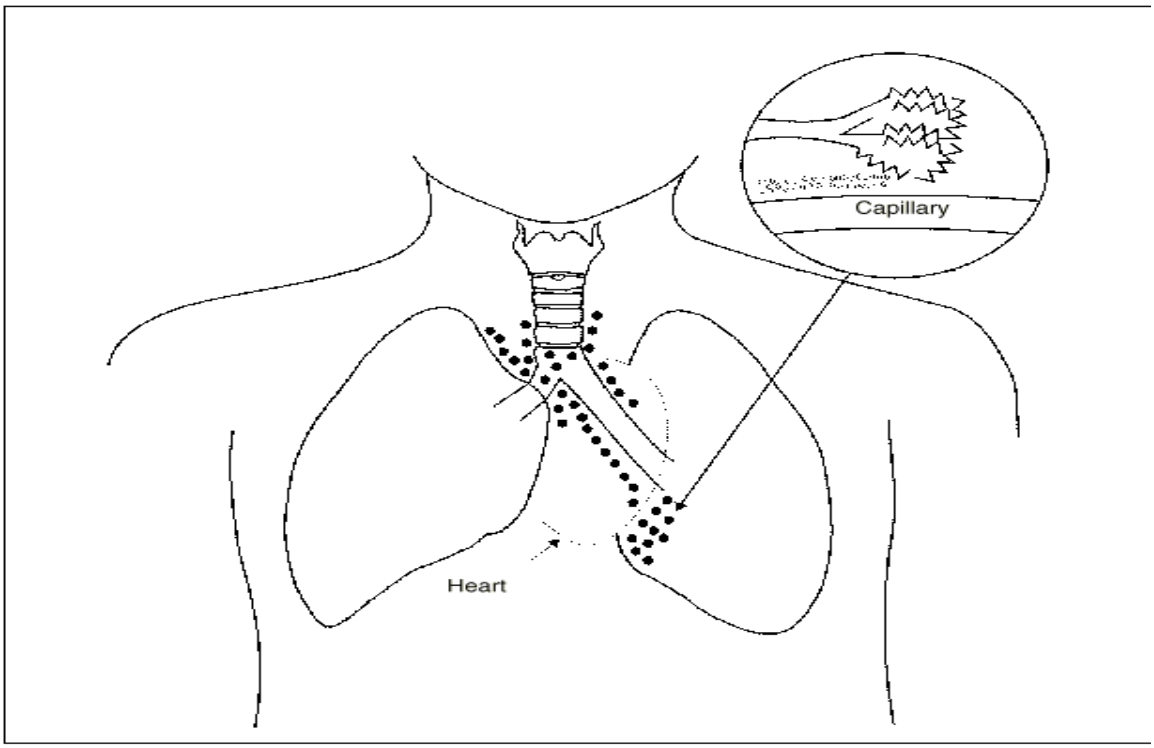


Figura 12. Enfisema Mediastinal.

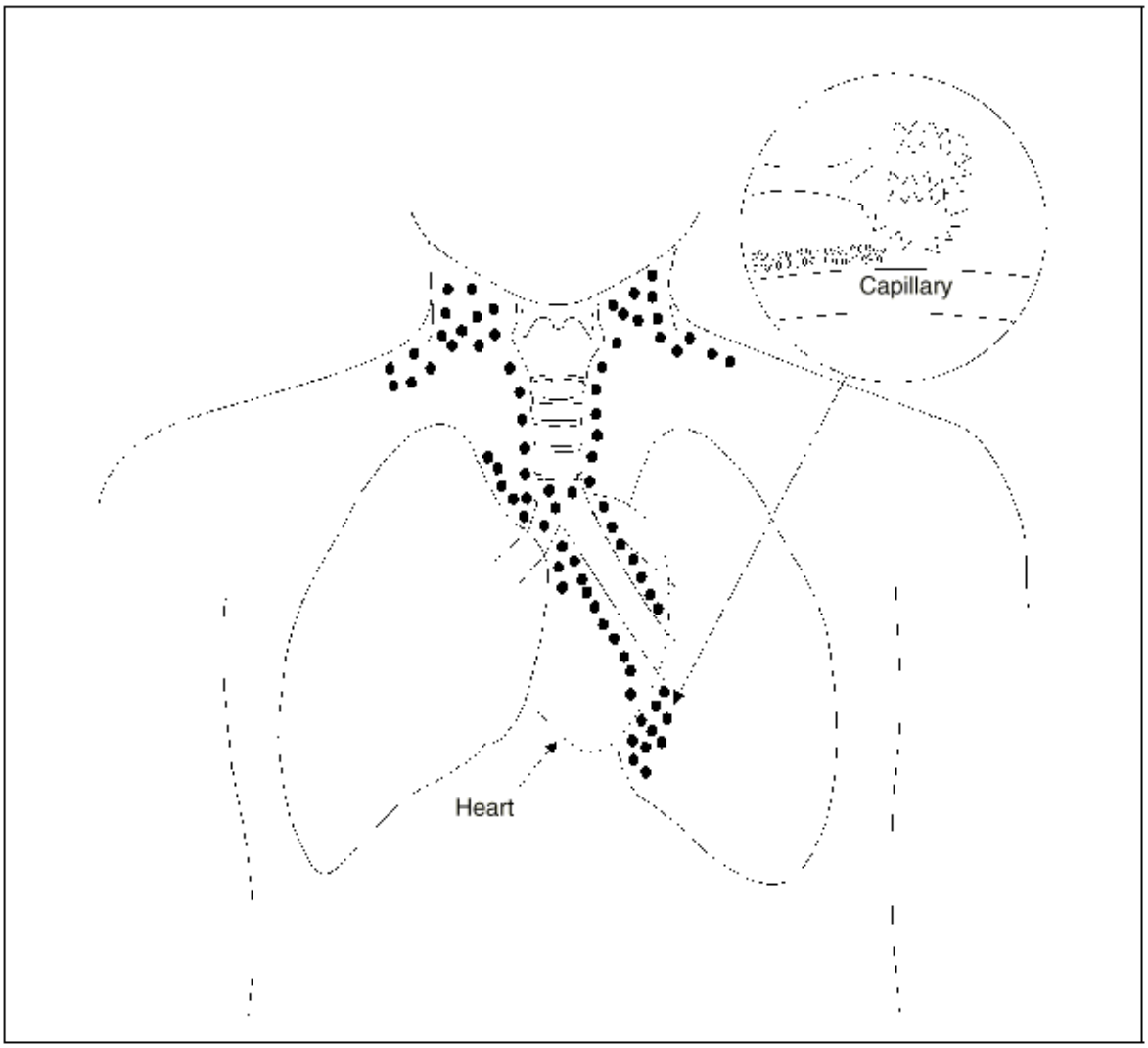


Figura 13. Enfisema Subcutáneo**.**

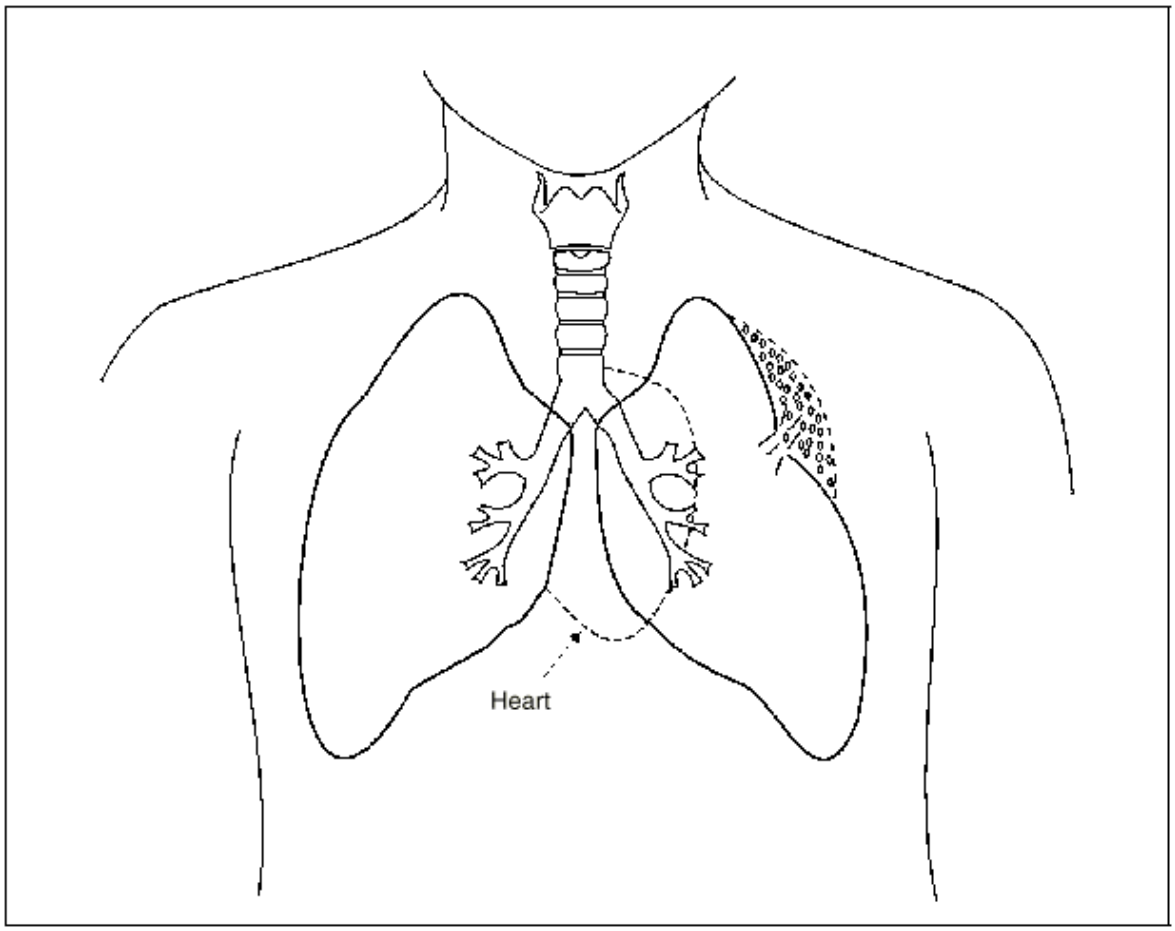


Figura 14. Pneumotórax.

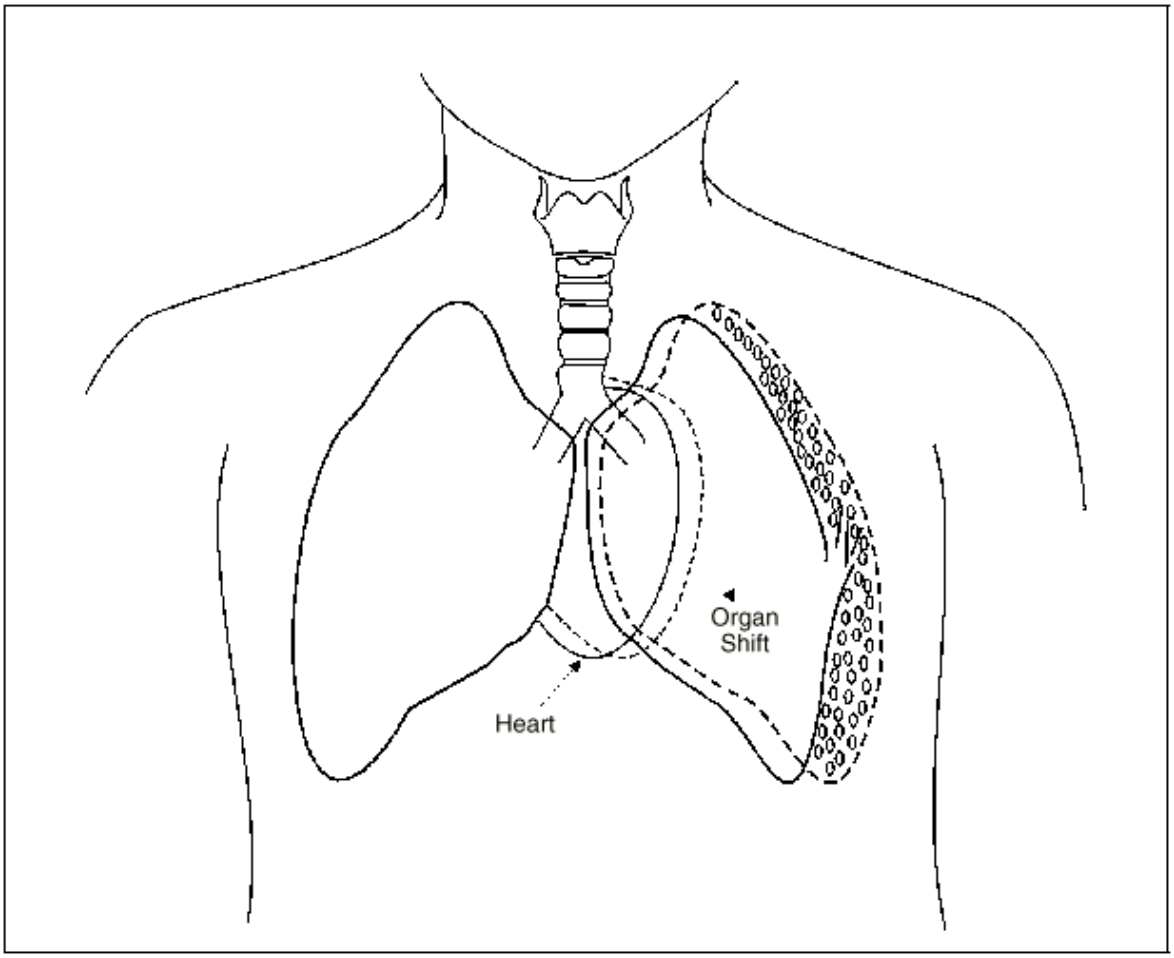


Figura 15. Tensión de Pneumotórax.

30110. EFECTOS INDIRECTOS DE LA PRESIÓN.

Las condiciones previamente descritas ocurren por las diferencias de presión que dañan las estructuras corporales de un modo directo, de manera mecánica. La forma indirecta ó efecto secundario de la presión son el resultado de cambios en la presión parcial de los gases individuales en el medio respiratorio de un buzo. Los mecanismos de estos efectos incluyen la saturación y desaturación de los tejidos corporales por gas disuelto y la modificación de las funciones corporales por presiones parciales anormales de los gases.

a.- **Narcosis por Nitrógeno.** En el buceo, la narcosis por gas inerte impide la habilidad del buzo para pensar claramente. La forma más común, narcosis por nitrógeno (o nitronarcosis), es causada al respirar aire comprimido a grandes profundidades (más de 100 pies).

1) **Síntomas de Narcosis.** Los signos de narcosis son:

- Pérdida de juicio ó habilidades.
- Sensación falsa de confort.
- Falta de interés por el trabajo ó la seguridad.
- Estupidez aparente.
- Risa inapropiada.
- Temblor y entumecimiento de los labios, encías y piernas.

El descuido por la seguridad personal es el gran peligro de la narcosis por nitrógeno. Los buzos pueden mostrar un comportamiento anormal como remover el regulador de la boca ó sumergirse a profundidades peligrosas, descuidando las tablas de descompresión ó el suministro de aire. No existe un tratamiento específico para esta narcosis; el buzo debe mantenerse en profundidades más a las que se pueda presentar este efecto.

2) **Susceptibilidad a la Narcosis.** Los gases inertes varían en su capacidad narcótica. Los efectos del nitrógeno pueden comenzar a notarse a profundidades que excedan los 100 pies, pero son más pronunciadas a profundidades superiores a 150 pies. Existe un gran rango de susceptibilidad individual y en algunos buzos, particularmente aquellos que tienen experiencia en operaciones profundas con aire, pueden llegar a trabajar a 200 pies sin serias dificultades.

Buzos con experiencia y estabilidad son razonablemente productivos y seguros en profundidades donde otros fallan. Estos están familiarizados con los efectos de la narcosis por nitrógeno sobre la realización del trabajo. Ellos saben que se requiere de un especial esfuerzo, cuidado y tiempo para efectuar la más simple observación, o tomar una decisión. Cualquier relajación del esfuerzo por mantenerse consciente, puede llevarlos a fallar en el trabajo ó a un final trágico.

La experiencia, frecuentes exposición a grandes profundidades y entrenamiento especial pueden capacitar a los buzos para desarrollar inmersiones utilizando aire hasta profundidades de 180 ó 200 pies, pero personal sin experiencia o aquellos susceptibles a la nitronarcosis deben mantenerse en bajas profundidades. El desarrollo y eficiencia de los buzos para respirar aire comprimido son disminuidos a profundidades mayores a 180 pies. A 300 pies ó más, los signos y síntomas son severos por lo que el buzo puede presentar alucinaciones, exhibir un comportamiento extraño ó perder la conciencia. Además, el incremento asociado a la presión parcial de oxígeno a estas profundidades, puede producir convulsiones por oxígeno. (El helio es ampliamente usado en buceo con gas mezclado como un sustituto del nitrógeno para evitar la narcosis. El helio no ha demostrado efectos narcóticos en ninguna profundidad probada por la armada americana). La figura 3-16 muestra los efectos narcóticos de buceo con aire comprimido.

b.- **Toxicidad del Oxígeno.** Una presión parcial de oxígeno mayor a la que se encuentra en condiciones atmosféricas normales puede ser tóxica para el ser humano. La toxicidad del oxígeno es dependiente de la presión parcial y el tiempo de exposición. Los dos tipos de toxicidad por oxígeno experimentadas por los buzos son la toxicidad pulmonar y la del sistema nervioso central (SNC).

1) **Toxicidad Pulmonar por Oxígeno.** Envenenamiento con baja presión parcial de oxígeno ó la intoxicación pulmonar por oxígeno, puede presentarse si es respirada una mezcla de más del 60% de oxígeno a una atmósfera por 24 horas o más. Mientras durante un buceo, esto puede ocurrir después de 24 horas expuesto a una mezcla con una $pp0_2$ de 0.6 ata (respirar aire a 60 fas). Exposiciones más largas a niveles de oxígeno mayores, tales como las administradas durante los tratamientos hiperbáricos utilizando las tablas 4, 7 y 8, pueden producir rápidamente toxicidad pulmonar por oxígeno. Los síntomas de esta toxicidad pueden comenzar con una sensación de ardor al inspirar y un progresivo dolor. Durante los tratamientos hiperbáricos, la toxicidad pulmonar por oxígeno puede llegar a ser tolerada adecuadamente en pacientes con síntomas neurológicos severos. En pacientes conscientes, el dolor y la tos experimentada con la inspiración, eventualmente impide continuar con tratamiento con oxígeno. El retorno a la función pulmonar normal ocurre gradualmente después de que la exposición a terminado. En pacientes inconscientes que reciben tratamientos con oxígeno que no sienten dolor, es posible que estén expuestos más haya de lo recomendado, por lo que pueden resultar con un daño pulmonar permanente ó neumonía. Por esta razón, debe tenerse mucho cuidado cuando se les administra un 100% de oxígeno, incluso en superficie.

Narcosis por Nitrógeno	
Profundidad (pies)	Síntomas incluyen
100	Efecto intoxicante similar al alcohol. Disminución de la actividad mental.
150	Desaceleración del tiempo de reacción y de los reflejos. Euforia General. Fijación de Ideas.
200	Dificultad en concentrarse o razonar. Dificultad de recordar que hacer o si ya fue hecho.
240	Observaciones a menudo inexactas. Normalmente se toman decisiones incorrectas. El buzo no tiene cuidado acerca del trabajo o seguridad.

Figura 16. Narcosis por Nitrógeno.

2) **Toxicidad de Oxígeno en el Sistema Nervioso Central (SNC).** La intoxicación por oxígeno del sistema nervioso central (CNS) es más común que ocurra cuando los buzos están expuestos a una presión parcial de 1.6 atmósferas de oxígeno.

La susceptibilidad a esta toxicidad varía de persona a persona. La susceptibilidad individual varía con el biorritmo de la persona y por esta razón los buzos pueden experimentar intoxicación por oxígeno del sistema nervioso central al exponerse por tiempos y presiones previamente toleradas. Debido a que es la presión parcial de oxígeno en sí misma la que causa la toxicidad, el problema puede ocurrir de igual forma al utilizar mezclas de oxígeno con nitrógeno ó helio. La toxicidad por oxígeno es influenciada por la densidad del gas respirado y las características del equipo de buceo utilizado. De este modo, los límites permitidos para la presión parcial de oxígeno difieren, de acuerdo al equipo de buceo (los cuales son discutidos en capítulos posteriores). En general, con presiones parciales de oxígeno bajo 1.4 ata, es poco probable que se produzca una intoxicación por oxígeno del SNC. En equipos de circuito cerrado con 100 % de oxígeno (ECC 100 % O_2) requiere de límites más bajos de presión parcial, mientras que sistemas de buceo asistido utilizando helio-oxígeno permiten límites levemente más altos.

a) **Factores Contribuyentes en la intoxicación por oxígeno del CNS.** Los Tres factores externos principales que contribuyen al desarrollo de la intoxicación son:

- Presencia de un alto nivel de dióxido de carbono en el medio respiratorio producto de una falla de los elementos de absorción de CO2.

- Dióxido de carbono en el gas de suministro al casco.

- Inadecuada ventilación durante un ejercicio fuerte.

b) **Síntomas de intoxicación por oxígeno del CNS.** La consecuencia directa más seria de la intoxicación por oxígeno son las convulsiones. A veces el reconocimiento de los primeros síntomas puede dar la suficiente advertencia para reducir la presión parcial de oxígeno y prevenir la aparición de síntomas más serios. La advertencia más común se reconoce por la abreviación **VENEDIC**:

- **(V)** Síntomas Visuales: visión de túnel ó decrecimiento de la visión periférica y otros síntomas como visión borrosa.

- **(E)** Síntomas Auditivos: Tinitus, cualquier sonido percibido por los oídos pero no de un estímulo externo puede asemejarse a campanas, estruendos ó a un sonido pulsante como de maquinaria.

- **(N)** Náuseas ó vómitos espasmódicos: estos síntomas pueden ser intermitentes.

- **(E)** Espasmos y síntomas de movimientos musculares involuntarios: Cualquiera de los pequeños músculos faciales, labios ó músculos de las extremidades pueden ser afectados. Estos son los síntomas más claros y frecuentes.

- **(D)** Vértigo: Los síntomas incluyen torpeza, descoordinación e inusual fatiga.

- **(I)** Irritabilidad: Cualquier cambio en el estado mental del buzo, incluyendo confusión, agitación y ansiedad.

- **(C)** Convulsiones: Puede ocurrir como el primer signo de la intoxicación por oxígeno al CNS y puede ser con ó sin advertencia.

Los síntomas no siempre aparecen y muchos de ellos no son exclusivamente síntomas de intoxicación por oxígeno. Movimientos musculares involuntarios, tal vez, son el síntoma más claro de toxicidad, pero estos pueden ocurrir después de que ya ocurrió la intoxicación. La aparición de cualquiera de estos síntomas, usualmente representa una señal del organismo a algún problema, por lo que debe ser atendida.

2) **Convulsiones del CNS.** Las convulsiones son la más seria consecuencia de la intoxicación por oxígeno y puede ocurrir de improviso, sin otro síntoma anterior. Durante una convulsión, el individuo pierde la conciencia y su cerebro envía impulsos nerviosos descontrolados a sus músculos. Al producirse estos impulsos, todos los músculos del cuerpo están estimulados al mismo tiempo y dejan al cuerpo en un estado de rigidez. Esto se refiere a la fase tónica de la convulsión. El cerebro se fatiga rápido y el numero de impulsos disminuye. Esta es la fase clónica y los aleatorios impulsos a los músculos pueden provocar violentos golpes y sacudidas por un minuto ó más.

Después de la fase convulsiva, la actividad cerebral decrece, produciéndose una depresión post-convulsiva. Durante esta fase, el paciente está usualmente inconsciente y quieto por un rato, entonces entra a un estado de semi-inconciencia y gran cansancio. El afectado, normalmente se quedará dormido, despertando ocasionalmente, pero sin claridad mental. La fase de depresión puede demorar sólo 15 minutos, pero es común que sobrepase una hora. Al final de esta fase, usualmente el paciente recobrará la conciencia repentinamente, mostrándose alerta y con no más que fatiga, dolor muscular y un posible dolor de cabeza. Después de la convulsión por oxígeno, el individuo comúnmente recuerda los sucesos hasta antes de perder la conciencia, pero no recuerda nada de las convulsiones y las fases posteriores.

a) **Acciones recomendadas.** Al contrario de la alarma que aparenta, la convulsión por sí misma, no es más que un espasmo muscular realizado por la víctima. En una convulsión por oxígeno, el daño posible por hipoxia durante la contención respiratoria en la fase tónica es reducida por la presión parcial de oxígeno en los tejidos y el cerebro. Si una convulsión ocurre dentro de una cámara hiperbárica, es muy importante mantener al individuo alejado de objetos que puedan dañarlo durante las convulsiones. La completa inmovilidad del individuo no es necesaria y tampoco deseable. La máscara de oxígeno debe ser removida de inmediato. No es necesario forzar a abrir la boca para introducir un bloqueador mientras ocurre la convulsión. Después de la convulsión viene un relajo de la boca, por lo que se requiere asegurar que esta vía esté clara hasta que el buzo recupere la conciencia. La respiración volverá invariablemente en forma espontánea.

Las convulsiones pueden llevar a un barotrauma mientras se bucee con un equipo de buceo asistido y el buzo caiga a una mayor profundidad, pero normalmente sólo sufrirá magulladuras y mordeduras en la lengua como únicas consecuencias. Traer a la superficie a un buzo durante la parte más activa de una convulsión, posibilita el desarrollo de una EGT. Cuando usan sistemas de buceo autónomos, la consecuencia más seria de las convulsiones es ahogarse. En esta situación, el bucear en parejas puede ser la diferencia entre la vida y la muerte.

Los cambios bioquímicos en el sistema nervioso central causados por altas presiones parciales de oxígeno no son revertidas instantáneamente al reducir la presión parcial de oxígeno. Si uno de estos prematuros síntomas de toxicidad ocurre, el buzo aún puede presentar convulsiones por un minuto o dos después de cambiar el medio respiratorio. No es posible descartar la ocurrencia de una convulsión, a menos que el buzo haya estado sin oxígeno por 2 a 3 minutos.

Si se evita que un buzo con convulsiones se ahogue o se produzca daños el mismo, éste se recobrará sin efectos posteriores después de 24 horas. La susceptibilidad a la toxicidad no aumentará en las exposiciones posteriores al oxígeno, pero puede que sea capaz de detectar más fácilmente los síntomas. Sin embargo, este es una situación mayormente fisiológica.

b) **Prevención.** Los actuales mecanismos de la intoxicación por oxígeno del CNS, permanecen desconocidos a pesar de muchas teorías é investigaciones. La prevención de esta toxicidad es muy importante para los buzos. Cuando el uso de altas presiones de oxígeno es ventajosa ó necesaria, los buzos deben tomar precauciones especiales como estar seguros de que los sistemas de buceo estén completamente operativos, observar los límites de profundidad evitando la ejercitación excesiva y estar atentos a la presencia de los síntomas que puedan presentarse.

c.- **Absorción de gases inertes.** En promedio, el cuerpo humano tiene disuelto a nivel del mar un litro de nitrógeno. Todos los tejidos del organismo son saturados con nitrógeno a una presión parcial igual a la presión parcial en el alvéolo, cerca de 570 mm Hg (0.75 ata). Si la presión parcial de nitrógeno cambia debido a una variación de la composición de la mezcla de gas, la presión del nitrógeno disuelto en el cuerpo gradualmente cambiará hasta alcanzar el mismo nivel. Cantidades adicionales de nitrógeno son absorbidas ó eliminadas hasta que la presión parcial del nitrógeno en los pulmones tenga una gradiente cero con respecto a los tejidos.

Como lo describe la ley de Henry, la cantidad de gas que se disuelve en un líquido es casi directamente proporcional a la presión parcial del gas. Si un litro de gas inerte es absorbido a una presión de una atmósfera, entonces dos litros serán absorbidos a dos atmósferas y tres litros a tres atmósferas, y a sí sucesivamente.

El proceso de incorporar más nitrógeno en los tejidos es llamado absorción ó saturación. El proceso inverso es llamado eliminación ó desaturación. La cadena de eventos es esencialmente la misma en ambos de estos procesos, a pesar de ser realizado en sentido opuesto. En el buceo, los dos procesos: Saturación (cuando el buzo está expuesto a un incremento de la presión parcial de nitrógeno debido a una mayor profundidad) y la Desaturación (cuando regresa a la superficie) son importantes. El mismo proceso ocurre cuando se utilizan medios respiratorios distintos que el aire, tales como el Helio, Nitrógeno, Hidrógeno y otros gases inertes.

d.- **Saturación de los Tejidos.** La secuencia de eventos en el proceso de saturación puede ser ilustrado ilustrando lo que pasa en el cuerpo de un buzo baja rápidamente desde la superficie hasta una profundidad de 100 pies (Figura 17). Para simplificar el problema, podemos decir que la presión parcial de nitrógeno en su sangre y tejidos al dejar la superficie es de 0.8 ata. Cuando el buzo alcanza los 100 pies, la presión parcial del nitrógeno alveolar será incrementada en 4 veces (0,8 x 4 ata) ó 3,2 ata, mientras que la sangre y los tejidos mantienen temporalmente una presión parcial de 0.8 ata.

1) **Proceso de Saturación por Nitrógeno.** La diferencia de la presión parcial ó la gradiente entre el aire alveolar y la sangre y tejidos es de 3,2 menos 0,8 ó 2,4 ata. Esta pendiente es lo que fuerza a las moléculas de nitrógeno a desplazarse por difusión desde un lugar a otro. Considerando los siguientes eventos y factores en un buceo a 100pies:

- A medida que la sangre pasa a través de los capilares alveolares, las moléculas de nitrógeno se mueven desde el aire alveolar hacia la sangre. Al momento que la sangre deja los pulmones, ésta alcanza el equilibrio con la nueva presión del nitrógeno. Ahora tiene una presión parcial de 3.2 ata y contiene cerca de cuatro veces más nitrógeno que antes. Cuando la sangre alcanza los tejidos, existe un fenómeno similar y las moléculas de nitrógeno se mueven desde la sangre hacia los tejidos hasta que es alcanzado el equilibrio.

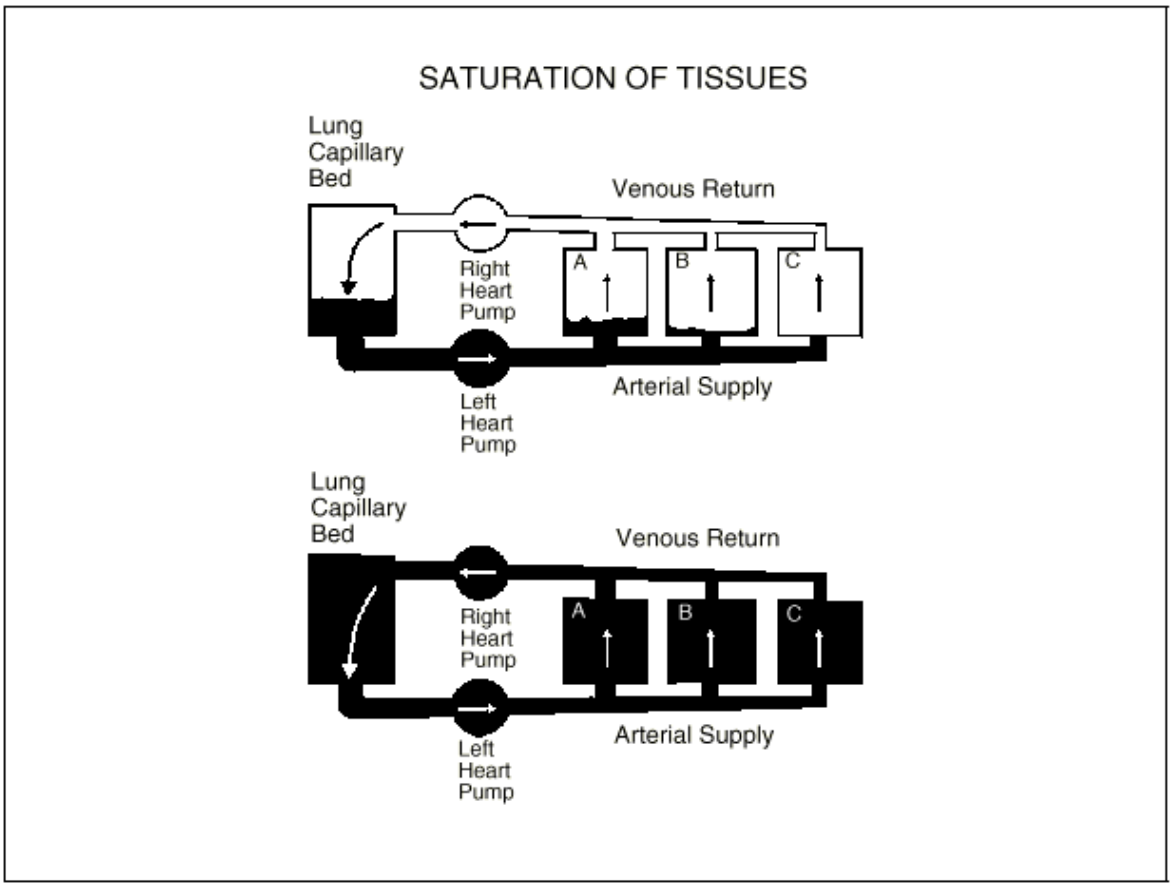


Figura 17. Saturación de los Tejidos.

La parte sombreada del diagrama indica la saturación con nitrógeno ó helio debido a un incremento de presión. La sangre es saturada a medida que pasa por los pulmones y los tejidos son saturados por medio del traspaso gaseoso con la sangre. Aquellos con un gran suministro de sangre (como la letra A) son saturados más rápido que los que tienen un suministro menor de sangre (C) ó poseen una gran capacidad de absorción de gas, como los tejidos grasosos tienen para el nitrógeno. En un ascenso rápido, pueden formarse burbujas en la sangre arterial ó en aquellos tejidos con mayor velocidad de absorción “tejido absorción rápida” (A), a pesar de que el organismo esté lejos de la saturación .Si se pasa suficiente sumergido, todos los tejidos serán saturados por igual, como muestra el diagrama inferior.

- El volumen de sangre en un tejido es relativamente pequeño comparado al volumen del tejido y la sangre puede llevar sólo una cantidad limitada de nitrógeno. Debido a esto, el volumen de sangre que alcanza un tejido por un período corto de tiempo entrega el exceso de nitrógeno, sin incrementar significativamente la presión parcial de este gas en el tejido.

- Cuando la sangre deja los tejidos, la presión de nitrógeno en las venas es igual a la nueva presión de nitrógeno en los tejidos. Cuando esta sangre va a través de los pulmones, alcanza nuevamente el equilibrio de 3.2 ata.

- Cuando la sangre retorna a los tejidos, otra vez entrega nitrógeno hasta que un nuevo equilibrio sea alcanzado.

- A medida que la presión parcial de nitrógeno crece en los tejidos, la gradiente entre la sangre y el tejido disminuye, disminuyendo la velocidad de intercambio de nitrógeno. Al aumentar la presión parcial de los tejidos, la velocidad de intercambio de nitrógeno disminuirá. Sin embargo, cada vez que la sangre alcanza el tejido, pierde algo de nitrógeno, incrementando la presión parcial hasta completar la saturación, en este caso al alcanzar 3.2 ata de nitrógeno.

- Los tejidos que poseen un suministro mayor de sangre que su propio volumen, tienen una mayor cantidad de nitrógeno por unidad de tiempo, completando la saturación más rápido que los tejidos con menor suministro sanguíneo.

- Todos los tejidos del cuerpo están compuestos de componentes musculares y adiposos. Si un tejido tiene una capacidad mayor de lo normal para el nitrógeno, le tomará más tiempo a la sangre para enviar suficiente nitrógeno y completar la saturación. El nitrógeno es cinco veces más soluble (capacidad para disolverse) en la grasa corporal que en el agua. Por lo tanto, los tejidos adiposos requieren mucho más nitrógeno y más tiempo para saturarlos completamente que los tejidos musculares (acuosos), incluso aunque el suministro de sangre sea mayor. Los tejidos adiposos tienen menos suministro sanguíneo por lo tanto se saturan más lentamente.

- A 100 pies de profundidad, la sangre del buzo continúa tomando más nitrógeno en los pulmones y enviando más nitrógeno a los tejidos, hasta que estos han alcanzado la saturación a una presión parcial de 3.2 ata de nitrógeno. Algunos tejidos acuosos tienen un excelente suministro de sangre, lo que los saturará en unos pocos minutos. Otros, como las grasas con pobre suministro de sangre, podrían no estar saturados completamente a menos que el buzo se mantenga a 100 pies por 72 horas ó más.

- Si se mantiene a una profundidad de 100 pies hasta que la saturación se complete, su cuerpo contendrá cerca de cuatro veces más nitrógeno del que tenía en la superficie. Buzos con una talla de promedio normal ó más gordos tiene cerca de un litro de nitrógeno disuelto en la superficie y cerca de cuatro litros a 100 pies de profundidad. Debido a que la grasa es capaz de mantener cerca de cinco veces más nitrógeno que los tejidos acuosos, la mayoría del gas será contenido en los tejidos adiposos del buzo.

- Un factor importante acerca de la saturación por nitrógeno es que el proceso requiere del mismo período de tiempo, independiente de la presión de nitrógeno involucrada. Por ejemplo, si el buzo está a 33 pies en vez de 100, requerirá el mismo período de tiempo para llegar al estado de saturación y con esto establecer el equilibrio entre las presiones parciales de nitrógeno en los tejidos y el ambiente. En este caso, la gradiente original entre el aire alveolar y los tejidos será de sólo 0,8 ata en vez de 2,4 ata. Por esta razón, la cantidad de nitrógeno enviado a los tejidos por cada ciclo circulatorio de sangre será mucho menor que el enviado si la presión parcial fuera de 2,4 ata. A pesar de requerirse menor cantidad de nitrógeno para saturar los tejidos a 33 pies, debido a la menor gradiente de nitrógeno, el tiempo total requerido para llegar al estado de saturación será el mismo, independiente de la presión.

2) **Otros Gases Inertes.** Cuando otro gas inerte, como el helio, es usado en el medio respiratorio, los tejidos del cuerpo llegan a saturarse con el gas al igual que en el proceso con el nitrógeno. Sin embargo, el tiempo requerido para alcanzar la saturación es diferente para cada gas.

   La presión actual total de gases en un cuerpo puede producir una significante supersaturación ó subsaturación durante el intercambio de gases, al reemplazar un gas por otro, sin efectuar un cambio en la presión ambiental (cambio de gas isobárico).

e.- **Desaturación de los Tejidos.** El proceso de desaturación es lo inverso de la saturación (Figura 18). Si la presión arterial de gas en los pulmones se reduce, tanto por un cambio en la presión ambiente o por la utilización de una mezcla respiratoria diferente, la nueva gradiente producida por la disminución de la presión parcial del nitrógeno lo hará difundir hacia fuera del organismo por medio de la respiración. Algunas partes del cuerpo se desaturan más rápido que otras por las mismas razones que se saturan más lentamente: un bajo suministro de sangre ó una gran capacidad para almacenar gas.

1) **Diferencias de Saturación y Desaturación.** Existe una gran diferencia entre saturación y desaturación. El organismo es capaz de tolerar un gran y repentino aumento de la presión parcial de un gas respiratorio sin presentar efectos negativos. Esto no ocurre en la desaturación, en donde una disminución brusca de la presión ambiental puede ocasionar graves problemas médicos.

   Un buzo que está trabajando a una profundidad de 100 pies, está bajo una presión total de 4 ata. La presión parcial del nitrógeno que él respira es aproximadamente de 3,2 ata (80% de 4 ata). Si su cuerpo es saturado con nitrógeno, la presión parcial del nitrógeno en sus tejidos será de alrededor de 3,2 ata. Si el buzo asciende rápidamente a la superficie, la presión total hidrostática sobre sus tejidos se reduciría a un ata, por lo que la tensión de nitrógeno en los tejidos quedaría momentáneamente con una ppN_2 de 3.2 ata.

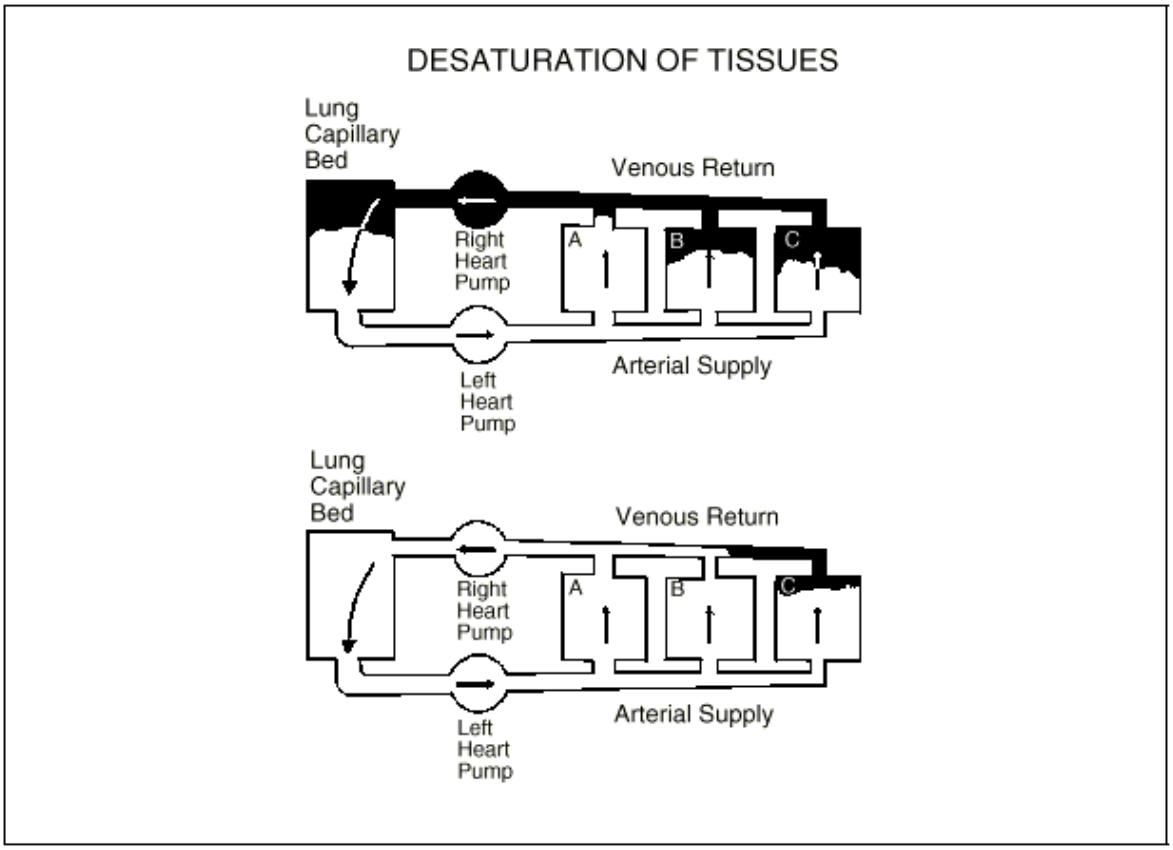


Figura 18. Desaturación de los tejidos.

Es esencialmente lo inverso a la saturación. Cuando la presión de gas inerte baja, la sangre elimina el exceso de gas a través de los pulmones. La sangre remueve el gas desde los tejidos, dependiendo de la cantidad de sangre que fluye por este. Los tejidos con suministro pobre de sangre (con la letra C en el diagrama superior) ó gran capacidad para almacenar gas, se mantendrán parcialmente saturados después de que otros ya hallan eliminado el N_2 (ver diagrama superior). Si el buceo toma el tiempo necesario para saturar cada tejido, se requerirá una larga descompresión para desaturar el tejido lo suficiente para evitar la formación de burbujas durante el ascenso.

2) **Formación de Burbujas.** Un gas disuelto puede tener una presión parcial mayor que la presión total en el cuerpo. Si un tejido es supersaturado con gas a este nivel, el gas eventualmente se separará de la solución en la forma de burbujas. Las burbujas de nitrógeno formadas en los tejidos y la sangre es conocida como Enfermedad de Descompresión Inadecuada (EDI). Estas burbujas pueden presionar los nervios, dañar tejidos delicados, bloquear el flujo sanguíneo a órganos vitales e inducir a cambios bioquímicos y coágulos sanguíneos. Los síntomas pueden comenzar desde picazón en la piel, leve molestia muscular hasta dolor en articulaciones, parálisis, adormecimiento, pérdida de audición, vértigo, inconsciencia y en algunos casos extremos, la muerte.

   Afortunadamente, la sangre y los tejidos pueden mantener gas en solución supersaturada en algunos grados sin una gran formación de burbujas. Esto permite al buzo ascender algunos pies sin experimentar enfermedad de descompresión inadecuada, mientras permite a una parte del gas difundirse a través de los tejidos y salir del cuerpo. A través de un ascenso progresivo y la detención por períodos de tiempo en cada nivel, el buzo eventualmente alcanza la superficie sin experimentar una EDI.

f.- **Enfermedad por Descompresión Inadecuada (EDI).** Cuando la sangre y los tejidos de un buzo han aumentado la cantidad de nitrógeno ó helio en solución debido al aumento de la presión parcial de estos, al reducir la presión externa durante el ascenso, se puede producir un estado de supersaturación. Si la eliminación de gas disuelto, vía circulación y pulmones, no alcanza a compensar la reducción de la presión externa, el grado de supersaturación puede alcanzar el punto en el cual el gas no puede mantenerse por más tiempo en solución, apareciendo burbujas en la sangre y tejidos. La situación se puede explicar gráficamente con el ejemplo de una botella de agua carbonatada cuando es destapada.

   1) **Efectos Directos de las Burbujas.** Los tejidos supersaturados pueden presentar burbujas en el tejido ó en el torrente sanguíneo. Además, las burbujas pueden aparecer desde el pulmón y entrar al torrente sanguíneo debido a una sobreexpansión pulmonar (embolia gaseosa traumática). Una vez en el torrente sanguíneo, las burbujas pueden causar síntomas dependiendo solamente de donde ellas terminen su recorrido y no de acuerdo a su fuente de origen. Estas burbujas pueden producir directamente sus severos efectos en diversas formas:

- Bloqueo directo del suministro de sangre arterial produciendo hipoxia, daños y muerte de los tejidos. Esto se llama embolismo y puede ser producido por un daño pulmonar (EGT) ó burbujas producidas durante la descompresión que llegan a la circulación arterial. El mecanismo usualmente causa síntomas cerebrales.

- Congestión de las venas ó bajo flujo y aumento de la densidad de la sangre, lo cual lleva a incrementar la presión de retorno. Esto incrementa la presión diastólica produciendo hipoxia, daño de tejidos y la muerte. Este es uno de los mecanismos en la EDI de la espina dorsal.

- Presión directa sobre los tejidos cercanos causando distensión, presión sobre las terminaciones nerviosas ó daño mecánico directo. Este es otro mecanismo en la EDI de la espina dorsal y puede ser un mecanismo para la EDI en músculos y articulaciones.

- Burbujas bloqueando el flujo sanguíneo en los pulmones, lo que lleva a una disminución del intercambio gaseoso, hipoxia e hipercapnia. Este es el mecanismo de EDI pulmonar.

  El tiempo requerido para producir estos efectos directos por las burbujas es corto (desde algunos minutos a horas). El único tratamiento efectivo para estos problemas es el tratamiento hiperbárico. Esto permite recomprimir la burbuja á un tamaño menor, restaura el flujo sanguíneo, decae la congestión en las venas y favorece el intercambio gaseoso en los pulmones y tejidos. Además de incrementar la velocidad a la que las burbujas pierden gas y colapsan.

2) **Efectos Indirectos de las Burbujas.** Las burbujas pueden producir efectos indirectos debido a que una burbuja presente en un vaso sanguíneo actúa como un cuerpo extraño, activando los mecanismos de defensa que tratan de expulsar al cuerpo extraño. Se trata de una expulsión que incluye:

   - Los vasos sanguíneos comienzan a “filtrar”. El plasma sale dejando a las células de la sangre dentro de los vasos sanguíneos. La sangre aumenta su densidad, causando coagulación con lo que aumenta la presión diastólica, produciendo un posible shock.

- El sistema de plaquetas se activa, concentrándose en el sitio donde está la burbuja iniciando el coágulo.

- El tejido dañado suelta partículas grasas que se aglomeran en el torrente sanguíneo. Esto actúa como una embolia, causando hipoxia en los tejidos.

- Los tejidos dañados producen histamina y sustancias parecida a la histamina, causando un edema, el cual lleva a problemas de tipo alérgico como shock y desórdenes respiratorios.

Los problemas indirectos de las burbujas toman un período largo (sobre 30 minutos ó más) que los efectos directos. Debido a que un coagulo no compresible reemplaza a una burbuja compresible, la terapia hiperbárica no es suficiente por sí sola. Para restaurar el flujo sanguíneo y terminar con la hipoxia se requiere agregar al tratamiento hiperbárico otras terapias.

3) **Síntomas de la Enfermedad por Descompresión.** Los resultados de los síntomas dependen de la locación y tamaño de la ó las burbujas. Los síntomas incluyen dolor en las articulaciones, músculos ó huesos cuando la burbuja se aloja en alguno de estos tejidos. La formación de burbujas en el cerebro puede producir ceguera, mareos, vértigo, parálisis además de convulsiones é inconsciencia. Cuando la espina dorsal está involucrada puede ocurrir parálisis y/ ó pérdida de sensibilidad. Las burbujas en el oído interno producen pérdidas de audición y vértigo. Burbujas alojadas en los pulmones pueden causar tos, falta de aire e hipoxia, esta condición es conocida como “chokes”. Esta condición a menudo puede ser fatal. Burbujas en la piel producen picazón ó irritación ó ambos. Después de una inmersión, la fatiga anormal ó cansancio son probables síntomas de la presencia de burbujas en zonas anormales y de los cambios bioquímicos que estas inducen. La enfermedad por descompresión que afecta al sistema nervioso central (cerebro ó espina dorsal) ó a los pulmones pueden producir una seria desestabilización, amenazando la vida si no es atendido rápida y adecuadamente. Cuando otras áreas son afectadas, como las articulaciones o zonas musculares, no son tratadas la condición puede producir dolor agudo o daño localizado, pero normalmente la vida no estará en peligro.

4) **Tratamiento de la Enfermedad por Descompresión.** En la actualidad, el único tratamiento real para este problema es el tratamiento hiperbárico (TH). Este tratamiento tiene como fundamentos principales, que al comprimir nuevamente al buzo se disminuirá proporcionalmente el tamaño de la burbuja y, además, proporcionar oxígeno extra a los tejidos hipóxicos por medio de una concentración mayor disuelta en el plasma. El TH se hace normalmente en una cámara hiperbárica, pero puede ser realizada en casos especiales en el agua. La recompresión en el agua no es recomendable salvo en casos muy especiales, en donde los factores de distancia y condición del paciente son analizados en detalle.

   En los últimos años, Investigaciones han mostrado que los síntomas causados por las burbujas dependen de su última ubicación y no de su fuente. Las burbujas que entran en la circulación arterial desde los pulmones (EGT) tienen exactamente los mismos efectos de las que aparecen desde los tejidos corporales y células (EDI) que encuentran su camino en la circulación arterial. Esto significa que el tratamiento de enfermedades causadas por burbujas es dependiente de los últimos síntomas y severidad de ellos y no de la fuente de las burbujas.

   Este descubrimiento ha llevado a nuevos protocolos para el tratamiento inicial por embolia gaseosa traumática y la enfermedad por descompresión inadecuada sean el mismo: **Recompresión a 60 pies**. Una vez a 60 pies, el tratamiento prosigue de acuerdo a las condiciones del paciente y su respuesta a la terapia. Muchos concuerdan con la opinión de que los efectos directos de las burbujas son la causa de los síntomas que ocurren tempranamente, una vez en superficie. Estos casos usualmente presentan alivio con la sólo la recompresión. Sin embargo, mientras mayor es el tiempo transcurrido desde que el buzo llega a la superficie y la aparición de los síntomas, mayores son las probabilidades que los síntomas sean producidos por los efectos de las burbujas, que por las burbujas en sí mismas. En esta situación, la recompresión por sí sola será menos efectiva.

5) **Prevención de la Enfermedad por Descompresión Inadecuada.** La prevención de ésta enfermedad se realiza por el seguimiento de tablas de descompresión. Sin embargo, la susceptibilidad individual ó condiciones inusuales, tanto en el buzo ó en la ejecución del buceo, produce un pequeño porcentaje de casos que aunque se cumplan meticulosamente las tablas, la enfermedad puede desarrollarse. Para evitar completamente este problema, el tiempo requerido para la descompresión deberá tener un margen mucho mayor que el tiempo normal necesario. Por otro lado, bajo circunstancias ideales, algunos individuos pueden ascender con seguridad en menos tiempo de lo que las tablas especifican. Esto no quiere decir que las tablas contienen un rango de tiempo exagerado. Las tablas representan el tiempo mínimo aceptable de descompresión para que los buzos puedan ascender con seguridad desde un trabajo normal sin una incidencia real de la enfermedad de descompresión inadecuada.

g.- **Síndrome de Alta presión Nerviosa (SNAP).** Es un desorden de las funciones del sistema nervioso central que ocurre durante un buceo profundo con helio-oxígeno, particularmente en buceo de saturación. La causa es desconocida y las manifestaciones clínicas incluyen náusea, temblores, desbalance, descoordinación, pérdida de la destreza manual y pérdida del grado de alerta. Ocasionalmente se desarrollan calambres abdominales y diarrea. En casos severos, un buzo puede desarrollar vértigo, extrema indiferencia a lo que sucede alrededor y una marcada confusión como la inhabilidad para distinguir su mano derecha de la izquierda. SNAP aparece entre los 400 y 500 pies y la severidad depende aparentemente de la profundidad y la velocidad de descenso. Con una compresión lenta, pueden realizarse inmersiones hasta 1000 pies con relativa seguridad sobre la ocurrencia del HPNS. A mayor profundidad, el HPNS puede estar presentar, independiente de la velocidad de descenso. Para evitar la aparición de este síndrome, se han incluido en la mezcla respiratoria nitrógeno ó hidrógeno y se han utilizado drogas especiales. A pesar de las numerosas investigaciones, no existe un método enteramente satisfactorio.

h.- **Dolores por Compresión.** Los dolores por compresión (referidos como compresión arthralgia) resultan del incremento en la presión que rodea al organismo. Estos dolores afectan las articulaciones y pueden ocurrir en la mayoría de los buzos. Existen experiencias de dolores en rodillas, hombros, dedos, espalda, caderas, cuello y costillas. Los dolores por compresión son a menudo agudos, similares a los producidos por una EDI tipo I. Sin embargo, estos dolores pueden aparecer repentina e intensamente. Pueden estar acompañados de “crujidos” de las junturas ó una seca y “arenosa” sensación dentro de las articulaciones.

Los síntomas son dependientes de la profundidad, velocidad de descenso y susceptibilidad individual. Este problema está asociado principalmente con el buceo de saturación, pero los síntomas pueden aparecer en bajas profundidades de hasta 100 pies asociado con grandes velocidades de descenso en buceo con aire. En grandes profundidades, en buceo de saturación con helio, con velocidades de compresión lentas, los síntomas son más comunes a más de 300 pies. A mas 600 pies de profundidad, los dolores por compresión pueden ocurrir a pesar de una baja velocidad de compresión. Estos dolores pueden ser suficientemente severos como para limitar la actividad del buzo, tanto en la velocidad de descenso, como en la profundidad de sus excursiones. Normalmente se siente alivió cuando se ha estado un tiempo a la profundidad. En ocasiones, estos dolores pueden mejorar en la fase de descompresión antes de alcanzar profundidades menores. Estos dolores se pueden diferenciar de una EDI por que comienzan antes de la fase de descompresión y no se incrementan en intensidad al disminuir la profundidad.

El mecanismo de dolor por compresión es desconocido, pero se piensa que es el resultado del repentino incremento de la tensión por gas en los tejidos alrededor de las articulaciones, causando cambios en el fluido e interfiriendo en la lubricación de las éstas.

30111. RIESGOS FISIOLÓGICOS DE LAS EXPLOSIONES.

Los buzos frecuentemente trabajan con material explosivo ó están involucrados en combate submarino por lo que están sujetos a riesgos de explosiones submarinas. Una explosión es la violenta expansión de una sustancia causada por la liberación de gases durante una combustión rápida. Uno de los efectos de una explosión es una “onda de choque” que viaja en forma concéntrica con respecto al lugar de la explosión, similar a la onda producida por una piedra al caer en el agua. Esta onda de choque conduce a través del medio que la rodea (agua o aire) parte de la energía de la explosión.

Una onda de choque se mueve más rápidamente y es más pronunciado en el agua que en el aire debido a la relativa incompresibilidad de los líquidos. Ya que el cuerpo humano es prácticamente líquido, por lo tanto incompresible, las ondas de choque submarinas pasan a través del cuerpo produciendo un pequeño o ningún daño a los tejidos sólidos. Sin embargo, los espacios aéreos del cuerpo, aún cuando estén igualados en presión con el medio ambiente, no están preparados para transmitir la sobrepresión de la onda de choque. Como resultado, los tejidos que cubren los espacios aéreos están sujetos a una violenta fuerza de fragmentación en la interfase entre los tejidos y el gas.

El monto de daño corporal está influenciado por un gran número de factores. Estos incluyen el tamaño de la explosión, la distancia del sitio y el tipo de explosivo (debido a que la onda expansiva difiere según el tipo de explosivo). En general explosiones de gran magnitud, cercanas y de desarrollo lento son más peligrosas. La profundidad y el tipo de fondo marino (el cual puede reflejar y amplificar la onda expansiva) pueden aumentar los efectos. Bajo condiciones normales, una onda de choque de 500 psi ó mayor, causará daños a los pulmones y al tracto intestinal.

En la extensión del daño influye cuanto y que parte del buzo está bajo el agua. Por una explosión submarina, cualquier parte del cuerpo que esté fuera del agua no es afectada. Inversamente, para una explosión en el aire, una mayor profundidad proveerá mayor protección. La presión máxima de la onda de choque al cual un buzo puede ser expuesto es de 50 psi. El procedimiento más seguro y recomendado es tener a todos los buzos fuera del agua durante la ejecución de una explosión planeada ó anticipada. Un buzo que detecte una explosión submarina cercana, debe tratar de sacar la mayor parte de su cuerpo fuera del agua. Si se encuentra en el agua, el mejor curso de acción es flotar boca arriba, para tener el tejido más grueso de la espalda hacia la explosión.

30112. PROBLEMAS TÉRMICOS Y FISIOLÓGICOS EN EL BUCEO.

Los problemas térmicos debido a la exposición al agua fría es una de las mayores consideraciones al momento de planear una operación de buceo y seleccionar el equipamiento adecuado. Un buzo trabajando en aguas frías experimenta pérdida de calor durante la inmersión y además de una incómoda sensación de enfriamiento al final del buceo. Los límites en el tiempo total de buceo deben ser determinados más por la tolerancia al frío del buzo que por las consideraciones de descompresión.

El cuerpo humano funciona efectivamente con un rango de temperatura interna muy pequeño. El promedio normal es de 37 °C (98.6 °F) y es mantenido por mecanismos naturales del organismo. En casos extremos debe ser ayudado por medidas externas como el uso de ropa protectora ó aire condicionado cuando las condiciones externas se tornan más frías ó calientes. El abrigo antes de buceo en un buceo repetitivo es tan importante como preocuparse de los niveles residuales de nitrógeno.

Cuando la temperatura corporal baja de lo normal, la absorción de gases se incrementa. Esto requiere modificar el procedimiento de descompresión, seleccionando una tabla de descompresión incrementada en profundidad y/o tiempo de fondo.

a.- **Regulación de la Temperatura Corporal.** El proceso metabólico del cuerpo genera calor constantemente, pudiendo ocurrir daño celular si se permite el aumento de temperatura en el organismo. Para mantener la temperatura interna a un nivel apropiado, el cuerpo debe eliminar la misma cantidad de calor que produce.

La transferencia de calor se realiza en varias formas. La sangre, mientras circula a través del cuerpo, toma parte del exceso de calor hacia los pulmones donde estos lo expulsan por la exhalación. También el calor se transfiere a la superficie de la piel, donde este es disipado a través de una combinación de conducción, convección y radiación. La humedad liberada por las glándulas sudorosas enfría la superficie del cuerpo evaporándose y acelerando la transferencia de calor desde la sangre al aire circundante. Si el cuerpo está bajo una gran actividad física, éste genera una cantidad superior a lo normal de calor, lo que activa a los vasos sanguíneos cercanos a la pie a que se dilaten para permitir que una mayor cantidad de sangre alcance la superficie corporal y, además, las glándulas sudorosas incrementen su actividad.

Para un buzo, mantener una temperatura adecuada del cuerpo es extremadamente difícil mientras esté bajo el agua. El problema principal es mantener el cuerpo tibio. La alta conductividad térmica del agua, asociado con aguas frías donde normalmente el buzo opera, puede resultar en una rápida y excesiva pérdida de calor.

b.- **Pérdida Excesiva de Calor (Hipotermia).** Cuando el agua fría ingresa en un traje seco ó un traje húmedo, el buzo experimenta un repentino cambio en la temperatura de la piel. Si un buzo sin protección térmica es repentinamente puesto dentro de agua muy fría, los efectos son inmediatos y rápidamente distinguibles. El buzo comienza a jadear, incrementando su frecuencia y volumen respiratorio. Su respiración comienza a ser tan rápida e incontrolada que él no puede coordinar su respiración ni sus movimientos en el agua. Esta falta de control respiratorio hace que la sobrevivencia sea muy dura en aguas frías.

Se requiere de una temperatura aproximada de 33 °C (91 °F) en el agua para mantener a un buzo en descanso a temperatura confortable. Un buzo sin protección será afectado por una excesiva pérdida de calor y enfriamiento en un corto período de tiempo en temperaturas bajo los 23 °C (72 °F). A medida que la temperatura corporal baja, se experimenta incomodidad por lo que el cuerpo tratará de aumentar la producción de calor en los músculos, comenzando a “tiritar”, signo de que el enfriamiento ha comenzado. Si la baja de temperatura continúa, disminuirá la habilidad para ejecutar trabajos; el sentido del tacto estará entorpecido y las manos perderán destreza. Si el enfriamiento se intensifica aún más, producirá pérdida de la coordinación, pudiendo experimentar dificultades para mantener el control de la mandíbula en un buzo autónomo. Se perderá rápidamente la habilidad para pensar claramente y será difícil concentrarse.

A temperaturas extremadamente bajas ó prolongadas inmersiones, el cuerpo pierde calor alcanzando un punto en el cual puede ocurrir la muerte. Un traje apropiado reduce bastante los efectos de pérdida de calor, permitiendo prolongadas exposiciones si se usa el equipamiento adecuado.

Las mezclas respiratorias son temperadas en el tracto respiratorio superior. A medida que aumenta la profundidad, se requiere más energía para calentar las mezclas debido al aumento de densidad de estas. De este modo, la pérdida de calor a través del tracto respiratorio llega a incrementarse significativamente, por lo que es un factor importante en buceos a gran profundidad. De hecho, un buzo puede desarrollar un shock respiratorio si respira gas sin calefaccionar durante buceos de saturación con una temperatura de agua normal.

1) **Regulación Interna de la Temperatura.** La habilidad corporal para tolerar el frío ambiental se debe a la aislación natural que posee y la capacidad de producción de calor. La temperatura no es uniforme a través del cuerpo, por lo que es más preciso considerar que el cuerpo posee una *temperatura interna* constante o uniforme y una *temperatura superficial*, en la cual existe un gradiente de temperatura. Sobre el tronco del cuerpo, el espesor de la capa superficial puede ser de 1 pulgada (2.5 cm). Las extremidades pasan a ser aislantes cuando el fluido sanguíneo se reduce para que la temperatura interna no disminuya.

   Una vez en el agua, se disminuye la pérdida de calor a través de la capa superficial por la reducción de flujo sanguíneo en la piel. La vasoconstricción (constricción de los vasos sanguíneos) es inducida en forma automática por el frío, disminuyendo la capacidad conductora de la capa superficial, manteniendo el calor en las zonas internas. Lamentablemente, la regulación por vasoconstricción permite un estrecho rango de protección. Cuando las extremidades son inicialmente sumergidas en agua muy fría, se produce vasoconstricción, disminuyendo el flujo sanguíneo para preservar el calor corporal. Después de un corto tiempo, el flujo sanguíneo aumenta, fluctuando mientras las extremidades son expuestas al agua fría. Como la circulación y la pérdida de calor aumentan, la temperatura corporal decae, pudiendo seguir cayendo, a pesar de que la producción de calor se incremente por los movimientos musculares involuntarios.

   Mucha de la pérdida de calor en el área del tronco es transferida desde de los órganos internos a la superficie por conducción física, la cual no está bajo control fisiológico. La mayoría del calor perdido desde el cuerpo en agua moderadamente fría, viene desde el tronco y no de las extremidades.

2) **Efectos del Ejercicio en la Hipotermia.** Normalmente en superficie el ejercicio incrementa la producción de calor y la temperatura. Paradójicamente, el ejercicio en el agua fría causa la caída de la temperatura corporal más rápidamente. Cualquier movimiento que agite el agua en contacto con la piel, crea turbulencia que acarrea pérdida de calor (convección). La pérdida de calor no es causada sólo por la acción de convección en las extremidades, además es por el incremento del fluido sanguíneo a las extremidades durante el ejercicio. El continuar los movimientos causará que la temperatura interna tienda a igualarse a la de la temperatura superficial de las extremidades. Estos dos conflictivos efectos producen la manutención o aumento de la temperatura interna en agua tibia ó la disminución en agua fría.

   El incremento de la producción de calor requiere de un incremento equivalente en el consumo de oxígeno y por lo tanto, un aumento en la misma magnitud, del volumen respiratorio por minuto. Si un buzo en descanso está respirando nueve litros de aire por minuto y llega a enfriarse, su producción de calor debe incrementarse tres veces para compensar el enfriamiento. Por lo que su ventilación respiratoria crecerá a 36 litros por minuto. En el mismo ejemplo, un buzo gastará la misma cantidad de aire para mantener la temperatura corporal cuando está en reposo, que cuando efectúa un trabajo moderado en la misma agua.

3) **Síntomas de la Hipotermia.** Todos los síntomas que se desarrollan en una hipotermia están en contra del correcto funcionamiento de un buzo. Al bajar la temperatura corporal, la habilidad para pensar del buzo comienza a deteriorarse, afectando su coordinación para efectuar trabajos con las manos u otro tipo de actividad que requiera coordinación motora, impidiendo una óptima selección y ejecución del mejor procedimiento para completar su tarea. En casos extremos, puede llegar a comprometer la capacidad de supervivencia.

   Los signos y síntomas de la disminución de temperatura corporal, desde la aparición de los primeros síntomas, hasta antes de la muerte, están enumerados en la tabla 1.

c.- **Calor Excesivo. (Hipertermia).** Bucear en áreas tropicales puede exponer al buzo a un estrés de calor, tanto dentro como fuera del agua. La exposición al calor, previo a un buceo, puede producir una importante deshidratación, predisponiendo a un mayor riesgo, una vez que buzo entre al agua. Esto cobra más importancia si se debe usar un traje protector debido a contaminación en el medio ó por vida marina peligrosa. No existen reglas generales basadas en exposiciones tiempo / temperatura, pero es necesario considerar a la hipertermia como un riesgo potencial en aquellos buceos con temperaturas ambientales que excedan los 32 °C (90 °F) y una temperatura del agua superior a los 28 °C (82 °F).

1) **Factores de Estrés por Calor.** La magnitud del estrés por calor impuesto sobre un buzo depende de la temperatura del agua, duración del buceo, protección térmica del traje y esfuerzo al cual el buzo está sometido. El estrés por calor está relacionado con el aumento de la temperatura interna del organismo. Se considera que un individuo desarrolla una hipertermia cuando la temperatura interna alcanza 1 °C (1.8 °F) sobre lo normal (37 °C o 98.6 °F). La temperatura Interna máxima soportada en forma segura es de 39 °C (102,2 °F). Un buzo que use un traje húmedo mientras realiza un duro trabajo en agua fría, puede alcanzar el límite máximo, al igual que un buzo trabajando en aguas tibias sin protección térmica. Si durante la realización de un trabajo, un buzo siente calor é incomodidad, debe considerar el bajar el ritmo de trabajo ó limitar el tiempo de exposición.

Temperatura Interna ºC	ºF	Síntomas
37	98	Sensación de frío, vasoconstricción en la piel, aumento de la tensión muscular, aumento del consumo de oxígeno.
36	97	Movimientos musculares involuntarios (tiritones) esporádicos suprimidos por movimiento voluntario; aumento del consumo oxígeno; aumento de tiritones, gran aumento del consumo de oxígeno, tiritones incontrolables.
35	95	Límite de tolerancia voluntario en experimentos de laboratorio, confusión mental, falla en el proceso de racionamiento, posible ahogamiento
34	93	Pérdida de memoria, problemas para hablar, problemas en el sistema sensorial, problemas en el sistema motor.
33	91	Alucinaciones, pérdida parcial de la conciencia, alteraciones de los tiritones.
32	90	Irregularidades en el ritmo cardiaco, falla mayor en la coordinación motora.
31	88	Detención de los tiritones, falla en el reconocimiento de personas conocidas.
30	86	Rigidez muscular, no presenta respuesta al dolor.
29	84	Pérdida de conciencia.
27	80	Fibrilación Ventricular (contracción inefectiva) flaccidez muscular
26	79	Muerte

Tabla 1. Signos y Síntomas por disminución de la Temperatura interna.

Características individuales afectan el desarrollo de la hipertermia. Individuos con un estándar físico adecuado y aquellos con bajo nivel de grasa corporal son menos propensos a desarrollar hipertermia. Beber adecuadas cantidades de líquido reducen el riesgo, comparado con aquellos que tengan algún grado de deshidratación. Bebidas que contengan Alcohol o cafeína deben ser eliminados ya que producen deshidratación. Medicamentos que contengan antiestamínicos ó aspirina no deben ser usados en buceo en aguas templadas. La edad (entre 20 y 40 años), sexo y raza no alteran el riesgo a la hipertermia. El riesgo de desarrollar una intoxicación por oxígeno del SNC puede crecer en buceo de aguas templadas cuando se respira 100% de oxígeno, por lo que las precauciones deben maximizarse. No Existen evidencias de que el bucear en aguas templadas aumente o disminuya el riesgo en la aparición de una enfermedad de descompresión Inadecuada.

2) **Aclimatización.** Es el proceso en donde, por repetidas exposiciones al calor, se reducirá (pero no se eliminará) el aumento de la temperatura interna del organismo. A lo menos será necesario realizar cinco días consecutivos de climatización para un buceo en aguas templadas para ver resultados en el incremento de la tolerancia al calor. Ejercicios de entrenamiento son esenciales para producir una adecuada aclimatación. Donde sea posible, la climatización deberá ser completada antes de ejecutar un trabajo de buceo extenso. La climatización debe ser iniciada con cortas exposiciones y trabajos livianos. En los trabajos de buceo se requiere que todo el personal de apoyo también esté aclimatado. Un buzo, a pesar de estar completamente aclimatado, aún puede desarrollar hipertermia. Los beneficios de la climatización comienzan a desaparecer a entre 3 a 5 días después de suspender las exposiciones al agua tibia. La climatización se puede mantener por buceo ó nado en aguas tibias en los días en que el buzo no realice faenas de buceo.

3) **Síntomas de Hipertermia.** Los signos y síntomas de hipertermia pueden variar según los individuos. Es necesario considerar que no sólo el personal de buzos puede presentar síntomas, sino que además el personal de apoyo. La Tabla 2 lista signos y síntomas comúnmente encontrados por estrés de calor en el buceo.

Un nivel respiratorio más alto del que normalmente se espera para el grado de trabajo, es una advertencia primaria de hipertermia. Rangos de respiración excesivos mantenidos por más de 1 a 2 minutos, pueden producir mareos, contracciones musculares, dolor de cabeza ó inconsciencia.

Las habilidades mentales se deterioran con una temperatura corporal interna mayor a 38 °C (100,4 °F). La habilidad para aprender y retener nueva información será restringida. La capacidad natatoria y el comportamiento en el trabajo serán cada vez más erráticos. Al momento que la temperatura interna se acerca a los 38,9 °C (102 °F), podría producirse una gran confusión mental.

4) **Impacto de la Hipertermia en el Tiempo Total de Buceo.** Las probabilidades de tener una hipertermia aumenta con tiempos de buceo prolongados. La deshidratación puede ocurrir principalmente a través de la sudoración y a consecuencia de esta deshidratación, puede detenerse la eliminación de urina. Una pérdida de masa corporal de un Kg. después del buceo, indica una pérdida de un cuarto del agua corporal. Grandes pérdidas, como 2 Kg., indican una marcada deshidratación. Como resultado de ésta, pueden aparecer calambres musculares. Un rápido aumento en el pulso puede indicar una severa hipertermia. Los buzos pueden experimentar una sensación de acaloramiento, fatiga, desorientación ó mareos antes de que colapsen. Este colapso puede ocurrir repentinamente y sin presentar ningún síntoma.

   Los buzos pueden parecer físicamente funcionales en el agua, pero pueden colapsar al salir de ella. Por lo anterior, todo buzo que ha estado por más de una hora en el agua, debe ser asistido al salir de esta y monitoreado cuidadosamente. Si un buzo presenta mareos al estar de pie, debe ser recostado, administrarle una adecuada rehidratación y cesar el trabajo de buceo por 24 horas.

Menos Severo incomodidad.	Alta Frecuencia respiratoria. Sensación de aumento de temperatura corporal, Baja cantidad de urina. Inhabilidad de pensar claro. Natación o trabajo errático. Fatiga.
	Mareos o Dolor de cabeza suaves. Calambres Musculares. Aumento repentino de la frecuencia cardiaca. Desorientación, Confusión. Agotamiento extremo Colapso.
Más Grave	Muerte.

Figura 2. Signos de Estrés por Calor.

5) **Prevención de la Hipertermia.** Como la hipotermia, la hipertermia puede ser insidiosa y causar problemas sin que el buzo se de cuenta. La climatización, hidratación adecuada, experiencia y sentido común juegan un rol primordial en la prevención de la hipertermia. La protección personal contra el sol y el uso de la ropa adecuada es muy importante. Una adecuada hidratación antes de un buceo es esencial. Orinar 1 a 2 veces por hora, fijándose en que ésta sea pálida y clara, indica una adecuada hidratación. Los buzos stand by y personal de apoyo deben consumir cerca de ¼ de litro de líquido por hora en ambientes calurosos, recomendando frecuentes períodos de descanso.

d.- **Deshidratación.** La deshidratación es importante para los buzos, particularmente en zonas tropicales. La deshidratación está definida como una excesiva pérdida de agua desde los tejidos corporales y es acompañada de un desorden en el balance de los electrolitos, particularmente potasio y cloruro de sodio.

1) **Causas de la Deshidratación.** La deshidratación puede ocurrir por excesiva transpiración ó respiración de gases secos por períodos largos.

   La inmersión en el agua crea una condición semejante a un estado sin gravedad. En el peso corporal, la gradiente hidrostática y el sistema circulatorio son casi contrabalanceados por la presión ambiental del agua. Esto reduce el volumen de estancamiento de sangre en las venas de las piernas y resulta en un aumento en el volumen central de sangre, llevando a un incremento en la urinación (diuresis de inmersión). El aumento del fluido de orina lleva a una mayor pérdida de agua corporal durante el buceo.

2) **Prevención de la Hidratación.** La deshidratación puede producir un incremento en la incidencia de la enfermedad por descompresión. La prevención es el mejor remedio. Los buzos deben aumentar la ingesta de fluidos durante las operaciones de buceo para mantenerse bien hidratados.

e.- **Hipoglicemia.** Es una baja anormal de azúcar en la sangre (glucosa). Esta condición no produce fallas respiratorias, pero las implica ó induce a confusión. El azúcar, derivada de las comidas, es el principal combustible del cuerpo. Es llevada a los tejidos por la sangre y si este flujo baja ó decae, la función de los tejidos es afectada.

1) **Síntomas de Hipoglucemia.** El cerebro es especialmente sensible a la falta de glucosa. Los síntomas altamente variables se pueden confundir con aquellas condiciones en las que el cerebro es afectado por enfermedades relativas al buceo, incluyendo intoxicación y envenenamiento por dióxido de carbono, hipoxia y un embolia gaseosa Traumática. Alguno de los síntomas comunes son hambre inusual, sudoración excesiva, pérdida de sensibilidad, dolor de cabeza, confusión, pérdida de conciencia y convulsiones.

2) **Causas de la Hipoglucemia.** Existen varias causas posibles de hipoglucemia. La simple acción de no comer, tiende a reducir el nivel de azúcar, pero el cuerpo normalmente puede suplir esto desde sus reservas y mantener un nivel adecuado. Algunas personas que tienen buena salud, desarrollan algún grado de hipoglucemia si no comen frecuentemente. El ejercicio severo con el estómago vacío ocasiona la aparición de síntomas, aún cuando la persona no presente anormalidades en este aspecto. Normalmente, el cuerpo segrega insulina cuando se requiere usar o almacenar glucosa. Los diabéticos no segregan suficiente insulina, por lo que tienen un exceso de glucosa en la sangre. Ellos deben inyectarse la insulina para evitar los síntomas de la enfermedad y mantener un nivel adecuado de azúcar en la sangre. Si toman demasiada insulina ó poca y se ven afectados por alguna situación fuerte ó trabajo duro, tienen una alta posibilidad de desarrollar una seria hipoglucemia. Por esta razón, el buceo es considerada una actividad riesgosa para los diabéticos.

3) **Prevención de la Hipoglucemia.** La posibilidad ocurrencia de una hipoglucemia se incrementa durante un largo y profundo operativo de buceo. El personal tiene tendencia a saltarse las comidas, efectuando ranchos rápidos y desordenados durante las operaciones. Por esta razón, la prevención a través de la propia nutrición es el mejor remedio. Previo a los largos, fríos y arduos buceos, los buzos deben estar fortalecidos por una buena cantidad de carbohidratos. Un buzo que con frecuencia experimente debilidad (u otros síntomas mencionados) cuando pierde sus comidas, debe tener un examen físico para determinar la causa de la hipoglucemia y ver si es susceptible a ella. Si se presenta un cuadro de hipoglucemia, debe darse azúcar por la boca ó si el buzo está inconsciente, por medio intravenoso, lo que aliviará los síntomas y probará que el diagnóstico fue apropiado.

3-12.5.2 Causas de la Hipoglicemia. Existen varias causas posibles de hipoglicemia. La simple acción de no comer, tiende a reducir el nivel de azúcar, pero el cuerpo normalmente puede suplir esto con sus reservas y mantener un nivel adecuado. Algunas personas que tienen buena salud, desarrollan algún grado de hipoglicemia si no comen frecuentemente. El ejercicio severo con el estómago vacío ocasiona la aparición de síntomas, aún cuando la persona no presente anormalidades en este aspecto. Normalmente, el cuerpo segrega insulina cuando se requiere usar o almacenar glucosa. Los diabéticos no segregan suficiente insulina y tienen un exceso de glucosa su sangre. Ellos deben inyectarse la insulina para evitar los síntomas de la enfermedad y mantener un nivel adecuado de azúcar en la sangre. Si toman demasiada insulina o poca y se ven afectados por alguna situación fuerte o trabajo duro, tienen una alta posibilidad de desarrollar una seria hipoglicemia. Por esta razón, el buceo es considerado una actividad riesgosa para los diabéticos.

3-12.5.3 Prevención de la Hipoglicemia. La posibilidad de hipoglicemia se incrementa durante un operativo de buceo largo y profundo. El personal tiene tendencia a saltarse las comidas, efectuando ranchos rápidos y desordenados durante las operaciones. Por esta razón, la prevención a través de la adecuada nutrición es el mejor remedio. Previos a buceos largos, fríos y arduos buceos, los buzos deben estar fortalecidos por una buena cantidad de carbohidratos. Un buzo que con frecuencia experimente debilidad (u otros de los síntomas mencionados) cuando omite sus comidas, debería efectuarse un examen físico para determinar si la hipoglicemia es la causa y si él es particularmente susceptible a ella. Si la hipoglicemia está presente, debe darse azúcar por boca (ó si el buzo está inconsciente, por medio intravenoso) lo que aliviará los síntomas y probará que el diagnóstico fue apropiado.

TRATADO 4

SISTEMAS DE BUCEO

40101. INTRODUCCIÓN

a.- **Propósito.** El propósito de este capítulo es promulgar las políticas generales para la mantención de los equipos y sistemas de buceo.

b.- **Alcance.** Este capítulo provee una guía general aplicable a la mantención de todos los equipos y sistemas de buceo. Los procedimientos detallados para la mantención de los equipos y sistemas de buceo son encontrados en los Manuales y Directivas Técnicas de la Armada y manuales de los fabricantes, y en el Sistema Planificado de Mantención (Simpla).

40102. INFORMACIÓN GENERAL

a.- **Precedencia de la documentación.** Si se produce un conflicto entre los documentos que contienen los procedimientos de mantención para el equipamiento y los sistemas de buceo, se requieren las siguientes acciones:

- Precede el Manual del Fabricante.

- Si las Tarjetas de Mantención son inadecuadas o incorrectas, el Manual del fabricante o Directiva correspondiente toma precedencia. Se debe reportar la discrepancia al Servicio de Mantenimiento de la Armada con informativo a la DIRISNAV.

  Llamar DIRISNAV antes de descartar cualquier procedimiento requerido de mantención sobre equipos de buceo certificados. La falla en hacer esto puede comprometer la seguridad del personal.

b.- **Equipamiento Naval autorizado para uso ARMADA (ENA)**. El equipamiento de buceo usado para conducir las operaciones de buceo militar debe ser autorizado por la Dirección de Ingeniería de la Armada (DIRISNAV). Este listado se encuentra publicado en las Directivas DIRISNAV y debe ser cumplido adecuadamente.

c.- **Sistemas de mantención planificada**. El equipamiento de buceo deberá ser mantenido de acuerdo a la programación e instrucciones emanadas desde el Servicio de Mantenimiento de la Armada.

d.- **Alteraciones al equipamiento de buceo**. El equipamiento de buceo no debe ser modificado o alterado, a menos que se haya otorgado previamente una aprobación escrita por la DIRISNAV.

e.- **Procedimientos de operación y emergencia**. Los procedimientos de operación (PO) son hojas de chequeo detalladas para la operación de los sistemas de buceo y para realizar varias tareas relacionadas al sistema. Todos los sistemas de buceo y cámaras de recompresión deben ser operados de acuerdo con un set de procedimientos de operación (PO) y procedimientos de operación de emergencia (PE) aprobados por el Comando de Entrenamiento de la Armada (CENTARM) y requiere la firma del Oficial de Cargo.

1) **PO y PE estandarizados.** El equipamiento de buceo estandarizado, tal como el equipamiento autónomo de circuito abierto (SCUBA) o buceo asistido, deben ser operados mediante un set único estandarizado de OP y EP que están incluidos como parte del Manual de operación del sistema.

Los cambios propuestos o actualizaciones a las PO / PE para equipamiento de buceo deben ser remitidos como una proposición formal de cambio al CENTARM.

2) **PO y PE no estandarizados.** El equipamiento de buceo y de apoyo tales como buceo gas mezclado, operaciones especiales y los sistemas de cámaras hiperbáricas deben ser confeccionadas por el usuario y remitidas para la aprobación actualizaciones de las PO / PE a la autoridad aprobatoria respectiva.

40103. ESTÁNDARES DE PUREZA DEL GAS DE RESPIRACIÓN PARA BUCEO.

a.- **Aire de respiración de los buzos.** El aire de los buzos debe alcanzar los Estándares de Aire de Respiración requeridos para cumplir la Norma DIN 3188.

El aire de respiración de los buzos puede ser obtenido de fuentes comerciales en caso de que no exista disponibilidad de equipamiento de la Armada. El aire para buzos provisto por fuentes comerciales debe ser certificado por escrito y el proveedor debe alcanzar los estándares de pureza de aire FED SPEC BB-A-1034 Grado A Fuente I (recipiente presurizado) o Fuente II (compresor).

Las especificaciones para este estándar están delineadas en la Tabla 4-2.

Constituyente	Especificación
Oxígeno (porcentaje por volumen)	20-22%
Dióxido de Carbono (por volumen)	1,000 ppm (máx.)
Monóxido de Carbono (por volumen)	20 ppm (máx.)
Hidrocarburos Total (como CH_4 por volumen)	25 ppm (máx.)
Olor y Gusto	No detectable
Aceite, humedad y, partículas	5 mg/m3 (máx.)

Tabla 1. Requerimientos de pureza del aire comprimido para buzos.

b.- **Oxígeno de respiración de los buzos.** El oxígeno usado para la respiración en concentraciones del 100% para mezcla de gases de respiración de los buzos deben alcanzar las especificaciones militares MIL-O-27210F, Oxígeno, Respiración de Aviadores, líquidos y gaseosos. Los estándares de pureza están contenidos en la Tabla 3.

Constituyentes	Especificación Fuente I Fuente II
Oxígeno (% por volumen)	20-22%
Dióxido de Carbono (por volumen)	500 ppm (máx.)
Monóxido de Carbono (por volumen)	10 ppm (máx.)
Hidrocarburos Total (como metano (CH_4) por	25 ppm (máx.)
Olor	No detectable
Aceite, humedad, partículas	005 mg/1 (máx.)
Agua separada	No
Agua total	0.02 mg/1 (máx.)
Compuestos halogenados (por volumen)	
Solventes	0.2 ppm (máx.)
Referencia : FED SPEC BB-A-1034 B	

Tabla 2. Requerimientos del aire comprimido para fuentes comerciales.

c.- **Helio de respiración de los buzos.** El helio usado para el gas de respiración de los buzos debe alcanzar la especificación militar MIL-P-27407B “Propellant Pressurizing Agent Helium” tipo I Grado Gaseoso B, Helio respirable. Los estándares de pureza están contenidos en la Tabla 4.

Constituyente	Especificación
Nota General : El porcentaje de Oxígeno líquido o gaseoso no debe ser inferior al 99.5% por volumen. La diferencia, excepto humedad y constituyentes menores especificados en la presente tabla, deben ser Argón o Nitrógeno.	
Tipo I	**Gaseoso**
Oxígeno (% por volumen)	99.5%
Dióxido de Carbono (por volumen)	10 ppm (máx.)
Metano (CH_4 por volumen)	50 ppm (máx.)
Acetileno (C_2 H_2)	0.1 ppm (máx.)
Etileno (C_2 H_4)	0.4 ppm (máx.)
Etano (C_2 H_6 y otros Hidrocarburos)	6.0 ppm (máx.)
Óxido Nitroso (N_2 O por volumen)	4.0 ppm (máx.)
Compuestos halogenados (por volumen)	
Refrigerantes	2.0 ppm (máx.)
Solventes	0.2 ppm (máx.)
Humedad (vapor de agua medida ppm o	7 ppm (máx.)
mediciones en punto de condensación	>=83 ºF
Olor	Libre de olor
Referencia : Especificación militar MIL-O-27210F	

Tipo II	Líquido
Oxígeno (% por volumen)	99.5%
Dióxido de Carbono (por volumen)	5 ppm (máx.)
Metano (CH_4 por volumen)	25 ppm (máx.)
Acetileno (C_2 H_2)	0.05 ppm (máx.)
Etileno (C_2 H_4)	0.2 ppm (máx.)
Etano (C_2 H_6 y otros Hidrocarburos)	3.0 ppm (máx.)
Óxido Nitroso (N_2 O por volumen)	2.0 ppm (máx.)
Compuestos halogenados (por volumen):	
Refrigerantes	1.0 ppm (máx.)
Solventes	0.10 ppm (máx.)
Humedad (vapor de agua medida ppm o	7 ppm (màx.)
mediciones en punto de condensación	>=83 ºF
Olor	Libre de olor
Referencia : Especificación militar MIL-O-27210F	

Tabla 3. Requerimientos de pureza del aire comprimido para buzos.

d.- **Nitrógeno de respiración de los buzos.** El nitrógeno usado para el gas de respiración de los buzos debe alcanzar la Especificación Técnica Federal BB-N-411C Nitrógeno. Los estándares de pureza están contenidos en la Tabla 5.

Constituyente	**Especificación**
Helio (Porcentaje por volumen)	99.997%
Humedad (vapor de agua)	7 ppm (max.)
punto de condensación (no mayor que)	-78 ºF
Hidrocarburos (como metano)	1 ppm (máx.)
Oxígeno	3 ppm (máx.)
Nitrógeno + Argón	5 ppm (máx.)
Neón	23 ppm (máx.)
Hidrógeno	1 ppm (máx.)
Referencia Especificación Militar MIL – PRF – 27407B	

Tabla 4. Requerimientos de pureza para el Helio comprimido de respiración.

Clase I libre aceite, Tipo I Gaseoso y Tipo II líquido			
	Especificación / Grado		
Constituyente	**A**	**B**	**C**
Nitrógeno	99.5%	99.5%	99.5%
Oxígeno	0.05%	0.50%	0.50%
Humedad (vapor de agua)	02 mg/1	02 mg/1	*
Hidrocarburos totales	50 ppm	50 ppm	50 ppm
Olor	No	No	No
* No existe limitación característica.			
Nota : Nitrógeno tipo I no debe contener ningún tipo de partículas con dimensiones mayores a 50 micrones. Esto debe ser asegurado por el uso de filtros de a lo menos 10 micrones lo más cerca posible del manifold de carga.			
Referencia : Especificación Federal BB-N-411C			

Tabla 5. Requerimientos de pureza para el Nitrógeno comprimido de respiración

40104. PROGRAMA DE MUESTRAS DEL AIRE PARA BUZOS.

La Dirección de Sanidad de la Armada maneja el programa de muestras del aire de respiración de los buzos de acuerdo norma DIN 3188. El propósito de este programa de muestras de aire es:

- Proveer soporte técnico para la programación de la operación y mantención de los compresores de aire de respiración y los sistemas de almacenamiento de aire de respiración.

- Proveer una guía general relativa al uso de fuentes comerciales locales de muestras de aire, incluyendo la evaluación de las capacidades y equipamiento de las muestras de aire comercial.

- Certificar sistemas de purificación y recarga de equipos de aire comprimido para uso humano.

a.- Requerimientos de mantención. Tomar muestras periódicas de aire es una acción requerida de mantención y deberá ser realizada de acuerdo con la tarjeta de manutención del compresor o sistema que esté produciendo el aire de respiración del buzo. Cada fuente de aire para buceo, debe ser muestreada aproximadamente cada seis meses (dentro del intervalo de 4 a 8 meses después de la última ejecución), cuando se sospeche de contaminación o después de la reparación del sistema.

No debe usarse un compresor del cual se sospecha la producción de aire contaminado o que ha fallado un análisis de muestra de aire hasta que la causa del problema haya sido corregida y se haya obtenido un análisis satisfactorio de una muestra de aire, validando la producción de aire aceptable.

Los sistemas de buceo que no tengan un compresor de aire de alta presión (HP) certificado por la DIRECSAN, deben ser cargados sólo con aire producido por un compresor HP registrado en la lista ENA y debe tener toda la mantención aplicable al día, incluyendo los requerimientos para las muestras de aire. Los bancos de aire de alta presión no necesitan ser muestreados a menos que se sospeche de contaminación.

El aire utilizado desde los bancos de almacenamiento HP de buques y submarinos para uso en el aire de respiración para buceo debe ser muestreado de acuerdo con los requerimientos del SIMPLA.

La Tabla 1 muestra los requerimientos mínimos de pureza para el aire de buceo producido por compresores de aire aprobados y certificados por la lista ENA. Los servicios de muestreo de aire pueden ser solicitado a la Dirección de Sanidad u obtenidos localmente desde instalaciones de análisis de aire comerciales certificadas.

NOTA: Los reportes del análisis de muestra de aire deben mantenerse en los historiales de cada compresor aire de respiración para buceo (de acuerdo al número de serie del compresor).

b.- Procedimiento general de muestreo de aire. La siguiente información general es provista para asistir a los mandos en el manejo de los programas de análisis de muestras de aire.

- Verificar que toda la mantención del compresor y los sistemas asociados de filtración haya sido ejecutada correctamente.

- Cuando se efectúen muestras a sistemas de carga de HP, se deben tomar muestras separadas de cada compresor que alimente al sistema. Las muestras deben tomarse lo más cerca posible del compresor, pero a continuación del último filtro (separador de humedad, aceite, etc.) Algunos sistemas no tienen fittings que permitan la toma de muestras en otra ubicación que no sea la conexión de carga. En este caso, el sistema debe ser purgado con aire desde el compresor a ser analizado y las muestras tomadas en la conexión de carga.

- Cuando se muestrea un sistema de respiración de aire de baja presión (LP), las muestras deben ser tomadas de cada compresor LP conectado al sistema. Las muestras deben ser tomadas tan cerca del compresor como sea posible, pero a continuación del último filtro instalado (separador de humedad, aceite, etc). Algunos sistemas no poseen fittings que permitan tomar muestras en otra conexión que no sea el manifold del buzo. En este caso, las fuentes de HP deben ser aisladas del sistema de LP, el sistema purgado con aire desde el compresor LP a ser analizado, y la muestra obtenida desde el manifold del buzo.

  NOTA: La falla en el correcto purgado del sistema, producirá errores en el resultado de la muestra.

- Asegurar que el compresor que está siendo analizado haya alcanzado el nivel máximo de operación (apropiada temperatura de operación, presión de aceite y presión de aire) y que está adecuadamente alineado para enviar aire al equipo de muestreo.
- Verificar que la toma del compresor esté libre de cualquier fuente potencial externa de contaminación.

- Siga los procedimientos de toma de muestra correspondiente al equipo utilizado.

- Siga las instrucciones de operación del equipo de muestreo de aire.

c.- Servicios de muestreo de aire local. Se requiere de los mandos que costeen los servicios de muestreo de aire provistos localmente. Las instalaciones de muestreo locales deben ser capaces de analizar los estándares de pureza de aire establecido por la DIRECSAN.

40105. COMPRESORES DE BUCEO.

a.- Requerimientos de equipos. Los compresores usados para proveer aire de buceo o transferir oxígeno o mezclas de gases deben estar registrados en la Lista ENA o ser un elemento de un sistema de buceo certificado.

b.- Sistemas de filtración de aire. Los compresores de buceo militares deben estar equipados con un sistema de filtración de aire registrado en la lista ENA o ser un elemento de un sistema de buceo certificado. El término sistema de filtración de aire es usado aquí inclusive, refiriéndose colectivamente al sistema de filtros, separadores de humedad, purificación, enfriamiento y equipos deshidratadores del sistema de gas comprimido.

c.- Lubricación. Los compresores usados para producir el aire de buceo militar son normalmente recíprocos y pueden tener de 2 a 5 etapas. Estos compresores requieren ser lubricados por aceite para:

- Prevenir el desgaste por efecto de la fricción.

- Ayudar en el proceso de compresión.

- Proteger contra la corrosión.

- Transferir calor desde las superficies productoras de calor.

- Transferir las minúsculas partículas generadas en el desgaste normal del sistema al cárter o al filtro de aceite.

Un compresor lubricado con aceite en mal estado posee un alto riesgo de producir aire contaminado. La contaminación puede ocurrir debido a que exista una película excesiva de aceite pasando por el compresor debido a una tolerancia exagerada, partes rotas o exceso de aceite.

También pueden producirse hidrocarburos gaseosos y monóxido de carbono si el compresor se sobrecalienta al punto de causar la combustión del aceite lubricante y / o empaquetadura u otros materiales ligeros en el compresor. El sobrecalentamiento de un compresor puede ser causado por un sinnúmero de eventos, tales como: Pérdida del agua o aire de enfriamiento, bajo nivel de aceite, mal estado de las válvulas de alivio, fricción debida a piezas rotas o excesivamente gastadas y / o la operación del compresor a RPM superior a su capacidad nominal.

Los sistemas de filtración de aire son diseñados para trabajar con los compresores funcionando bajo condiciones normales, y no puede filtrar adecuadamente cuando un compresor está funcionando mal.

AVISO: No use un compresor con mal funcionamiento para comprimir aire de respiración de buceo o cargue los acumuladores de aire de un buzo, ya que esto puede resultar en peligro de muerte para el buzo.

Los lubricantes utilizados en los compresores de aire de buceo deben cumplir con MIL-L-17331 (2190TEP) para operaciones normales o con MIL-H-17672 (2135TH) para operaciones en climas fríos. Cuando el fabricante del compresor específicamente recomiende el uso de un aceite con base sintética en sus compresores para aire de respiración, este aceite debe estar dentro de los aceites en MIL-L-17331 o MIL-H-17672. El aceite debe ser renovado en los compresores estrictamente de acuerdo a los requerimientos del SIMPLA.

40106. MANÓMETROS DE BUCEO.

a.- La selección de los manómetros de buceo. Seleccionar un manómetro cuya escala total de lectura sea un 130 o 160 % de la máxima presión de operación del sistema. Siguiendo esa idea, un manómetro con una escala total de lectura de 4000 o 5000 psi sería satisfactorio para instalar en un sistema con una máxima presión de operación de 3000 psi.

Seleccionar la precisión y certeza de un manómetro debe basarse en el tipo de sistema y el cómo se usará el manómetro. Por ejemplo, no se requiere un alto nivel de precisión en los manómetros de un banco de aire donde se requiere determinar cuanto aire queda en el banco o cuando detener el compresor de carga. Sin embargo, se requiere una precisión considerable (1/4 del 1% de la escala completa para operaciones de buceo de saturación y 1% de una escala completa para operaciones de buceo asistido) para manómetros que indican la profundidad de un buzo (Neumofatómetros o manómetros de profundidad para cámaras hiperbáricas). La precisión del manómetro de profundidad es crítica al seleccionar la tabla apropiada de descompresión o tratamiento.

Muchos manómetros están provistos de un Tapón de Seguridad en la cara posterior. El tapón de seguridad protege al operador en el caso de una falla del Tubo de Bourdon por sobre presurización, al evitar la explosión del frente del manómetro. El tapón no debe estar obstruido por trincas u otros elementos de quincallería.

Todos los manómetros en un sistema de buceo deben estar provistos de válvulas de corte y fittings de calibración. Si un manómetro falla durante una operación, la válvula de corte se cierra y previene la pérdida de presión del sistema.

b.- Calibración y mantención de manómetros. Todos los manómetros fijos y portátiles (manómetros de presión de estanque, estanques sumergibles y manómetros portátiles de prueba) en uso, deben ser calibrados o comparados de a cuerdo al Sistema Planificado de Mantención a menos que se requiera una reparación o calibración previa. Los manómetros calibrados en desuso deben ser mantenidos en un ambiente limpio, seco y libre de vibraciones.

Los datos de calibración y comparación deben incluir las fechas del último chequeo satisfactorio, la fecha de realización de la próxima calibración y la actividad que conlleva esta calibración. Las etiquetas pegadas al visor del manómetro son suficientes para registrar estos datos.

Cuando se limpian los sistemas de oxígeno, los manómetros deben ser removidos y limpiados en forma separada, asegurando primero haber limpiado los ductos de los manómetros. Esto asegurará que la línea de manómetros sea completamente evacuada. Todos los manómetros deben ser removidos del sistema antes del proceso de limpieza para evitar tener puntos muertos o dañar los manómetros por la solución de limpieza.

Los manómetros son instrumentos delicados que pueden ser dañados por vibración, golpe o impacto. Deben ser ubicados en lugares que minimicen estos factores y deben siempre montarse sobre tableros, paneles o estantes. La copla de conexión no debe ser el único soporte del manómetro. Un manómetro puede ser seriamente dañado por las rápidas pulsaciones del sistema cuando se mide la presión de fluido. Cuando existe esta condición, debe ser instalada una protección entre el manómetro y la válvula de corte, para proteger el instrumento. La mayoría de los manómetros no son resistentes al agua, y no están diseñados para el uso en el ambiente marino. Envolventes de plástico acrílico transparente puede ser usada para proteger los manómetros del agua del rocío marino. Sin embargo, la envoltura debe tener vías de ventilación para permitir que la presión atmosférica actúe sobre los elementos sensores del manómetro.

c.- Manómetro de Tubo helicoidal de Bourdon. Los fabricantes hacen dos tipos básicos de manómetros de tubo helicoidal de Bourdon para uso en cámaras hiperbáricas y sistemas de buceo asistido. Uno es un manómetro caisson con dos conectores en el dorso. El conector de referencia (el cual está tapado) está sellado con presión ambiental o está conectado al exterior de la cámara hiperbárica. El conector que permite sensar se deja abierto a la presión interior. El otro manómetro es el exterior estándar.

Ambos son instrumentos de lectura directa que emplean el tubo helicoidal de Bourdon como el elemento sensor. Los manómetros poseen una precisión de hasta 1/4 de 1% de la escala completa de presión, en todos los puntos del dial. Sin transmisiones o vínculos, el movimiento no es afectado por el desgaste y la precisión y calibración inicial permanece constante.

Un chequeo comparativo en forma de recalibración debe ser hecha de acuerdo al Sistema Planificado de Mantención. Un tornillo de ajuste del dial, en la cara frontal del manómetro, provee el ajuste del punto “0” o de fijación de presiones especiales. Las unidades de lecturas desde el dial pueden ser libras por pulgada cuadrada (psi) pies de agua salada (fsw), metros de agua salada o / y atmósferas.

40107. MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE GASES COMPRIMIDOS.

El manejo y almacenamiento de gases comprimidos son parte inherente de prácticamente todas las actividades de buceo, ya sea conducida con SCUBA o buceo asistido. Es imperativo que los buzos estén familiarizados con los aspectos de seguridad en el manejo de gas comprimido. El gas comprimido para buceo debe ser almacenado en cilindros que cumplan normas militares (MIL - STD) o aprobados por DOT o recipientes ASME de acuerdo a los niveles de presión y al tipo de gas que será almacenado.

El gas comprimido debe ser transportado en cilindros que cumplan con las regulaciones del Ministerio de transporte aplicables al gas comprimido que se maneje. Los cilindros aprobados tiene un numero de serie, un timbre de inspección, un rango de presiones, la fecha de la última prueba hidrostática, están equipados con válvulas adecuadas y tienen el código de color apropiado.

Remítase a las siguientes referencias para una información más detallada sobre el manejo y almacenamiento de gas comprimido:

- Industrial Gases, Generating, Handling and Storage, NAVSEA Tecnhical Manual S9086-SX-STM-000/CH-550.

- American and Canadian Standard Compressed- Gas Cylinder Valve Outlet and Intel Connections (ANSI- B57.1 and CSA- B96).

- American National Standard Method of Marking portable Compressed-Gas Containers to Identify the Material Contained (Z48.1).

- Guide to the Preparation of Precautionary Labeling and Marking of Compressed Gas Cylinders (CGA Pamphlet C-7)

TRATADO 5

OPERACIONES DE BUCEO ASISTIDO CON AIRE

50101. INTRODUCCIÓN.

a.- **Propósito.** El Buceo Asistido incluye todas las formas de buceo en donde el aire es proporcionado desde la superficie a través de un **UMBILICAL**. Los Sistemas Navales de Suministro de Aire de Superficie (SBA) son usados hasta una profundidad normal de 58 metros (190 pies) de profundidad, pudendo llegar en forma excepcional a 87 metros.

b.- **Perspectiva.** Este capítulo identifica el equipo requerido y los procedimientos para usar los equipos Superlite 17 K/B y la máscara completa EXO-26.

50102. SUPERLITE 17 K/B

El casco Superlite 17 K ó B es un equipo de circuito abierto, que utiliza un regulador de demanda, posee comunicaciones y gracias a su diseño integral entrega una adecuada protección al buzo (figura 8-1). La profundidad máxima normal de trabajo para operaciones de buceo usando el casco Superlite 17 K ó B con aire es de 58 metros (190 pies) y en caso de su uso sin un Suministro de Aire de Emergencia (SAE) puede ser usado hasta los 18 metros (60 pies). El uso de SAE es obligatorio a profundidades mayores de 60 pies o cuando se realicen faenas de buceo en espacios confinados. En este caso el Supervisor de Buceo puede escoger el uso de SAE que sea parte del buzo ó utilizar uno con mangueras de extensión localizado fuera del espacio confinado. Para buceos a profundidades mayores a 58 metros se debe contar con la autorización de la DIRISNAV.

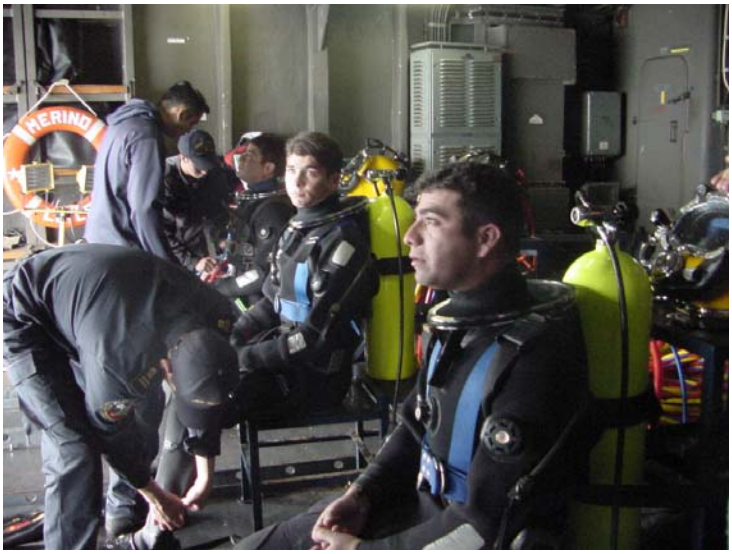


Figura 1. Sistema de buceo Asistido con casco Superlite 17 K.

a.- **Operación y Mantención.** Para mantener un servicio regular y seguro, el casco Superlite 17 K debe ser mantenido y reparado de acuerdo con los procedimientos descritos en el manual técnico de Operación y Mantención.

b.- **Suministro de Aire.** El aire para el casco SUPERLITE 17 K/B es suministrado desde la superficie por un compresor ó acumuladores de alta presión que son descritos en el párrafo 8-6.2.3.

1) **Requerimientos de Suministro de Aire de Emergencia.** La válvula de respiración de emergencia del casco provee de un paso de aire paralelo a la válvula de no-retorno y permite hacer firme la manguera de conexión. El sistema SAE consiste de una monobotella de a lo menos 72. pies cúbicos con válvula sin reserva , un primer estado de un regulador ajustado a 135 más menos 5 psi sobre la presión de fondo y una manguera de conexión a la válvula de suministro de emergencia sobre el manifold del casco. Para evitar daños en la manguera de conexión, el primer estado debe estar equipado con una válvula de sobrepresión ajustada a 180 más menos 5 psi sobre la presión de fondo. También se requiere un manómetro sumergible para indicar la presión de la botella de emergencia.

Cuando se usa un SAE con una manguera de hasta a 100 pies de longitud, ajuste la presión de descarga del regulador a la presión recomendada del fabricante, pero nunca menos de 135 psi. Si debido a las condiciones de espacio o buceo debe dejar el SAE en superficie, ajuste 150 psi.

2) **Requerimientos de Flujo.** Cuando se usa el modelo SUPERLITE 17 K/B, el suministro de aire debe tener la capacidad de proveer al buzo un promedio sostenido de flujo de aire de 1.4 acfm. El consumo de aire durante un buceo usando el SUPERLITE 17 K/B varía entre 0.75 y 1.5 acfm cuando es usado en modo de demanda y sólo efectuando uso ocasional de la válvula frontal. Cuando es usado en flujo libre, puede alcanzar un consumo de más de 8 acfm.

NOTA: Cuando planee un buceo, los cálculos para determinar los volúmenes de aire se debe utilizar 1.4 acfm.

Para entregar un soporte de aire satisfactorio al casco SUPERLITE 17 K/B, se debe contar con una fuente que:

- Sea capaz de renovar el aire con la misma velocidad que es consumido (promedio de consumo por buzo).
- Sea capaz de mantener la presión requerida.
- Sea capaz entregar el flujo máximo que pueda consumir el buzo (8 acfm por buzo).

3) **Requerimientos de Presión.** Porque el casco SUPERLITE 17 K/B es un sistema tipo demanda, el regulador tiene una presión sobre fondo óptima que disminuye la resistencia respiratoria y reduce la posibilidad de sobre-respirar el regulador (demandando más aire que el sistema es capaz de entregar). La presión óptima sobre fondo para todo buceo inferior a 130 pies es de 135 psi. Para sistemas que no pueden mantener 135 psig y el buceo es inferior a 18 metros se puede aceptar presiones de 90 psi. Los requerimientos de presión para buceos entre 40 y 58 metros es de 165 psi. Para los sistemas que no sean capaces de mantener 165 psi sobre la presión de fondo por problemas de diseño es posible aceptar una presión de 135 psi sobre la presión de fondo.

Esto asegura que el suministro de aire será enviado a la suficiente presión pana vencer la presión ejercida por la columna de agua en fondo marino y la caída de presión en el umbilical y equipo.

Ejemplo 1. Determine la presión del manifold para un buceo con el SUPERLITE 17 K/B a 175 pies de profundidad.

Determinar la presión de fondo a 175 pies:

Presión de fondo a 175 pies = 175 x 0,445 psi
= 77,87 psig (redondee a 78 psig).

Determine la presión requerida sobre el fondo para el SUPERLITE 17 K/B (ver parágrafo 8-2.2.3). Debido a que la profundidad de operación es de 175 pies, corresponde una presión sobre el fondo es de 165 psig.

Calcule la presión mínima del manifold (PMM), sumando ambas presiones:

PMM = 78 psig + 165 psig
PMM = 243 psig

La presión mínima del manifold para un buceo a 175 pies debe ser de 243 psig.

Ejemplo 2. Determinar si el aire desde dos acumuladores de alta presión son capaces de soportar a dos buzos con SUPERLITE 17 K/B y a un buzo Stand by a una profundidad de 130 pies por 30 minutos. Hay 5 acumuladores de alta presión en el banco; solo 4 están en línea. Cada acumulador tiene un volumen interno de 8 pies cúbicos y es cargado a 3.000 psig.

NOTA: Estos cálculos están basados en un promedio de 1.4 acfm de aire consumido por un buzo sobre el tiempo total de buceo. Se puede esperar un consumo mayor sobre cortos períodos, dependiendo del rango de trabajo del buzo.

Calcule el promedio mínimo de presión (PMM):

PMM (psig) = (0,445 x D) + 165 psig
= (0,445 x 130) + 165 psig
= 222.85 psig (Aproxime a 223 psig).

Calcule los pies cúbicos estándar (scf) de aire disponible. La fórmula para calcular el scf de aire disponible es:

$$\text{scf disponible} = \frac{Pf - (Pmf + PMM)}{14.7} \times V \times N$$

Donde:

Pa = presión del acumulador = 3.000 psig
Pma = presión mínima del acumulador = 220 psig
PMM = 223 psig
V = volumen interno de los acumuladores = 8 cft
N = Número de tanques = 4

$$\text{scf} = \frac{3000 - (220 + 223)}{14.7} \times 8 \times 4$$

= 5566.26 scf (puntaje bajo 5566)

Calcule los scf de aire requerido para ejecutar el buceo. Usted necesitará calcular el aire requerido para el tiempo de fondo, el aire requerido para cada parada de descompresión y el aire requerido para el ascenso. La fórmula para calcular el aire requerido es:

$$\text{scf requerido} = \frac{D + 33}{33} \times V \times N \times T$$

Donde :

D = profundidad (pies)
V = acfm necesario por buzo
N = número de buzos
T = tiempo en el fondo (minutos)

Tiempo de Profundidad: 30 minutos.

$$\text{scf requerido} = \frac{130 + 33}{33} \times 1.4 \times 3 \times 30$$

= 622.36 scf

Paradas de descompresión: Un buzo a 130 pies por 30 minutos requiere las siguientes paradas de descompresión:

3 minutos a 20 pies

scf requerido $= \frac{20+33}{33} \times 1.4 \times 3 \times 3$

$= 20.24$

18 minutos a 10 pies

$\frac{10+33}{33} \times 1.4 \times 3 \times 18$

$= 98.51$ scf

Tiempo de Ascenso: 5 minutos (aproximado de 4 minutos 20 segundos) desde 130 pies a la superficie con una velocidad de ascenso de 30 fpm.

profundidad promedio = 130/2 = 65 pies

scf requerido $= \frac{65+33}{33} \times 1.4 \times 3 \times 5$

$= 62.36$ scf

Total de Aire requerido = 622.36 + 20.24 + 98.51 + 62.36

= 803.48 scf (se aproxima a 804 scf).

Calcule el aire remanente en los acumuladores para verificar la disponibilidad de suministro de aire para realizar el buceo.

scf remanente = scf disponible - scf requerido

= 5609 scf - 804 scf

= 4805 scf

Existe una cantidad más que suficiente de aire disponible en los acumuladores para realizar el buceo.

NOTA : El consumo real variará del consumo de aire estimado, debido a para los cálculos se toma en cuenta al buzo Stand by como que estuviera en el agua durante todo el buceo. El supervisor debe tomar nota del volumen y presión inicial, continuando con el monitoreo del consumo a través del buceo. Si el consumo actual excede lo planeado, el Supervisor debe suspender el buceo en orden a asegurar la existencia del aire necesario para completar la descompresión.

50103. MÁSCARA COMPLETA EXO-26

La máscara completa EXO-26 es un equipo consistente de una máscara completa, componentes de comunicación, arnés y conexiones para umbilical (figura 8-2). Uno de sus usos primarios es en espacios confinados, como en tanques de lastre o combustible. La máscara completa EXO-26 está autorizado para ser usado hasta profundidades de 18 metros sin SAE, en caso de buceo confinados o buceos hasta 58 metros requiere portar un SAE.

a.- **Operación y Mantención.** Las condiciones de seguridad, procedimientos de emergencia y mantenimiento son cubiertos en el Manual de Instrucción de Operación y Manutención del fabricante.

Figura 2. MÁSCARA COMPLETA EXO-26.

b.- **Suministro de Aire.** El Aire para la máscara completa EXO-26 es suministrado desde la superficie por un compresor de aire ó acumuladores de alta presión como se describe en el parágrafo 8-6.2.3.

1) **Requerimientos de un SAE para máscara completa EXO-26 en Buceos confinados o más de 18 metros.** En orden a asegurar en una emergencia el suministro de aire al buzo cuando trabaja dentro de un tanque de lastre, espacio confinado, u otro espacio sin libre acceso a superficies debe ser usado un suministro de aire de emergencia (SAE). Como mínimo, el SAE consiste de:

- Un cilindro Scuba de a lo menos 72 pies cúbicos cargado con un mínimo de 2500 psi.
- Un primer estado de regulador Scuba ajustado según el fabricante, pero con una presión no inferior a 135 psi. En el caso de estar obligado a dejar el SAE en superficie, ajustar la primera etapa del regulador a 150 psig.
- Un manómetro sumergible tomado de la primera etapa del regulador.

El cilindro scuba puede ser dejado en la superficie y el SAE pude ser llevado ó amadrinado al umbilical, ó puede ser asegurado dentro del espacio confinado.

2) **Requerimientos de Flujo.** El máscara completa EXO-26 requiere de un flujo de gas respiratorio de 1.4 acfm y una presión sobre el fondo de 90 psig. Los cálculos de requerimientos de flujo y presión son idénticos que para el casco Superlite 17 K/B.

50104. SISTEMAS DE BUCEO ASISTIDO

El sistema portátil consiste en acumuladores de aire de alta presión con sus respectivos compresores, una consola que permite suministrar aire a tres buzos en forma independiente, umbilicales con capacidad de comunicaciones, video, agua caliente y poder para iluminación. Este sistema puede ser utilizado tanto con el casco Superlite 17 K, B o la máscara completa EXO-26 y permite una profundidad máxima normal de trabajo de 58 metros. El sistema puede ser instalado y ensamblado en diferentes plataformas, incluyendo cámara hiperbárica, y el sistema de lanzamiento de buzos. Los bancos de aire permiten entregar aire primario y segundario a cada uno de los buzos, pudiendo interconectarlos en caso de una emergencia. Cada uno de estos bancos tienen 16 botellas de 4500 psig y 9 litros de volumen, lo que permite una

gran autonomía. Además cada banco posee su propio compresor y está diseñado para poder efectuar la carga de estos en forma simultánea.

El sistema está compuesto de los siguientes elementos:

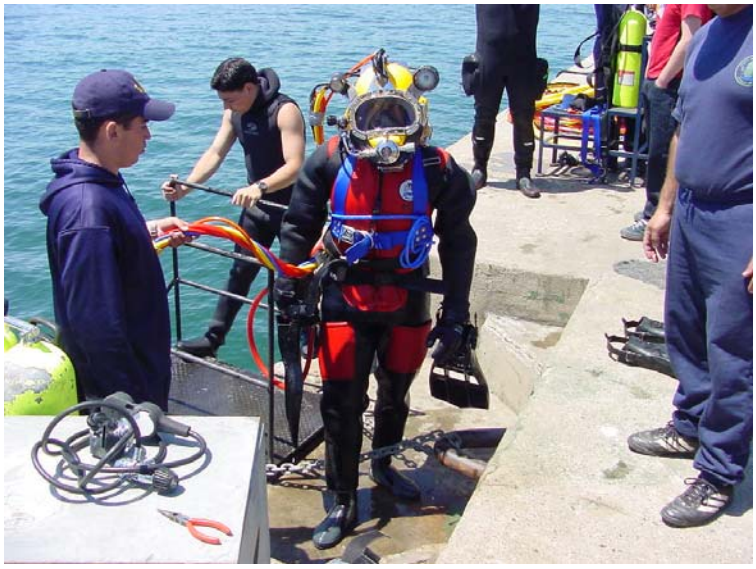


Figura 3. Sistema buceo asistido con Casco Superlite 17 K.

Figura 4. Sistema de acumuladores y consola SBA

a.- **Generador de 5 kW:** Provee de energía para las comunicaciones, luces, monitores de video y misceláneos.

b.- **Comunicaciones:** Equipo de comunicaciones submarino para tres buzos, permitiendo establecer comunicaciones desde superficie hacia los buzos y entre los buzos.

c.- **Herramientas submarinas Hidráulicas:** Según se requiera.

Figura 5. Herramientas de Corte Hidráulico.

d.- **Equipamiento de Cubierta :** El conteiner con grúa de lanzamiento tipo “A” permite lanzar y recuperar a los buzos sin necesidad de escalas o líneas de descenso. Dentro de este container se instala todos los elementos de control y monitoreo del sistema, haciéndolo independiente de la plataforma y del clima.

50105. EQUIPAMIENTO ACCESORIO PARA BUCEO ASISTIDO

El equipo accesorio que además es usado en buceo asistido para las operaciones de buceo incluye los siguientes ítems:

a.- **Línea Principal.** La línea principal es usada para medir la profundidad.

b.- **Línea de Descenso.** Guía al buzo hasta el fondo y es usada para pasar herramientas y equipamiento. Se recomienda una línea de tres pulgadas de doble trenzado para prevenir enredos y facilitar la identificación por parte del buzo mientras esté está en el fondo. Cuando está siendo utilizada debe ser fijada al fondo o usar un peso para evitar que la corriente la mueva .

c.- **Línea rebusca circular.** Esta línea es unida al final de la línea de descenso y permite al buzo usarla como una guía para ubicar y reposicionar la línea de descenso.

d.- **Jaula de descenso .** Construida para llevar uno ó más buzos, la jaula es usada para poner los buzos dentro del agua o llevarlos a la superficie, especialmente cuando deben hacerse paradas de descompresión. La plataforma está hecha de una especie de parrilla abierta para evitar la resistencia del agua y puede incluir asientos. Puede tener cáncamos y ganchos para hacer firme líneas o herramientas. El armazón de esta plataforma puede ser plegable para un almacenamiento más cómodo. La jaula debe tener un cáncamo de escape rápido que permita hacer firme la jaula a la línea de descenso cuando sube ó baja, evitando giros innecesarios de la jaula.. Las plataformas deben ser pesadas, registrando su peso.

e.- **Línea de la jaula.** Esta línea debe estar diseñada para elevar ó bajar la jaula y normalmente corresponde a un cable trenzado de acero.

f.- **Escalera de Buceo.** Es usada para permitir el ingreso y salida del agua.

g.- **Pesos.** Se usan muertos de acero o concreto para las líneas de descenso.

h.- **Bolsa de Herramientas.** Usada para llevar las herramientas.

i.- **Cronómetros.** Son usados para medir el tiempo total de buceo, tiempo de descompresión, tiempo de ascenso, etc.

50106. SUMINISTRO DE AIRE

El suministro de aire puede originarse desde un compresor ó un banco de alta presión, ó de la combinación de ambos.

a.- **Requerimientos para el Suministro de Aire.** Independientemente de la fuente, el aire debe reunir ciertos requisitos de pureza, de volumen adecuado para la respiración y debe tener un rango de flujo apropiado para ventilar el casco ó la máscara. El aire, además, debe proveer de suficiente presión sobre la columna de agua y las perdidas por válvulas, umbilicales y equipos. Los requerimientos del suministro de aire dependen de factores específicos de cada buceo como la profundidad, duración, nivel de trabajo, número de buzos y el tipo de sistema de buceo usado.

1) **Estándares de Pureza.** El aire tomado directamente de la atmósfera y bombeado al buzo puede no reunir los requisitos de pureza. Este puede estar contaminado por descarga de maquinaria, smog u otros agentes químicos. Inicialmente el aire puro puede llegar a contaminarse al ser comprimido por un compresor con fallas. Por esta razón, todo el aire de los buzos debe ser periódicamente analizado para asegurarse que reúna los parámetros de pureza. Refiérase a la tabla 4-1 para requerimientos de pureza en aire comprimido.

   Para reunir estos estándares deben ser usados compresores especialmente diseñados, los que deben poseer un sistema de filtros eficiente. El aire comprimido existente en los circuitos de alta de buques, usualmente contienen montos excesivos de aceite y no es recomendable para buceo aunque este sea filtrado, de igual forma el aire tomado desde cualquier espacio con maquina, debe considerarse contaminado. Por esta razón debe ponerse especial atención en el lugar y operación de los equipos de carga de aire para evitar dichas condiciones. En caso de utilizar un ducto interno, éste debe estar orientado de tal forma que aspire aire no contaminado. Para asegurarse que la fuente de respiración del buzo reúne satisfactoriamente los estándares establecidos, debe ser revisado a intervalos no mayores a 6 meses, de acuerdo con el SIMPLA.

3) **Requerimientos de Flujo en el Suministro.** El flujo requerido para un suministro de aire depende de del tipo de equipo de buceo en uso. El suministro para un circuito abierto debe tener una capacidad de flujo (en acfm) que de suficiente ventilación a la profundidad máxima para mantener un nivel aceptable de dióxido de carbono en la máscara ó el casco. Los niveles de dióxido de carbono deben mantenerse a niveles seguros durante un trabajo normal, trabajo pesado y emergencias.

   Si se utiliza un equipo de demanda, como el Superlite 17 K/B ó la máscara completa EXO-26, el sistema de suministro debe satisfacer los requerimientos de flujo de aire del buzo. Los requerimientos de aire por efecto de la respiración en un sistema de demanda son basados sobre el promedio de flujo de aire demandado por los buzos bajo condiciones normales de trabajo. El máximo instantáneo (peak) de flujo bajo trabajo fuerte, no es requerido constantemente, pero de preferencia el rango mayor de flujo atañe durante la inhalación del ciclo de respiración. Los requerimientos varían con la demanda de respiración del nivel de trabajo.

3) **Requerimientos de Presión.** En orden a suministrar al buzo un adecuado flujo de aire, Este se debe enviar a suficiente presión para equiparar la presión de la columna de agua sobre el buzo y la caída de presión por pérdidas en circuitos, umbilicales y válvulas del sistema. Tabla 8-1 muestra los valores del consumo de aire y la presión mínima sobre el fondo requerida por cada uno de los sistemas de buceo asistido.

4) **Control de Vapor de Agua.** Un suministro operado adecuadamente no debe permitir nunca que el aire llegue al punto de rocío. El control sobre el monto de vapor de agua (humedad) en el suministro es normalmente realizado de uno ú ambos de los siguientes métodos:

   a) **Compresión / Expansión:** A medida que el aire a alta presión se expande alrededor de la válvula de reducción, la presión parcial del vapor de agua está disminuyendo. Debido a que la expansión toma lugar a una temperatura constante (proceso isotérmico), la presión parcial del vapor de agua requerido para saturar el aire se mantiene constante. Por lo tanto, la humedad relativa del aire es reducida.

   b) **Enfriamiento.** El enfriar el aire antes de expandirlo aumenta la humedad relativa, permite que parte de agua se condense. Entonces, el líquido condensado puede ser drenado del sistema.

SYSTEM	PRESION MIMIMA DEL MANIFOLD	Consumo promedio por buceo (acfm)
Superlite 17 K	**(Profundidad en metros x 1,47) + 90 a 165 psi, dependiendo de la profundidad del buceo**	**1,4 (ver nota**
Superlite 17 B		
EXO-26	**(Profundidad en metros x 1,47) + 90 psi**	**1.4**
Nota: **La presión del manifold es de 90 psig sobre la presión del fondo hasta profundidades de 18 metros y de 135 psig entre profundidades de 18 a 40 metros. Para buceos sobre 40 metros se debe ajustar 165 psig sobre la presión del fondo.**		

Tabla 1. Requerimientos Primarios del Sistema de Aire.

5) **Requerimientos de Aire para un Buzo Stand by.** Los requerimientos no pueden ser sólo basados sobre las necesidades de los buzos que estarán inicialmente encargados a la operación. Debe haber una adecuada reserva de aire para permitir al buzo Stand by actúe si es necesario.

b.- **Suministro de Aire Primario y Secundario.** Todo sistema de buceo asistido debe incluir un suministro primario y secundario, de acuerdo al Manual de la Armada. El suministro primario debe ser capaz de cumplir las demandas de flujo y presión del equipamiento de buceo utilizado (Tabla 1). La capacidad del primario debe ser capaz de cubrir las necesidades de aire de todos los buzos por el tiempo total del buceo (tiempo de fondo más tiempo de descompresión). Es necesario tomar en cuenta el número de buzos, profundidad máxima y el equipo que será utilizado para poder dimensionar el banco requerido. El banco secundario debe ser dimensionado para poder entregar el aire necesario para recuperar a todos los buzos en caso de una falla del primario.

1) **Requerimientos para Procedimientos Operación y Emergencia.** Los procedimientos de operaciones (Proper) y procedimientos de emergencia (Procem) deben estar disponibles para apoyar las operaciones y poder salir de situaciones de emergencia. Las Proper y Procem deben ser aprobados por el CORSA y por el CENTARM. Es necesario integrar los Proper y Procem del sistema de buceo asistido con los procedimientos de las cámaras hiperbáricas.

Deben ser etiquetados todas las válvulas y switches eléctricos que influyan directamente en el suministro de aire:

“SUMINISTRO DE AIRE PARA BUZOS - NO TOCAR”

En caso de utilizar compresores directamente al buzo, es necesario incorporar un acumulador para mantener el suministro si la fuente primaria falla, dando el tiempo adecuado para reponer el suministro secundario.

2) **Compresores de Aire.** Todos los suministros de aire usados en la armada incluyen, al menos, un compresor como fuente de aire. Para una apropiada selección de compresor, es esencial que el buzo tenga un entendimiento básico de los principios de un compresor. La lista ENA contiene una lista de compresores autorizados para su uso en faenas de buceo en la armada. Ver Figura 8-10.

a) **Compresores de Aire Recíprocos.** Son los únicos compresores autorizados para el uso de las operaciones de buceo. Los modelos de baja presión (LP) pueden proveer rangos de flujo suficientes para soportar suministros de superficie ó cámaras de recompresión. Modelos de alta presión pueden cargar bancos de acumuladores de alta presión y cilindros Scuba.

b) **Requerimientos de Capacidad de Compresores.** Los compresores deben reunir el flujo y requerimientos anotados en el parágrafo 8-6.1.2 y 8-6.1.3. Normalmente, los compresores recíprocos tienen su rango (capacidad en pies cúbicos por minuto y presión en psig) estampados sobre la placa de identificación del fabricante. Este rango está usualmente basado sobre condiciones de entrada de 21.1 °C (70 °F), 14,7 psia (presión barométrica) y un 36% de humedad relativa (una densidad de aire de 0.075 libras por pie cúbico).Si las condiciones varían, la capacidad del compresor podrá aumentar o disminuir. Si la capacidad no es dada directamente, se deberá efectuar una prueba para determinarla. Debido a que la capacidad fue definida a contar de valores patrones, compresión por unidad de tiempo, la capacidad será afectada solamente por el volumen del primer estado nivel, en todos los estados solamente se aumentará la presión y se reducirá la temperatura. Todo compresor industrial tiene estampado un código, consistente de al menos dos, pero usualmente cuatro ó cinco, números que especifican el diámetro y la carrera del pistón.

La capacidad real del compresor siempre será menos que el desplazamiento del primer estado debido al volumen final existente en el punto muerto alto del pistón. Normalmente los compresores tienen una eficiencia de un 85 % de su desplazamiento. Mientras menor sea el cilindro del primer estado, menor será el porcentaje de capacidad.

c) **Lubricación.** Los compresores recíprocos de pistón pueden ser lubricados por aceite ó agua. La mayoría de los compresores de la Armada son lubricados por aceite sintético. En estos compresores el lubricante tiene las siguientes funciones:

- Evita desgaste y daños por fricción.
- Disminuye fugas por claros existentes.
- Protege contra la corrosión.
- Transfiere el calor fuera de las superficies productoras del mismo.
- Transfiere las partículas contaminantes hacia el filtro del sistema.

d) **Especificaciones del Lubricante.** Lamentablemente, el lubricante se vaporiza en el aire suministrado y si no es condensado ó filtrado, llegará a los pulmones del buzo. Los lubricantes usados deben estar conforme a las especificaciones militares MIL-L-17331 (2190 TEP) para operaciones normales, ó MIL-H-17672 (2135 TH) para operaciones en climas frías. Donde el fabricante especifica el uso de aceite de base sintética, puede ser usado en reemplazo el aceite MIL-L-17331 ó MIL-H-17672.

e) **Mantención en Compresores Lubricados con Aceite.** Al usar este tipo de compresores es necesario prestar especial cuidado sobre la mantención no sobrepasar el límite de aceite en el aire del buzo. Cuando se usa cualquier compresor lubricado con aceite para buceo, el aire debe ser analizado para verificar contaminación. Las operaciones de buceo deben ser abortadas al primer indicio de que el aceite está entrando ó siendo enviado al aire del buzo. De inmediato debe ser llevado a cabo un análisis para determinar cual es el monto de aceite presente y si excede el máximo permitido de acuerdo a la tabla 4-1.

f) **Interenfriadores.** Los interenfriadores son intercambiadores de calor que se van instalados entre los estados de un compresor para controlar la temperatura del aire. El agua o aire que fluye a través de los intercambiadores permite remover el calor desde el aire comprimido y enfría la pared de los cilindros. Durante este proceso, el vapor de agua es condensado y debe ser drenado periódicamente durante la operación del compresor, ya sea manual ó automáticamente.

g) **Filtros.** A medida que el aire es descargado desde el compresor y antes de que entre al sistema, éste pasa a través de un separador de humedad y un filtro que remueve el lubricante, aerosoles y partículas contaminantes. Los filtros adecuados son indicados en el manual del fabricante.

h) **Reguladores de Presión.** En compresores es necesario instalar un regulador de presión, debido a que si no existe demanda, el aire es simplemente bombeado a través del compresor de presión atmosférica. Compresores con el sistema incluido, tal como los interenfriadores, son diseñados para desarrollar el máximo de eficiencia al rango máximo de presión del compresor. Operar a cualquier presión inferior a este rango, reduce la eficiencia de la unidad. Adicionalmente, la compresión reduce el vapor de agua en el aire, por lo que al reducir el monto de compresión, aumenta el vapor de agua en el suministro de aire del buzo.

   El aire suministrado desde el compresor se expande a través del regulador de presión y entra a los bancos de aire ó acumuladores. A medida que la presión crece en los bancos de aire, eventualmente puede alcanzar la presión de escape del compresor, por lo que el aire en exceso es descargado a la atmósfera. Algunos compresores son controlados por presóstatos eléctricos instalados en los acumuladores o descarga del compresor y al alcanzar la presión máxima, el motor es apagado. Cuando la presión a caído lo suficiente y se alcanza la presión mínima ajustada, el motor se arranca nuevamente.

   Toda tubería en el sistema debe ser diseñada para minimizar caídas de presión. El ducto de admisión, especialmente, debe tener un diámetro suficiente para que pueda ser utilizado completamente el rango de capacidad del compresor. Todas las uniones y tuberías deben ser revisadas y reparadas si tienen filtraciones. Todos los filtros y separadores deben estar siempre limpios y los lubricantes, combustible y líquido enfriador deben ser periódicamente revisados.

   Cualquier compresor de buceo, si no está permanentemente instalado, debe estar muy bien asegurado en su lugar. Muchos de los compresores portátiles, tienen un sistema para estos efectos.

3) **Cilindros de Aire y Tanques de Alta Presión.** Cilindros y acumuladores de HP, son equipos diseñados para mantener el aire a presiones sobre 600 psi. Los SBA proveen normalmente el suministro de aire con una cantidad significativa de acumuladores y cilindros HP. Cualquier cilindro HP que se use en el suministro de aire debe poseer los símbolos que certifiquen para que presión fue diseñado y cuando fue efectuada la última prueba hidrostática.

Al usar estos sistemas, es necesario mantener una sección como reserva. El buzo toma el aire desde el acumulador y la presión se regula de acuerdo a los requerimientos de suministro del buzo. La duración del buceo está limitada a la duración del aire antes de que se alcancen las 300 psi. Esta presión mínima de 300 psi debe permanecer en cada acumulador ó cilindro.

En operaciones de buceo autónomo**,** la cantidad de aire que puede ser suministrado por un sistema usando cilindros, es determinada por la capacidad inicial de los cilindros y la profundidad del buceo. La duración del suministro debe ser calculada antes del buceo y debe incluir una reserva para la descompresión.

En el Problema 1 (parágrafo 8-2.2.3) son presentados los ejemplos de cálculos de la duración del buceo, basados sobre un banco de cilindros y utilizando el casco Superlite 17 K. Los problemas de muestra en este capítulo no consideran los requerimientos de un sistema secundario. El sistema secundario debe ser capaz de proveer aire en el evento de una falla del sistema primario, por lo que se recomienda un sistema secundario con la misma capacidad del primario. En el problema de cálculo del 2, esto muestra una descompresión de tres buzos con un tiempo de fondo de 30 minutos usando 1,4 acfm por cada uno. Debe ser considerado un suplemento adicional si el mismo sistema de aire soporta una cámara hiperbárica. Refiérase al capítulo 22 para información sobre la capacidad adicional requerida para soportar una cámara hiperbárica.

4) **Sistemas de Aire a Bordo.** La mayoría de los buques poseen sistemas instalados permanentemente a bordo que proveen aire LP ó HP. Estos sistemas son usados de apoyo para las operaciones de buceos si cumplen los requerimientos fundamentales de pureza, capacidad y presión.

En operación, una fuente de aire de L.P. (como un compresor eléctrico ó a combustión interna) puede comprimir aire dentro de un acumulador de L.P. Este sistema debe cumplir con los mismos estándares del aire H.P. (pureza, capacidad y presión).

50107. COMUNICACIONES EN BUCEO

El buzo con equipo de buceo asistido tiene dos formas de comunicarse, dependiendo del tipo de equipo que use. Si el buzo está usando el Superlite 17 K/B ó la máscara completa EXO-26 puede utilizar sistemas eléctricos de comunicaciones. En este caso la comunicación por voz es usada primariamente y el código de tirones por la línea es usado de modo secundario. La comunicación buzo a buzo está disponible a través de un intercomunicador, pero también es posible el uso de señales manuales, pizarras o juntando los cascos.

a.- **Sistemas de Intercomunicación.** Los componentes mayores del sistema incluyen auriculares y micrófono, los cables para cada buzo, la unidad de control de superficie y los controladores de micrófono. El sistema está equipado con un cable externo de energía y una batería interna para emergencia.

El sistema de intercomunicación es operado por un controlador designado a la estación de buceo. El operador monitorea las comunicaciones por voz y mantiene un código establecido de mensajes. Todas las personas que usan el sistema de intercomunicaciones deben tener un código distintivo y deben hablar lentamente. Las conversaciones deben ser breves y simples usando la terminología de buceo estándar. Los buzos deben repetir las órdenes dadas desde la superficie.

El sistema aprobado por la Armada es compatible con los cascos Superlite 17 K/B y máscara completa EXO-26. Este es un sistema de superficie/ submarino que permite hacer una conferencia entre tres buzos y superficie. Es posible incorporar un corrector de voz para compensar la distorsión causada por la atmósfera que respiran los buzos y la profundidad.

b.- **Señales de Tirones por Línea.** Una señal por la línea consiste de un “tirón” ó una serie de éstos, sobre el umbilical y que son lo suficientemente fuertes para ser sentidos por el buzo o viceversa. (Figura 8-11). Se debe eliminar el seno del umbilical antes de que se de la señal.

Figura 11. Comunicándose con señales de pulso por línea.

El código de tirones (tabla 8-2) ha sido establecido a través de muchos años de experiencia. Las señales estándar son aplicables a toda operación de buceo; pueden ser enviadas señales especiales entre los buzos y el Supervisor de Buceo para reunir ó juntar requerimientos particulares dentro de una misión. Muchas de las señales son reconocidas de inmediato cuando son recibidas y si esta señal no es prontamente respondida por el buzo, se debe repetir. Si continúa sin responder se atribuye a uno de estos tres factores: la línea está enredada, la línea tiene mucho seno ó el buzo está en problemas.

Si la comunicación se pierde, el Supervisor de Buceo debe ser notificado de inmediato y deberá seguir los pasos indicados para identificar el problema. Esta situación es tratada como una emergencia (ver parágrafo 6-12.5.3.2).

Existen tres señales que no debe ser respondidas de inmediato. Dos de ellas son “súbame “ y “súbame de inmediato”. La respuesta consiste en el inicio de la acción. La otra señal, desde ayudante al buzo es “subiendo”. Esta señal no es reconocida hasta que el buzo está listo para dejar el fondo. Si por alguna razón el buzo no puede responder a la orden, debe responder vía voz por el sistema de intercomunicación, señalando “comprendido”, siguiendo (si es necesario) por una señal de emergencia.

Existe un grupo especial de señales de búsqueda y es usado para dirigir al buzo en el fondo. Estas señales son duplicadas de las señales estándares, pero su uso es indicado por una señal de siete tirones que le indican que el buzo las siga. Cuando se quiere terminar con estas indicaciones, se envía una nueva señal de siete tirones, indicándole al buzo el término de estas señales especiales. El ayudante es el único que usa señales de búsqueda; todas las señales iniciadas por el buzo son señales estándares. Para ser adecuadamente orientado, el buzo debe estar mirando la línea (tanto la línea de seguridad como de descenso si esta está en forma circular).

DEL TENDER AL BUZO		SEÑALES DE REBUSCA	
1 Tirón	¿Está Ud. bien? Cuando el buzo está descendiendo, un tirón significa “Para”.	7 Tirones	“Inicie o termine la Rebusca”
2 Tirones	“Bajando”. Durante el ascenso, 2 tirones significa “A ascendido demasiado, regrese hasta que se le indique”	1 Tirón	“Pare y rebusque donde está”
3 Tirones	“Listo a iniciar el ascenso”	2 Tirones	“Muévase en dirección opuesta si tiene seno o en dirección hacia el tender si este cobra seno”
4 Tirones	“Ascendiendo”	3 Tirones	“Mirando el umbilical, muévase a la derecha”
2-1 Tirones	“Entiendo” o “Hábleme”	4 Tirones	“Mirando el umbilical, muévase a la izquierda”
3-2 Tirones	“Ventilar el casco”		
4-3 Tirones	“Cerrar Ventilación”		

DEL BUZO AL TENDER		SEÑALES REBUSCA CIRCULAR	
1 Tirón	“Estoy bien”. Durante el descenso, un tirón significa “Para” o “estoy en el fondo”.	7 Tirones	“Inicie o termine la Rebusca”
2 Tirones	“Más abajo” o “Deme más Seno”	1 Tirón	“Pare y rebusque donde está”
3 Tirones	“Cobre el seno”	2 Tirones	“Muévase alejándose del peso”
4 Tirones	“Súbame”	3 Tirones	“Mire el peso y muévase a la derecha”
2-1 Tirones	“Entiendo” o “Hábleme”	4 Tirones	“Mire el peso y muévase a la izquierda”
3-2 Tirones	“Más Aire”		
4-3 Tirones	“Menos Aire”		

SEÑALES ESPECIALES DESDE EL BUZO		SEÑALES DE EMERGENCIA DESDE EL BUZO	
1-2-3 Tirones	“Mándeme una escuadra”	2-2-2 Tirones	“Estoy enredado y necesito ayuda”
5 Tirones	“Envíeme una línea”	3-3-3 Tirones	“Estoy enredado, pero puedo por si sólo”
2-1-2 Tirones	“Envíeme una tabla anotaciones”	4-4-4 Tirones	“Súbame de inmediato

Tabla 2. Señales por tirones de línea

50108. PROCEDIMIENTOS PRE- BUCEO

Las actividades pre-buceo involucran a mucho personal e incluyen la inspección, ensamblaje del equipo y vestir a los buzos.

a.- **Lista de chequeo Pre-Buceo.** Esta lista debe ser desarrollada para verificar el adecuados funcionamiento de todo el material y que el personal que participa esté adecuadamente notificado y entrenado.

b.- **Preparación de la Estación de Buceo.** El lugar donde será instalado el material de buceo debe estar organizado para permitir un orden y distribución lógica del equipamiento y personal. El espacio disponible no puede estar lleno de equipos y, aquellos que puedan ser dañados, deben instalados en lugares protegidos. Es necesario establecer un sistema de procedimientos y debe ser obedecido.

c.- **Preparación del Suministro de Aire.** Los sistemas primario y secundario son revisados para asegurar su adecuado funcionamiento y que estén cargados a la presión correspondiente.

d.- **Línea de Preparación.** Se debe tomar sondas del lugar y se instalan la línea de descenso con la jaula, marcando en la línea la parada las paradas de descompresión.

e.- **Inspección y Preparación de la Cámara hiperbárica.** Se está disponible, la cámara hiperbárica debe ser inspeccionada, al igual que todo el equipo médico necesario. Además, se debe verificar la existencia de una copia de las Tablas de Descompresión y las Tablas de Tratamiento. Se requiere que el supervisor posea dos cronómetros para poder monitorear el tiempo durante todo el buceo. Se debe verificar que la cámara tenga un adecuado suministro de aire para cumplir con los tiempos de descenso y esté de acuerdo con el capítulo 22.

f.- **Inspección Pre-Buceo.** Cuando el Supervisor de Buceo está satisfecho de que todo el equipo está en buenas condiciones y operable, recién puede equipar a los buzos.

g.- **Equipar a los buzos.** El equipar a los buzos es responsabilidad de los ayudantes.

h.- **Lista de chequeo del Supervisor de Buceo.** El Supervisor de Buceo debe siempre usar una lista de chequeo antes de poner a los buzos en el agua. Esta lista debe contener el equipo básico y los requerimientos específicos de los sistemas que serán usados. El capítulo 6 contiene la lista típica de revisión para buceo asistido.

50109. ENTRADA AL AGUA Y DESCENSO

Una vez que los prechequeos han sido completados, los buzos están listos para entrar al agua. Existen muchas formas de hacer este ingreso, dependiendo principalmente de la plataforma de buceo. Independiente al método de entrada, los buzos deben mirar antes de entrar al agua. Existen tres métodos para entrar al agua:

- Uso de Escala.
- Uso de una jaula de descenso.
- Salto al agua.

a.- **Chequeos antes del descenso.** Una vez en el agua, el buzo debe hacer una última revisión antes de sumergirse.

- El buzo debe verificar fugas de aire en el equipo o conexiones, tanto propias como en el o los otros buzos.
- Verificar comunicaciones. En caso de existir fallas ó deficiencias deben ser reportadas al momento.

Cuando se está conforme con toda estos chequeos, el Supervisor ordena a los ayudantes que muevan a los buzos hacia la línea de descenso. Cuando se encuentran en posición, el buzo ajusta flotabilidad negativa y señala al Supervisor de Buceo que está listo a iniciar el descenso.

b.- **Descenso.** Este se puede ser ayudado con una línea de descenso ó jaula. El personal de superficie debe estar seguro de que el aire que se está suministrando al buzo, sea en cantidad y presión adecuado para compensar el efecto de la presión de agua. La presión de aire debe incluir una presión adicional a la de fondo para permitir al buzo protegerse contra cambios bruscos en el descenso.

Mientras desciende, el buzo debe ajustar la válvula de demanda del casco o máscara para respirar de forma más cómoda y fácil. El buzo debe continuar igualando durante el descenso para que la diferencia de presión no dañe los oídos o espacios aéreos. Si es notado cualquier síntoma, el buzo debe detener el descenso. En caso de no poder igualar, el buzo debe ascender algunos metros, hasta igualar la presión; si no resulta debe abortar el buceo.

Algunos consejos para efectuar el descenso:

- En la línea de descenso, el buzo asegura las piernas alrededor de la línea y se mantiene con una mano.

- Con corriente, el buzo debe descender dando la espalda a ésta, en orden a no ser expulsado de la línea. Si la corriente es superior a 1.5 nudos, puede usar peso adicional ó descender a una jaula lastrada para mantenerse lo más vertical posible.

- Cuando se usa la jaula para descenso, esta debe ser utilizada con un winche y ser adosada a la línea de descenso con un gancho de escape rápido. Los buzos se deben paran en el centro, manteniendo el equilibrio hasta llegar al fondo. Una vez en el fondo la salida de la jaula es dirigido por el Supervisor de Buceo.

- La máxima velocidad de descenso en cualquier método utilizado, no debe exceder los 25 metros por minuto (75 fpm), sin dejar de lado que el buzo puede requerir parar para aclarar los oídos o tener problemas de visibilidad o de corrientes. En estos casos deberá hacer el descenso más lentamente.

- El buzo avisa al llegar al fondo y debe revisar las condiciones del fondo marino. En caso de que las condiciones sean radicalmente diferentes a las esperadas, se debe informar al Supervisor de Buceo. Si existe cualquier duda para que el buzo opere con seguridad, la misión es abortada.

- Un buzo debe estar completamente ventilado cuando llega al fondo. Esta ventilación debe ser efectuada cada vez que el buzo sienta necesidad o cuando sea ordenado de superficie. En buceos mayores a 30 metros (100 pies), el buzo no puede notar los síntomas de CO2 debido a una narcosis por nitrógeno. Es imperativo que el Supervisor monitoree la ventilación del buzo.

50110. PROCEDIMIENTOS BAJO AGUA

a.- **Adaptación a las Condiciones Submarinas.** Tanto en el cuidado como en la planificación, los buzos deben estar preparados para las condiciones submarinas presentes en el lugar de trabajo. El buzo deberá emplear las siguientes técnicas para adaptarse a las condiciones submarinas:

- Al alcanzar el fondo y antes de dejar el área donde queda la línea o la jaula de descenso, el buzo debe ajustar su boyantez y asegurarse que su suministro de aire es confiable.

- El buzo debe orientarse en el fondo a través de “pistas” como la forma del fondo, la dirección de la corriente, etc. Sin embargo, la corriente del fondo puede ser diferente a la superficial. La dirección de la corriente puede cambiar significativamente durante el período de buceo. Si un buzo está desorientado, el ayudante deberá ayudarlo a orientarse usando el código de señales por tirón.

  El buzo está listo para moverse hacia el sitio de trabajo y comenzar su labor.

b.- **Movimiento sobre el fondo.** Los buzos deben seguir las siguientes instrucciones para moverse en el fondo:

- Antes de dejar la línea de descenso, asegurarse de que el sistema umbilical no esté enredado.

- Dar una vuelta alrededor del brazo del cable de seguridad y umbilical; esta precaución evita tirones repentinos.

- Proceder lenta y cautelosamente para incrementar la seguridad y conservar la energía.

- Si es encontrada alguna obstrucción, se debe ajustar la flotabilidad para pasar sobre la obstrucción (no bajo ó alrededor). Si se pasa alrededor de la obstrucción, se debe retornar por el mismo lado para evitar enredo del umbilical.

- Cuando se usen compensadores de boyantez o trajes de volumen variable, ajústela a conveniencia para facilitar los movimientos, evitar movimientos bruscos cuando se este en el fondo.

- Si la corriente es fuerte, se debe encorvar o gatear para reducir el área de exposición. Ajustar boyantez del traje para compensar cualquier cambio en la profundidad, incluso si el cambio es sólo algunos pies.

- Cuando se mueva en fondo de coral ó rocoso, se deben cuidar que el umbilical no se enrede, evitando a sí dañarlo. El ayudante debe ser muy cuidadoso en cobrar el seno del umbilical para evitar enredos.

- Debe tener especial cuidado de resbalar y caer en fondos de grava, especialmente aquellos con pendiente.

- Evitar movimientos innecesarios que provoquen movimiento de fondo, afectando la visibilidad.

  PRECAUCIÓN: Evitar la sobreexpansión y estar atento a la posibilidad de efectuar un ascenso incontrolado al tratar de salir del lodo. En este caso, es conveniente pedir ayuda al buzo de respeto para evitar este riesgo.

  - El lodo puede no ser lo suficientemente sólido para poder caminar sobre este. El primer riesgo de este tipo de fondos son los obstáculos que no se pueden ver.

c.- **Búsqueda en el Fondo.** Si no está disponible un equipo electrónico de rebusca, podría ser necesario usar buzos para efectuar la búsqueda. Los procedimientos para búsqueda sin apoyo sobre el fondo son:

- Un buzo puede efectuar la rebusca por medio de una rebusca circular, usando la línea de descenso como punto base en el fondo. La primera rebusca se realiza tomando una distancia tal que permita cubrir el rango de visibilidad máximo. Si es posible, la línea de descenso debe estar a la vista y si la visibilidad es limitada, debe quedar al alcance. El punto de partida se debe marcar con una línea orientada a la corriente, con luces submarinas, compás o desde superficie. Después de un giro de 360 grados, los buzos se mueven alargando la línea de rebusca a aproximadamente el doble de la anterior, incrementando a sí la segunda vuelta, y realizan otro giro de 360 grados en sentido contrario para evitar enredos.

- Si el objeto no es encontrado cuando se ha llegado al final de la línea de rebusca, se debe mover la línea de descenso a otro punto. Cada punto base debe ser marcado sucesivamente para evitar una doble búsqueda. Si la búsqueda se extiende, los marcadores deberán ser removidos, dejando sólo los que marcan los límites del área.

- Si el buzo no es capaz de hacer un círculo completo alrededor de la línea de descenso debido a la corriente, se deberá ajustar el patrón de rebusca.

- Sistema de rebusca linear (Jack Stay) puede ser establecida por dos boyas unidas por un cable. El buzo en el fondo, puede seguir la línea de unión boya a boya, coordinando el progreso con otro buzo que busca a cada lado estableciendo una base linear. Estas boyas pueden ser reajustadas para agrandar las áreas de búsqueda.

- Una vez que el objeto de búsqueda ha sido encontrado, debe ser marcado. El buzo puede asegurar el objeto a la línea de rebusca circular como medida momentánea, mientras espera por una línea desde superficie.

d.- **Buceo en Espacio Confinado.** En forma continua se requiere que los buzo trabajen en espacios cerrados o confinados. Para realizar este tipo de trabajo deben usar sistemas Superlite 17 K/B y máscara completa EXO-26.

1) **Peligros en los Espacios Cerrados.** El interior de buques, estanques de lastre, domos de sonar, etc. son riesgosos debido a que tienen acceso limitado, pobre visibilidad y superficies resbalosas. Espacios cercados pueden ser secos ó inundados y los espacios secos pueden tener una atmósfera contaminada.

NOTA: Cuando un buzo está trabajando dentro de un espacio cerrado ó confinado, El Supervisor debe dejar a otro buzo en el acceso al lugar para servir como ayudante en el manejo del umbilical. Finalmente, el número de buzos ayudantes depende de la situación y del buen juicio del Supervisor ú Oficial a cargo en el lugar.

2) **Precauciones de Seguridad en los Espacios Cerrados.** Por los riesgos que involucra una operación en este tipo, los buzos deben seguir rigurosamente las siguientes precauciones.

ADVERTENCIA 1: Durante un buceo en espacios confinados, todos los buzos deben usar sistemas Superlite 17 K/B ó máscara completa EXO-26 que incluyan comunicación buzo a buzo y un SAE para el buzo que está dentro del espacio.

ADVERTENCIA 2 : Los buzos no deben quitarse los equipos de buceo hasta que la atmósfera haya sido reemplazada completamente dos veces por aire provisto de una fuente de aire que cumpla los requerimientos del capítulo 4 y que las pruebas confirmen que la atmósfera es segura para la respiración. Las pruebas de aire dentro de los espacios cercados deben ser conducidas hora a hora. Las pruebas deben estar hechas de acuerdo a las directivas Direcing. Si los buzos perciben cualquier olor inusual, deben ponerse las máscaras de inmediato.

ADVERTENCIA 3 : Si el equipo de buceo llega a fallar, el buzo debe abrir la válvula de alimentación de aire de emergencia y abortar la misión.

e.- **Trabajos en esquinas.** Cuando se trabaja en las esquinas, el umbilical se puede enredar o perder las señales de tirones, por lo que un segundo buzo debe estar apoyando con el umbilical para evitar que este se obstruya. Las líneas de señales se usan cuando la comunicación por audio se pierde, por lo que los tirones de señales son recibidos por el buzo de apoyo el cual responde dando información de la situación.

f.- **Trabajando dentro de un Naufragio.** El procedimiento para este trabajo es el mismo que el anterior. Esta técnica también se aplica a los buzos de apoyo: Cada buzo que ingrese a alguna cubierta, debe tener a un buzo de apoyo sobre él. Actualmente, el número de buzos de apoyo depende de la situación y del buen juicio del Supervisor ó Oficial a cargo. Obviamente, una operación que requiere de penetración a múltiples cubiertas, deberá ser planificada cuidadosamente en orden de entregar el apropiado apoyo a todos los buzos que deberán participar. El casco Superlite 17 K/B y la máscara completa EXO-26 son los únicos equipos aprobados para trabajos dentro de un naufragio.

g.- **Trabajo con o cerca de líneas o maniobras de fondeo.** Cuando se trabaja cerca o con líneas y maniobras de fondeo, se debe observar las siguientes reglas:

- Mantenerse lejos de las líneas con carga.

- Evitar, en lo posible, pasar bajo líneas para no dañar los trajes o umbilicales.

- Si es necesario cambiar o remover una línea el buzo debe salir a superficie y mantenerse a una distancia segura.

- Si un buzo debe trabajar con muchas líneas, cada una debe estar diferenciada en color, tamaño o códigos.

- Nunca cortar una línea hasta no estar seguro de su identificación.

- Cuando se prepara el reflote de algún peso desde el fondo, las líneas seleccionadas deben ser fuertes y la plataforma de superficie debe estar posicionada exactamente sobre el objeto que será izado. Antes de izar el objeto, asegurarse de que el buzo está fuera de la zona ó haya salido del agua.

h.- **8-10.8 Chequeos de Fondo.** Se lleva a cabo cuando se regresa al estado ó a la línea de descenso, previo a la ascensión. La revisión es básicamente la misma para cada equipo.

- Asegurarse de que todas las herramientas están listas para el ascenso.
- Revisar que todos los umbilicales y líneas están claras y listas para el ascenso.
- Reportar la condición física y mental.

i.- **Procedimientos en el Lugar de Trabajo.** El rango de trabajo en el buceo es múltiple y variado. Muchos trabajos siguen procedimientos detallados y requieren de entrenamiento para asegurar la familiaridad con el trabajo. Es necesario verificar claramente el alcance del trabajo previo iniciar la faena de buceo. Los trabajos más comunes que son efectuados son reemplazo y reparación de hélices, reparación de guardacabos, limpiezas, obturaciones y domos de sonar.

1) **Procedimientos para Reparaciones submarinas.** Tanto por la complejidad y sofisticación de los sistemas creados en buques, se han creado nuevas técnicas para su reparación. Es importante que todo el personal que participa en la realización de estos trabajos sea instruido adecuadamente antes de realizar el trabajo.

2) **Trabajo con Herramientas.** El trabajo submarino requiere de herramientas y materiales apropiados, como cemento, espumas y masillas epóxicas, etc. Muchas de estas herramienta son manuales (preferiblemente libres de corrosión). Un buzo calificado debe familiarizarse con las herramientas para ejecutar su trabajo. La experiencia manual

es el único medio para conocer la herramienta adecuada. Se debe consultar la operación adecuada y mantención de las herramientas. En un trabajo con herramientas se deben seguir y aplicar las siguientes reglas:

- Nunca usar una herramienta que esté en mal estado. Si una herramienta de corte pierde filo, devolverla a la superficie para que sea afilada.

- No llenar el lugar de trabajo con herramientas innecesarias, sólo las que se requieren.

- Las herramientas deben ser transportadas en un bolso especial, sobre el hombro del buzo, ó bajarlas por la línea de descenso amarrada con una línea delgada. Para su ascenso, el procedimiento es el mismo.

- El usar la jaula de descenso como lugar de trabajo permite ordenar las herramientas y evitar que estas se pierdan. La jaula permite nivelar y dar estabilidad cuando es necesario aplicar fuerza como atornillar alguna pieza, ó cuando se trabaja con herramientas de alto peso.

- Tener una línea por seno permite dar firmeza al buzo para que no sea afectado por la corriente.

j.- **Procedimientos de Seguridad.** Los mejores factores de seguridad son una positiva actitud acerca de la importancia de la planificación para las emergencias. Un buzo que se encuentre en problemas, debe estar relajado, sin pánico, comunicando el problema a la superficie y pensando en las posibles soluciones al problema. El personal de superficie debe aplicar los procedimientos como se indica en el capítulo 6. En toda situación, el Supervisor de Buceo asegurará el sentido común y la calma necesaria para resolver la emergencia.

Los procedimientos de emergencia son cubiertos para cada equipo en el respectivo manual del fabricante y en forma general en el capítulo 6. Sin embargo, existe un número de situaciones que el buzo encontrará normalmente, por lo que si no lo soluciona prontamente, puede producir una emergencia mayor. Estas situaciones y la acción apropiada deben ser tomadas como sigue.

1) **Umbilicales Enredados.** Tan rápido como el buzo se de cuenta de que su línea umbilical esta enredada, el buzo debe detenerse y examinar la situación. Tirar ó desenrollar sin un plan a seguir, sólo puede complicar la situación llegando a dañar las mangueras. El Supervisor de Buceo debe ser notificado por la línea. Si las líneas están enredadas en una obstrucción, devolverse unos pasos puede liberarlo. Si las líneas no pueden liberarse, el buzo de respeto debe ayudar a la solución. El buzo de respeto deberá seguir tratando las otras líneas para que se liberen. De no ser posible, deberá pedir la reposición del umbilical.

2) **Líneas de Descenso Enredadas.** Si el buzo llega a enredar la línea de descenso y no puede solucionarlo, deberá retornar a la superficie ó cortar el peso para tener un ascenso más despejado. Si la línea está tensada por un objeto muy pesado, este deberá cortarla antes de ser izado. Por esta razón, un buzo no puede utilizar una línea de descenso que no pueda ser cortada.

   ADVERTENCIA: Si se utiliza un cable de acero o una cadena como línea de descenso, esto debe ser aprobado por el Oficial a Cargo.

3) **Caídas.** Cuando se trabaja a media profundidad en la columna de agua, el buzo debe mantener una mano sobre la plataforma para evitar caer. Este debe evitar poner un brazo sobre la cabeza al usar un traje seco, ya que una fuga de aire por el sello de las muñecas del traje puede cambiar la flotabilidad é incrementar la caída dentro de la columna de agua.

4) **Daño al Casco y al Traje de Buceo.** Si una fuga ocurre en el casco, el buzo debe bajar la cabeza del buzo y aumentar levemente la presión de aire para prevenir el ingreso de agua. Una abertura en el traje, sólo requiere mantener una posición adecuada. El agua dentro del traje no pone en peligro el suministro de aire de respiración.

k.- **Apoyo al Buzo.** Procedimientos para apoyar al buzo:

- Antes del buceo, el encargado debe revisar cuidadosamente el traje con particular atención a la válvula de no-retorno, válvula de control de aire, sellos del casco, sistema de intercomunicación y arneses.

- Cuando el buzo esta listo, los apoyos visten y asisten al buzo a la plataforma, siempre manteniendo el control sobre el umbilical.

- El asistente primario y secundario siempre están en la estación para asistirlo. Cuando el buzo entra al agua, los asistentes manejan el umbilical, tomando todo el cuidado para evitar extremos agudos ó cortantes. El umbilical nunca debe caer libre ya que puede enredarse con accesorios de cubierta. El mantener el umbilical controlado en su descenso permite al buzo descender más suave. Si se usa una jaula, el rango de descenso es coordinado con el operador del winche ó los encargados del sistema manual.

- Se debe mantener un cierto seno en el umbilical. Dos a tres pies de seno permiten al buzo suficiente libertad de movimientos y previene que al llegar al fondo pueda ser levantado o sacado del lugar de trabajo, además permite tener mayor movilidad por la corriente. El ayudante debe revisar el umbilical para asegurarse de que los movimientos del buzo estén de acuerdo al seno. Si éste es excesivo, llegará a dificultar en caso de que éste sufra una caída y la corriente enrede el umbilical.

- El ayudante debe monitorear el umbilical por tacto y la línea de descenso por la vista atento a cualquier señal. Si el intercomunicador no es usado ó el buzo está en silencio, el ayudante periódicamente verificará la condición del buzo por señales de línea. Si no hay respuesta, la señal es repetida y si nuevamente no hay respuesta se deberá notificar al Supervisor de Buceo. Si la comunicación se pierde, la situación es tratada como una emergencia (ver parágrafo 6-12.5.3.2, procedimientos para pérdida de comunicación).

l.- **Monitoriando los Movimientos del Buzo.** El Supervisor de Buceo y miembros designados del grupo de buceo deben monitorear constantemente los progresos del buzo y registrar la posición relativa.

Acciones del Supervisor:

- Seguir la trayectoria de las burbujas, considerando las corrientes. Si el buzo está buscando el fondo, las burbujas se mueven con un patrón regular. Si el buzo está trabajando en un lugar determinado, las burbujas no varían su posición. Si el buzo a caído, las burbujas pueden moverse rápidamente en una línea.

- Monitorear el neumofatómetro para registrar la profundidad de operación. Si el buzo mantiene una profundidad constante o asciende, el medidor provee una lectura directa, sin necesidad de agregar aire. Si el buzo desciende, la manguera debe ser purgada para obtener una nueva lectura.

1) **Acciones del Ayudante.** Estar atento a las señales por la línea o umbilical.

2) **Acciones adicionales del Personal.** Chequear las lecturas de los manómetros del sistema de aire o de cualquier equipo eléctrico en servicio. Por ejemplo, el amperímetro de una soldadora eléctrica muestra una caída de poder cuando está en uso; las medidas de gas durante un oxicorte registran el flujo de gas.

50111. PROCEDIMIENTOS DE ASCENSO

Se deben seguir los siguientes procedimientos para el ascenso durante el retorno a la superficie:

- Para prepara un ascenso normal, el buzo limpia el lugar de trabajo de herramientas y equipo. Esto debe retornar a la superficie por líneas especiales enviados por la línea de descenso. Si el buzo no puede encontrar una línea de descenso y necesita una línea especial, esta puede ser aferrada en su umbilical y tirada hacia abajo por el buzo. El buzo debe tener cuidado de no enredar la línea mientras la tira. Entonces el asistente dará el seno necesario. Esta técnica sólo debe ser usada en aguas poco profundas.

- Si es posible, la jaula puede posicionarse en el fondo. Si algún mal funcionamiento como un enredo de la línea de descenso sucede, no se podrá llegar con la plataforma hasta el fondo, por lo que deberá detenerse bajo la primera etapa de descompresión. Las lecturas del neumofatómetro son las medidas de profundidad más importantes.

- Si el ascenso comienza usando la línea de descenso ó la jaula ha sido posicionada bajo la primera parada de descompresión, el asistente señalará al buzo “manténganse stand by para ascenso “ cuando todas las herramientas y líneas extras han sido retiradas. El buzo reconoce la señal. Este, sin embargo, no responde. El asistente eleva al buzo desde el fondo cuando este señala “listo para subir “. Entonces el asistente responde “Subiendo, repórtese cuando deje el fondo “.

- Si, durante el ascenso, mientras se usa una línea de descenso, el buzo alcanza demasiada flotabilidad y asciende demasiado rápido, deberá revisar su ascenso afirmándose con sus piernas a la línea de descenso.

- El rango de ascenso es un factor crítico en la descompresión. Este debe ser cuidadosamente controlado a 30 pies por minuto por el asistente. El ascenso es monitoreado con el neumofatómetro. Cuando el buzo alcanza la plataforma y se sube a bordo, debe reportarlo a superficie. Entonces la jaula es elevada a la primera parada de descompresión. Refiérase al Capítulo 9 para los procedimientos de descompresión, incluyendo una explicación de las tablas.

- Mientras se asciende y durante las paradas de descompresión, el buzo debe estar seguro de que no tiene síntomas de problemas físicos. Si siente algún dolor, mareo, cosquilleo, etc. debe informarlo inmediatamente. Durante este período de ascenso, el buzo revisa y se asegura que el umbilical no se ha enredado en la jaula o en la línea de descenso.

- Casi al llegar a la superficie, se deberá poner especial atención al oleaje y posición del buque para facilitar la salida del agua.

- Si el buzo sale por medio de una escalera, los asistentes deberán ayudarlo. Este estará cansado por lo que una caída de espalda al agua podría provocarle algún daño. Bajo ninguna condición se deberá sacar parte del traje antes de que el buzo esté adecuadamente sentado en cubierta.

50112. DESCOMPRESIÓN EN SUPERFICIE

a.- **Desventajas de la Descompresión en el Agua.** La descompresión en la columna de agua consume tiempo, es incómoda e inhibe la habilidad soportar estas condiciones. La demora puede presentar otros problemas para el buque de apoyo; el clima, amenaza que actúa en contra de las operaciones. En el agua, la descompresión retrasa el tratamiento médico cuando se necesita é incrementa la posibilidad de un serio enfriamiento y un accidente. Por estas razones, a menudo la descompresión se realiza en una cámara hiperbárica a bordo del buque de apoyo. (figura 8-12). Refiérase al capítulo 9 para los procedimientos de descompresión.

b.- **Transferencia de un Buzo a la Cámara.** Cuando es transferido un buzo del agua a la cámara, los asistentes tienen un lapso de tres y medio minutos para desvestir al buzo. Uno de los ayudantes o personal médico, de acuerdo a lo requerido, según la naturaleza del buceo ó la condición del buzo, debe estar en la cámara con todos los elementos necesarios a la llegada de este. El tiempo es un factor crítico no puede ser permitida una demora. El proceso de desvestir al buzo para una descompresión de superficie debe ser practicado y realizado en forma rápida y coordinada.

50113. PROCEDIMIENTOS POST-BUCEO

Son planeados en avance para asegurar que el personal efectúe un cuidadoso examen de cualquier daño posible ó defectos adversos en el equipo, manteniendo y guardando todo en orden.

a.- **Personal y Reporte.** Las actividades post-buceo incluyen todo tratamiento médico para tratar al buzo y de la ejecución de los informes.

- En caso de realizar un tratamiento médico al buzo por presentar cortes ó erosión. La condición general del buzo debe ser monitoreada hasta que los problemas se han resuelto. El supervisor de buceo resetea los cronómetros después de que el buzo llega a la superficie y se mantiene alerta por irregularidades en las acciones del buzo o estado metal. El buzo debe mantenerse a una distancia equivalente a 30 minutos de tiempo de viaje de la cámara por lo menos dos horas después de llegar a la superficie.

- Los Informes obligatorios son descritos en el Capítulo 5. La información del buceo realizado debe ser registrada apenas la operación de buceo es terminada. El Supervisor de buceo es el responsable por la ejecución de los informes. El buzo es responsable por el ingreso de esta información en los registros personales.

b.- **Equipamiento.** Es necesario efectuar un chequeo post-buceo para asegurar la correcta mantención de todo el equipo.

Figura 12. Descompresión de superficie.

TRATADO 6

OPERACIONES DE BUCEO AUTÓNOMO

60101. INTRODUCCIÓN

a.- **Propósito.** El propósito de este capítulo es familiarizar a los buzos con los procedimientos estándar y de emergencia cuando se bucea con equipamiento autónomo (SCUBA).

b.- **Alcance.** Este capítulo cubre el uso de equipo autónomo de circuito abierto, el cual es normalmente empleado en operaciones que no requieren descompresión. El buceo con descompresión usando equipos de circuito abierto puede ser realizado en caso de no existir otra opción y sólo con la venia del Oficial a Cargo. El equipo de buceo asistido es el método preferido para realizar inmersiones con descompresión.

60102. EQUIPAMIENTO REQUERIDO PARA OPERACIONES SCUBA

Como mínimo, cada buzo debe estar equipado con los siguientes elementos para conducir en forma segura el buceo scuba de circuito abierto:

- Regulador de 2 etapas de circuito abierto.
- Máscara facial.
- Compensador de boyantes / chaleco salvavidas *.
- Cinturón con pesos necesarios **.
- Cuchillo **.
- Aletas.
- Manómetro con consola simple o doble.
- Reloj. (Sólo se requiere uno cuando se bucea en parejas con una línea de seguridad **).
- Profundímetro (en caso de usar consola simple) **.

* Durante la fase inicial de entrenamiento en piscina, los cartuchos de CO_2 pueden ser removidos y reemplazados por tapones o cartuchos vacíos (deben ser pintados de Naranja Internacional).

** Estos ítems no son necesarios en la fase de entrenamiento en piscina.

a.- **Equipamiento autorizado para uso naval**. Sólo el equipamiento que ha sido certificado o autorizado para su uso por la lista DIRISNAV debe ser utilizado en el buceo Naval. Sin embargo,

muchos ítems, tales como herramientas manuales qué no están listados específicamente o no están dentro del ámbito de certificación y están juzgados como valiosos para el buceo, puede ser usados.

b.- **Buceo de circuito abierto**. Todos los equipos de circuito abierto autorizados para el uso Naval emplean un sistema de demanda que alimenta con aire cada vez que el buzo inhala. Los componentes básicos del scuba de circuito abierto son:

- Regulador de demanda.
- Uno o más cilindros de aire.
- Manifold y válvula de cilindro.
- Arnés.

1) **Regulador de demanda**. El regulador de demanda es el componente central de los sistemas de circuito abierto. El regulador envía aire al buzo después de reducir la alta presión del cilindro a una presión que pueda ser usada por el buzo. Hay dos etapas en un sistema típico (Figura 1).

a) **Primera etapa**. En la primera etapa, el aire a alta presión del cilindro pasa a través de un regulador que reduce la presión del aire a un nivel predeterminado sobre la presión ambiente. Refiérase al manual técnico del regulador para el valor especificado.

b) **Segunda etapa.** En la segunda etapa, un diafragma móvil está unido con una palanca a la válvula de baja presión, la cual conduce a una cámara de baja presión. Cuando la presión del aire en la cámara de baja presión iguala la presión ambiente del agua, el diafragma está en la posición central y la válvula de baja presión se cierra. Cuando el buzo inhala, la presión en la cámara de baja presión se reduce, causando que el diafragma sea empujado hacia dentro por la mayor presión ambiente del agua. El diafragma activa la válvula de baja presión, la cual se abre permitiendo que el aire fluya hacia el buzo. Mientras mayor es la demanda, mayor es la abertura de la válvula de baja presión, permitiendo que más aire fluya hacia el buzo. Cuando el buzo detiene la inhalación, la presión en ambos lados del diafragma se equilibra nuevamente y la válvula de baja presión se cierra. Cuando el buzo exhala, el aire pasa a través de al menos una descarga y escapa hacia el agua.

c) **Reguladores de manguera única**. En un regulador de demanda de manguera única de dos etapas, la primera etapa está montada sobre la válvula del cilindro. El montaje de la segunda etapa incluye la boquilla y una válvula para descargar el aire exhalado directamente al agua. Las dos etapas están conectadas por una manguera de baja presión, la cual pasa sobre el hombro derecho del buzo. La segunda etapa tiene un botón de purga, el cual, cuando se activa, permite que el aire de baja presión fluya a través del regulador y la boquilla forzando a desalojar el agua que haya entrado al sistema. La respiración compartida (un buzo que provee aire desde el regulador a un compañero) se logra más fácilmente con un regulador de manguera única. El uso de un regulador secundario o adicional acoplado a un regulador ("octopus") es uno de los métodos preferidos para compartir respiración. La principal desventaja de los reguladores de manguera única es su tendencia al congelamiento en aguas extremadamente frías y las burbujas de aire frente a la máscara que entorpecen la visión.

d) **Máscara Completa.** La máscara facial EXO 26 puede ser utilizada con primer estado de un regulador de manguera única hasta la profundidad máxima aprobada para el regulador.

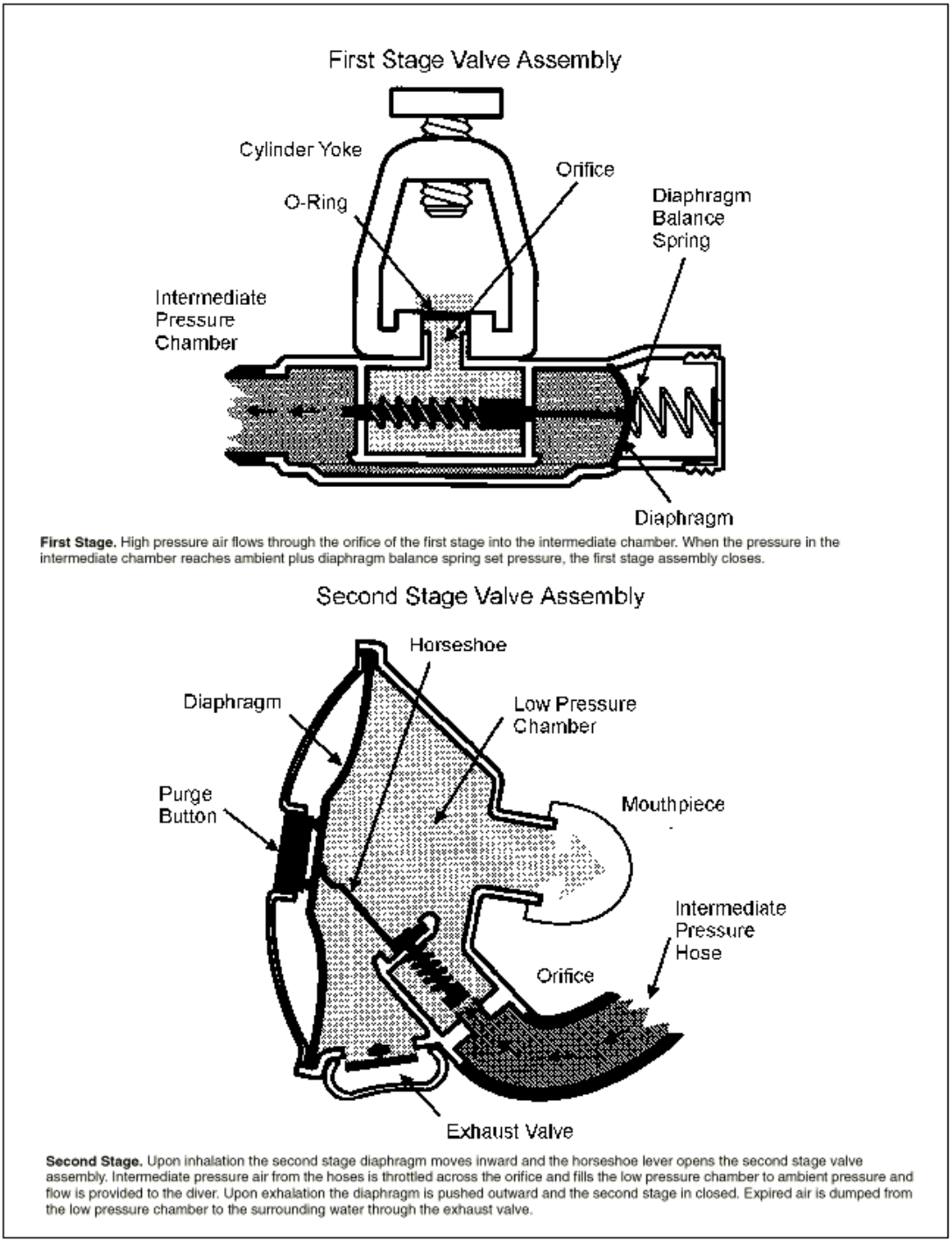


Figura 1. Esquema de un regulador de demanda.

Figura 2. Máscara de cara completa

e) **Boquilla**. El tamaño y diseño de las boquillas difieren entre fabricantes, pero cada boquilla provee pasadizos relativamente estancos para enviar aire de respiración a la boca del buzo. La boquilla debe quedar cómodamente en la boca y ser sostenida con una ligera presión de los labios.

2) **Cilindros**. Los cilindros (tanques o botellas) son diseñados para mantener aire comprimido a alta presión. Debido a los esfuerzos extremos impuestos sobre los cilindros a estas presiones, todos los cilindros usados en buceo scuba deben ser periódicamente inspeccionados y probados. Los cilindros de acero sin costura o aluminio que cumplan con las especificaciones (DOT 3AA, DOT 3AL, DOT SP6498 y DOT E 6498) del Departamento de Transporte de EE.UU. (DOT) están aprobados para el uso Naval. Cada cilindro usado en operaciones de la Armada debe tener símbolos de identificación estampados a la altura de los hombros (Figura 3).

a) **Tamaños aprobados de cilindros**. Los cilindros aprobados están disponibles en varios tamaños y pueden ser usadas configuraciones de uno o dos cilindros para alimentar la cantidad requerida de aire para la inmersión. El volumen del cilindro, expresado en pies o pulgadas cúbicas, es una medida del volumen interno del cilindro. La capacidad de un cilindro expresada en pies cúbicos estándar o litros, es la cantidad de gas (medido en condiciones de superficie) que el cilindro mantiene cuando se carga a su presión nominal. La Tabla 1 enumera los tamaños de algunos cilindros estándar.

DOT3AA2250 Z45015 PST AB 7-90 + 1. Especificación material DOT, DOT3AA presión de trabajo 2,250 psig. 2. N° de serie asignado por fabricante. 3. Marca de identificación del fabricante. 4. Sello de inspección. 5. Mes y año del Test de calificación. 6. Signo positivo (+) indica presión de aire admisible sobre la presión de servicio o trabajo. **CILINDRO ACERO**	DOTST6498/3000 OR DOT3AL/3000 Z45015 AB 7-90 1.Especificación material DOT, DOTST6498 ó DOTSAL Presión de trabajo de 3.000 psig. 2.N° de serie asignado por el fabricante. 3.Sello de inspección. 4.Mes y año del Test de calificación. **CILINDRO ALUMINIO**

Figura 3. Marcas típicas de un Cilindro de gas.

b) **Requerimientos de inspección**. Los cilindros deben ser inspeccionados visualmente al menos una vez cada 12 meses y cada vez que se sospeche que hay agua o material particulado en él. Los cilindros que contengan acumulaciones visibles de corrosión deben ser limpiados antes de ser puestos en servicio. Los cilindros de acero y aluminio disponibles en el comercio, especificados en la lista ENA, que cumplan las especificaciones DOT, así como los cilindros diseñados bajo especificaciones de la Armada, deben ser inspeccionados visualmente al menos anualmente y deben ser probados hidrostáticamente al menos cada 5 años de acuerdo con las regulaciones de las Directivas DIRISNAV.

Cilindro Circuito **Abierto Descripción**	**Tasa Presión Trabajo**	**Volumen Interno**	**Capacidad Absoluta de aire a una Tasa de Presión**	**Presión Reserva**	**Dimensiones Extremas**	**(pulgadas)**
Acero 72	2,250	0,420	64.7	500	6.80	25.00
Aluminio 50	3,000	0,281	48.5	500	6.89	19.00
Aluminio 63	3,000	0,319	65.5	500	7.25	21.75
Aluminio 80	3,000	0,399	81.85	500	7.25	26.00
Nota: 50 pies^3 es el mínimo tamaño autorizado para Botellas de buceo. Los buzos tácticos están autorizados para utilizar cilindros de menor tamaño para operaciones especiales.						

Tabla 1. Datos de Cilindros.

c) **Orientaciones para el manejo de cilindros**. Las regulaciones generales de seguridad que gobiernan el manejo y uso de los cilindros de gas comprimido a bordo de los buques de la Armada están contenidas en la Directiva Direcing "Manejo de acumuladores de gas Comprimido". Las personas responsables por el manejo, almacenamiento y carga de cilindros deben estar familiarizados con estas regulaciones. Debido a que los cilindros están sujetos a un manejo continuo y debido a los peligros derivados de una unidad dañada, es mandatorio una estrecha adherencia a estas reglas.

3) **Manifold y válvulas de cilindro**. Las válvulas de cilindros y los manifolds constituyen el sistema que pasa el aire a alta presión desde los cilindros al primer estado del regulador. La válvula del cilindro sirve como válvula de abertura/cerrado y está unida al cilindro con una conexión de hilo macho recta que contiene un oring de neopreno en el cuerpo de la válvula.

a) **Tapones de explosión y discos de seguridad**. La válvula del cilindro contiene un tapón de explosión o disco de seguridad en el evento de una acumulación excesiva de presión. Cuando se utiliza un manifold de bibotella, se instalan dos tapones de explosión o discos de seguridad según la especificación del manual técnico del fabricante.

b) **Conectores de manifolds**. Si dos o más cilindros se usan en conjunto, se necesita una unidad de manifold que provea la necesaria interconexión. En la actualidad sólo se ha autorizado la adquisición de bibotellas ensambladas en fábrica.

c) **Requerimientos del manómetro de presión de la Botella**. En general, es preferible una válvula de cilindro con una reserva de aire (válvula J), pero es factible la utilización de un manómetro sumergible que indique la presión del contenido del cilindro. La inmersión debe estar terminada cuando la presión del cilindro alcance las 500 psi para monobotellas o 250 psi para bibotellas. El mecanismo de reserva de aire alerta al buzo que la provisión de aire disponible está casi agotada y le entrega una reserva suficiente para alcanzar la superficie. El mecanismo contiene una válvula de control del tipo resorte. Cuando se torna difícil obtener una respiración completa, el buzo debe alcanzar sobre su hombro izquierdo y tirar de la palanca de reserva, abriendo la válvula de reserva y haciendo que el aire remanente quede disponible.

   La planificación del buceo no debe extender el tiempo en el fondo por medio del uso del aire de reserva. El buzo nunca debe asumir que la provisión de aire de reserva será suficiente. Cuando la resistencia a la respiración se torna obvia, el buzo debe notificar a su compañero que la provisión de aire está baja y ambos deben comenzar a ascender inmediatamente. **La inmersión debe ser concluida cuando cualquiera de los buzos cambie a aire de reserva.**

4) **Arnés**. Una gran variedad de arneses usadas para sostener las botellas sobre la espalda del buzo han sido aprobados para uso de la Armada. El arnés puede incluir un marco liviano con el(los) cilindro(s) sostenidos en su posición con abrazaderas o correas. El sistema usual para asegurar el cilindro al buzo utiliza correas en los hombros y cintura. Todas las correas deben ser de rápida liberación, fácilmente operables con cualquier mano, de forma que el buzo pueda remover el cilindro y dejarlo atrás en caso de una emergencia.

c.- Equipamiento mínimo.

1) **Máscara facial**. La máscara facial protege los ojos y nariz del buzo del agua. Adicionalmente, permite adecuar la vista al colocar una capa de aire entre los ojos del buzo y el agua. Las máscaras faciales están disponibles en una variedad de formas y tamaños para el confort del buzo. Para comprobar el ajuste adecuado, coloque la máscara en su posición con una mano e inhale suavemente a través de la nariz. La succión producida debe mantener la máscara en su lugar, esto indica que debería proveer un buen sello en el agua.

2) Algunas máscaras están equipadas con una válvula de purga de una vía para ayudar a aclarar la máscara. Es importante que las máscaras posean algún sistema para poder efectuar la maniobra de Valsalva. Muchos modelos están disponibles para los buzos que utilizan lentes. Un tipo provee una placa facial con la prescripción, mientras otro tipo tiene soportes especiales para los lentes. Todas las placas faciales deben ser construidas de vidrio de seguridad templado o inastillable, ya que las construidas de vidrio ordinario pueden ser peligrosas. Las placas de plástico en general no son apropiadas ya que se empañan y rayan fácilmente.

   El tamaño o forma de la placa facial es materia de elección personal, pero el buzo debe utilizar una máscara que provea un rango de visión amplio y claro.

3) **Chaleco salvavidas/Compensador de Boyantez**. Las principales funciones de los salvavidas son asistir al buzo al alcanzar la superficie en una emergencia y mantener al buzo sobre la superficie en posición de espaldas (cara arriba) (Figura 4). El aparato de inflado de emergencia en el salvavidas puede ser activado por el buzo o por un compañero de misión si es que el buzo está inconsciente o de alguna manera incapacitado.

Figura 4. Compensador de boyantez.

Todos los modelos utilizados por la Armada deben ser autorizados por la Lista ENA y tener aparato de inflado manual además del sistema de inflado de emergencia. Con la excepción del equipamiento utilizado por Buzos Tácticos o Infantes de Marina, se requiere una válvula de sobrepresión o de alivio como garantía ante una posible ruptura del compensador durante el ascenso. Para la selección del compensador para una misión específica debe consultar el manual técnico individual. El uso de ciertos ECC cerrados o semicerrados requerirá el uso de un salvavidas.

El salvavidas deberá ser lo suficientemente robusto para resistir el uso y desgaste normal, y de suficiente volumen para levantar a un buzo inconsciente desde la máxima profundidad de inmersión hasta la superficie en forma segura. La mayoría de los salvavidas actualmente en uso utilizan cartuchos de dióxido de carbono como medio de inflado en una emergencia. Los cartuchos deben ser del tamaño adecuado para el salvavidas. Para garantizar que el peso actual cumple con las tolerancias de peso para los cartuchos, éstos deben ser pesados a su recepción y previo al uso, de acuerdo a la de mantención del salvavidas.

3) **Compensador de boyantez**. Cuando un equipo de buceo específico no requiere un salvavidas, se puede utilizar un compensador de boyantez, a discreción del Supervisor de Buceo. Cuando se selecciona un compensador de boyantez debe considerarse un gran número de factores. Estos incluyen: tipo de traje húmedo, profundidad de buceo, características del equipo de respiración, naturaleza de la actividad de buceo, accesorios del equipamiento y cinturón de pesos.

   Como aparato de compensación de boyantez, el compensador puede ser inflado con un inflador de baja presión conectado al regulador de primera etapa, o un tubo de inflado oral. Cualquier compensador de boyantez seleccionado para uso naval debe tener una válvula de alivio de sobrepresión. El compensador es usado en conjunto con los pesos del buzo para controlar la boyantez en la columna de agua permitiéndole al buzo aumentar el desplazamiento a través del inflado del aparato, o disminuirlo mediante la descarga. Es necesario efectuar entrenamiento y la práctica bajo condiciones controladas son necesarias para dominar las técnicas de compensación de boyantez. El inflado rápido puede causar una excesiva boyantez y un ascenso descontrolado. El buzo debe descargar sistemáticamente aire del compensador durante el ascenso para mantener un buen control. Los pesos instalados en un compensador de boyantez tipo chaleco deben ser desmontables.

   Refiérase al manual técnico apropiado para las instrucciones completas de operación y mantención del equipamiento.

3) **Cinturón de pesos**. El equipo está diseñado para tener boyantez casi neutra. Una botella llena tenderá a tener boyantez negativa, transformándose en ligeramente positiva al consumirse la carga de aire. Muchos buzos tienen boyantez positiva y necesitan añadir un peso extra para lograr un estado de boyantez neutra o ligeramente negativo. Este peso extra es provisto por un cinturón de pesos usado alrededor de todo el resto de equipamiento y ajustado con correas de manera que pueda ser fácilmente liberado en caso de una emergencia.

Cada buzo debe seleccionar el estilo y tamaño del cinturón y los pesos que mejor acomodan. Un sinnúmero de diferentes modelos están disponibles. Un cinturón de pesos debe reunir ciertos estándares básicos: la hebilla debe ser de rápida liberación, facilidad de operación con cualquier mano; los pesos (normalmente hechos de plomo) deben tener cantos suaves para no rozar la piel del buzo o dañar el traje y el cinturón debe ser de un material resistente al medio ambiente.

5) **Cuchillo**. Muchos tipos de cuchillos están disponibles. Para trabajos de desminaje u otras misiones especiales se requiere un cuchillo no magnético.

Los cuchillos de buceo deben tener hojas resistentes a la corrosión y un mango de plástico, goma dura o madera. Los mangos hechos de madera deben ser protegidos del agua con pintura, cera o aceite de linaza. Se evitarán los mangos de corcho o hueso, ya que estos materiales se deterioran rápidamente cuando están sujetos a constante inmersión en agua salada. El corcho también puede hacer que el cuchillo flote lejos del buzo.

Los cuchillos pueden tener hojas de simple o doble filo con el extremo aguzado o biselado. El cuchillo más útil tiene un canto afilado y el otro dentado. Todos los cuchillos deben mantenerse afilados.

El cuchillo debe ser mantenido en una funda apropiada y llevado sobre el salvavidas, la cadera, el muslo o la pantorrilla. El cuchillo debe tener fácil acceso, no debe interferir con el movimiento corporal, y debe estar ubicado de manera de no ser un estorbo para nadar o trabajar. La funda debe sostener al cuchillo con un seguro pero de fácil liberación.

El cuchillo y su funda no deben asegurarse al cinturón de pesos. Si los pesos son liberados en una emergencia, el cuchillo se puede extraviar no intencionalmente.

6) **Aletas**. Las aletas incrementan la eficiencia del buzo, permitiendo un nado más rápido y con menos gasto de energía. Las aletas están hechas de una gran variedad de materiales y estilos.
Cada característica - flexibilidad, tamaño de la aleta y configuración – contribuye a la potencia relativa de la aleta,. Una aleta grande transmitirá mayor potencia desde las piernas al agua, siempre que las piernas tengan la fuerza suficiente para usar una gran aleta. Las aletas pequeñas o suaves deben ser evitadas.

7) **Reloj de pulsera**. Los relojes analógicos de los buzos deben ser resistentes al agua, a la presión y equipados con una esfera rotatoria fuera de la esfera que pueda ser programada para indicar el tiempo de buceo transcurrido. También es necesario un dial con números grandes y luminosos. Características adicionales como cuerda automática, componentes no magnéticos y acción de detención del reloj están disponibles. También están aprobados para uso naval Los relojes digitales, con capacidad de detención del reloj para indicar el tiempo de buceo transcurrido.

8) **Profundímetro**. Mide la presión creada por la columna de agua sobre el buzo y está calibrado para entregar una lectura directa de la profundidad en pies o metros de agua salada. Debe estar diseñado para ser leído bajo condiciones de visibilidad limitada. El mecanismo de medición es delicado y debe ser tratado cuidadosamente. La precisión del indicador debe ser controlada de acuerdo al sistema planificado de mantención o siempre que se sospeche un mal funcionamiento. Esto puede realizarse llevando el indicador a una profundidad conocida y comprobando la lectura, o colocándolo en una cámara de descompresión o cámara de pruebas de presión para comparar las profundidades.

60103. EQUIPAMIENTO OPCIONAL PARA OPERACIONES DE BUCEO

Los requerimientos específicos de una operación de buceo determinan que ítems de equipamiento opcional pueden ser necesarios. Esta sección enumera algunos de los equipos que pueden ser usados.

- Traje de buceo:

  Traje húmedo, Traje seco de volumen variable, Guantes, Caperuza, Botas, botines o zapatos de suela dura.

  - Pito
  - Lápiz y pizarra
  - Herramientas y luces
- Señal luminosa
  - Bolso de herramientas
  - Señales acústicas
  - Cabos y flotadores
  - Compás de muñeca
  - Flotador testigo
  - Snorkel
  - Indicador sumergible de presión de cilindro
  - Luz química o luz estroboscópica

a.- **Vestimenta protectora.** Un buzo necesita alguna forma de protección frente al agua fría, a la pérdida de calor durante una larga exposición en aguas de temperatura moderada, de la polución química o bacteriana en el agua y de los peligros planteados por la vida marina y los obstáculos submarinos. Esta protección puede ser entregada por un traje húmedo o un traje seco. (Figura 5).

1) **Trajes húmedos**. El traje húmedo es un traje que se ajusta al cuerpo del buzo, usualmente hecho de neopreno de células cerradas. El traje atrapa una delgada capa de agua próxima a la piel del buzo, donde es calentada por el cuerpo del buzo. Los trajes húmedos están disponibles en variados espesores, pero el más usado en la Armada es de 7 mm. La selección de la talla de traje húmedo dependerá de cada buzo, debido a que el calce apropiado es crítico en la selección de un traje húmedo. El traje no debe restringir los movimientos del buzo. El comportamiento de un traje depende del espesor del traje, la temperatura del agua y la profundidad.

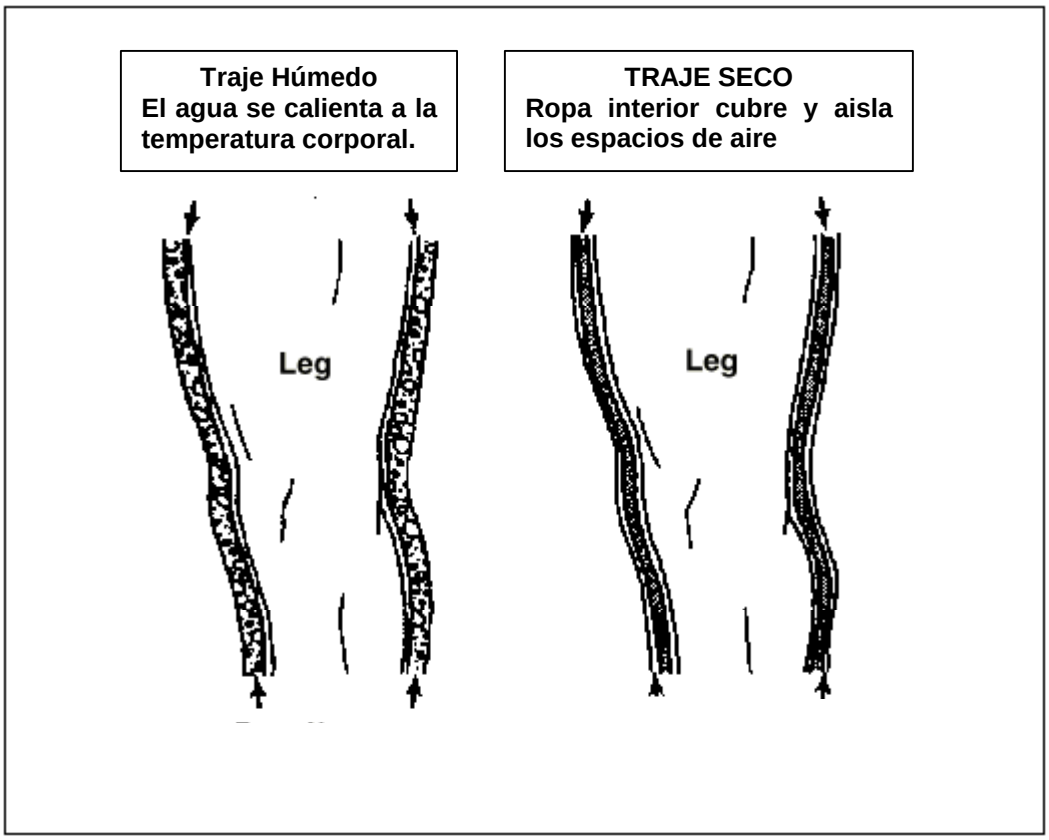


Figura 5. Vestimenta protectora

2) **Trajes secos.** El Traje Seco de Volumen Variable ha probado ser efectivo en mantener calientes a los buzos en aguas casi congeladas. Está típicamente construido de neopreno de células cerradas de 7 mm con un respaldo de nylon en ambos lados. Las botas se entregan como una parte integral del traje, pero la capucha y los guantes son usualmente separados. El traje se cierra por medio de una cremallera a prueba de agua y presión. El inflado se controla usando válvulas de entrada y salida adheridas al traje. El aire se alimenta desde un reductor de presión sobre un cilindro auxiliar o desde la provisión de aire de emergencia de la botella. Cerca de 0.2 pies cúbicos de aire se requieren para el inflado normal. Debido a este inflado, se debe usar un peso ligeramente superior al que se usaría con un traje húmedo. Normalmente, se puede usar ropa térmica debajo del traje para aislación.

3) **Guantes**. Los guantes son un ítem esencial de la vestimenta protectora. Pueden estar hechos de cuero, género o goma, dependiendo del grado y tipo de protección requerida. Los guantes protegen las manos de cortes y roces, y proveen protección térmica. Algunos estilos están diseñados para tener propiedades aislantes, pero pueden limitar la destreza del buzo.

   Los trajes secos o húmedos pueden ser usados con capuchas, guantes, botas o zapatos de suela dura dependiendo de las condiciones. Si el buzo estará trabajando bajo condiciones donde el traje puede ser fácilmente rasgado o perforado, el buzo debe ser provisto con protección adicional tal como un overol o una vestimenta de lona pesada.

4) **Pizarra de escritura**. Una lámina de superficie rugosa de acrílico conforma una excelente pizarra para registrar datos, llevar o pasar instrucciones y comunicaciones entre los buzos. Un lápiz de grasa o grafito debe estar unido a la pizarra con un cabo.

5) **Señal luminosa**. Una señal luminosa se usa para atraer la atención si el buzo llega a la superficie muy alejado de la tripulación de apoyo. Puede ser usada cualquier señal a prueba de agua que pueda ser llevada y encendida con seguridad por el buzo, pero el tipo preferido es el MK 124 MOD 0 (NSN 1370-01-030-8330). Estas son señales diurnas-o-nocturnas que dan un denso humo rojizo o anaranjado en el día y una brillante luz roja en la noche. Cada señal dura aproximadamente 20 segundos.

6) **Señales acústicas**. Las señales acústicas o balizas son aparatos operados por batería que emiten señales de alta frecuencia cuando son activados. Estos aparatos pueden ser usados por los buzos para ayudar a mantener un registro de su posición o adosados a objetos para servir como puntos fijos de referencia.

7) **Líneas y flotadores**. Una línea de seguridad debe ser usada cuando es necesario intercambiar señales, mantener registro de la ubicación del buzo u operar con visibilidad limitada. Existen tres tipos básicos de líneas de seguridad: la línea de servicio, la línea de flotación y la línea de seguridad. Se debe utilizar una línea de servicio no hay acceso directo a la superficie disponible.

La línea de flotación llega desde el buzo hasta un flotador apropiado en la superficie. Este flotador puede ser un trozo de madera con pintura brillante, una botella plástica sellada y vacía, un aro salvavidas o cualquier objeto flotante y visible similar. Si una pareja de buzos está involucrada en una búsqueda, el uso de un flotador común les da un punto de reunión. Se pueden amarrar líneas adicionales para herramientas u otros equipos al flotador. Una línea de seguridad, de 6 a 10 pies de largo, se usa para conectar una pareja de buzos durante la noche o cuando la visibilidad es pobre.

Cualquier línea usada en operaciones scuba debe ser resistente y tener una boyantez neutra o ligeramente positiva. El nylon, el dacron y la manila son materiales apropiados. Siempre coloque una línea de seguridad al buzo, nunca a una pieza de equipo que pueda ser arrancada o pueda ser quitada durante una emergencia.

8) **Snorkel.** Un snorkel es un tubo simple de respiración que le permite al buzo nadar sobre la superficie boca abajo distancias largas sin necesidad de levantar la cabeza. Esto le permite al buzo investigar aguas poco profundas desde la superficie, conservando la provisión de aire. Cuando se usan snorkels para bucear sin traje, generalmente están adosados a la máscara con un seguro de goma al lado opuesto del regulador.

9) **Compás**. Pequeños compases magnéticos son usados comúnmente en la navegación submarina. Tales compases no son excesivamente precisos, pero pueden ser valiosos cuando la visibilidad es pobre.

10) **Indicadores sumergibles de presión de cilindro**. Los indicadores sumergibles de presión de cilindro proveen al buzo de una lectura continua del aire remanente en el o los cilindros. Varios de estos indicadores, apropiados para el uso de la Armada, están disponibles en el comercio. Muchos están equipados con una manguera de goma de alta presión de 2 o 3

pies de largo con fittings estándar, y son acopladas directamente a la primera etapa del regulador.
Cuando se abre el paso del aire del cilindro, el buzo debe girar la cara del indicador fuera de su alcance ante la eventualidad de una explosión.

60104. ALIMENTACIÓN DE AIRE

Un importante paso primario en cualquier operación de buceo es calcular la alimentación de aire requerida. Este es función del tiempo esperado de duración de la inmersión a la profundidad de trabajo. La duración del aire en los cilindros depende de la profundidad a la cual el aire es entregado, ya que la tasa de consumo de aire se incremente con la profundidad.

a.- **Duración del aire.** La duración del aire de un cilindro dado o de una combinación de cilindros depende de:

- La tasa de consumo del buzo, la que varía con la tasa de trabajo del buzo.
- La profundidad de la inmersión.
- La capacidad del cilindro.
- La presión máxima y mínima del cilindro.

La temperatura usualmente no es significativa en el cálculo de la duración del aire, a menos que las condiciones de temperatura sean extremas. Cuando se bucea en condiciones extremas de temperatura, se debe aplicar la ley de Charles/Gay-Lussac.

Existen tres pasos para calcular cuanto durará el suplemento de aire de un buzo :

1. Calcular la tasa de consumo de aire mediante esta fórmula:

$$C = \frac{D*33}{33} * RMV$$

donde :

C = Tasa de consumo del buzo en pies cúbicos estándar por minuto (scfm)

D = Profundidad máxima en fsw

RMV = Volumen de respiración por minuto del buzo, pies cúbicos por minuto actuales (acfm) (de la Figura 6).

2. Calcular la capacidad de aire disponible provista por los cilindros. La capacidad de aire debe ser expresada como la capacidad que estará realmente disponible para el buzo, más que la capacidad total de los cilindros. La fórmula para calcular la capacidad de aire disponible es :

$$Va = \frac{Pc - Prm}{14.7} \times (FV \times N)$$

donde :
Pc = Presión del cilindro medida (normalmente máxima), psig
Prm = Presión mínima recomendada del cilindro, psig
FV = Volumen interno (scf)
N = Número de cilindros
Va = Capacidad disponible (scf)

3. Calcular la duración de la capacidad disponible (en minutos) usando la siguiente fórmula:

$$\text{Duración} = \frac{Va}{\mathbf{C}}$$

Donde :

Va = Capacidad disponible, scf
C = Tasa de consumo, scfm

Problema ejemplo. Determinar la duración del aire de un buzo realizando trabajo moderado a 70 fsw usando un par de cilindros de acero de 72 pies cúbicos cargados a 2250 psig.

1. Calcular la tasa de consumo del buzo en scfm. De acuerdo a la Figura 7-6, la tasa de consumo a esa profundidad es de 1.4 acfm.

$$C = \frac{D+33}{33} \times RMV \quad \Rightarrow \quad C = \frac{70 + 33}{33} \times 1.4 \qquad C = 4.37 \text{ scfm}$$

2. Calcular la capacidad de aire disponible provista por los cilindros. La Tabla 7-1 contiene los datos del cilindro usado en este cálculo:

Volumen inundable = 0.42 scf
Presión de trabajo considerada = 2250 psig
Reserva de presión para par de cilindros de 72 pies cúbicos = 250 psig

$$V = \frac{Pc - Prm}{} \times (FVxN) \qquad V = \frac{2250 - 250}{} \times (0.42x2) \qquad V = 114 \text{ scf}$$

14.7 14.7

3. Calcular la duración de la capacidad disponible :

Duración = $\frac{Va}{C}$ Duración = $\frac{114 \text{ scf}}{4.37 \text{ scfm}}$ Duración = 26 minutos

El tiempo total para la inmersión, desde el descenso inicial hasta la llegada a la superficie al final de la inmersión, está limitado a 26 minutos.

b.- **Aire comprimido de fuentes comerciales.** El aire comprimido que cumple los estándares establecidos debe ser obtenido de fuentes navales. En la ausencia de las fuentes navales apropiadas, el aire puede ser obtenido de fuentes comerciales. Generalmente, cualquier agencia civil o firma que maneje oxígeno comprimido puede proveer aire puro comprimido. El aire obtenido de fuentes comerciales debe cumplir los requerimientos de aire de Grado A Fuente I o Fuente II, especificados por FED SPEC BB-A-1034B.

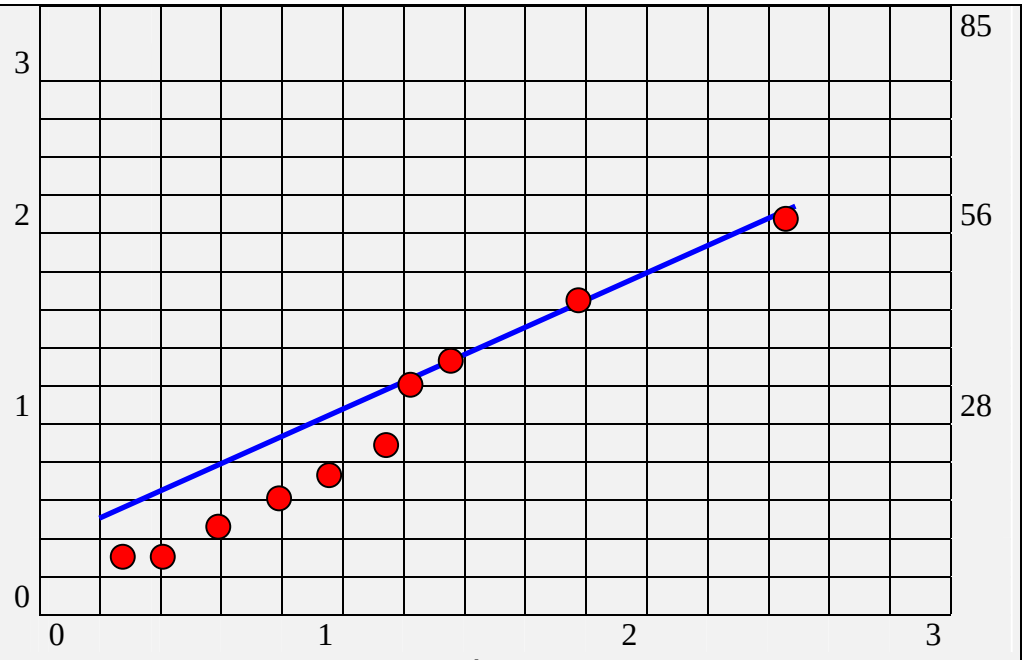
c.- **Métodos de carga de cilindros de buceo.** Los cilindros deberán ser cargados sólo con aire que cumpla los estándares de pureza de aire de buceo. Una unidad de buceo puede cargar sus propios cilindros mediante uno de los dos métodos siguientes: (1) Mediante cascada o transferencia de aire desde bancos a los cilindros; o (2) usando un compresor de aire de alta presión. La cascada es el más rápido y eficiente método de cargar botellas de buceo. La lista ENA entrega los compresores de alta presión aprobados.

El sistema normal de cascada consiste de bancos de aire conectados por un manifold y conectados al sistema de alimentación de botellas. Este sistema consiste de un yugo de conexión, un manómetro y una válvula de alivio para descargar la presión en la línea después de cargar un cilindro. Un sistema de cascada, se muestra el sistema de alimentación en la Figura 7.

La presión de trabajo de una manguera está determinada como un cuarto de su presión de ruptura. Aunque este criterio para la presión de trabajo fue desarrollado sobre la base de las características de mangueras de goma, se ha determinado que también es apropiado para las mangueras plásticas.

Las unidades que usen líneas de carga no deben exceder la presión de trabajo de la manguera. Si el nivel de presión de trabajo en las líneas de carga sobrepasa los requerimientos del servicio, restrinja la presión de servicio a la presión de trabajo de la manguera y efectúe el reemplazo inmediatamente.

Para evitar daños por latigazos cuando una manguera falla, se deben instalar guías amadrinadas. Estas pueden ser de cable, cadena, o nylon de 3/8 de pulgada, colocados en los extremos de la manguera. El cabo de amarre debe ser un nylon de 1/8 de pulgada o un material de resistencia equivalente. Las cintas no están autorizadas para este propósito.



Trabajo	VO_2 (lpm)	RMV (acfm)	RMV (lpm)	Trabajo Level
Descanso	0.24	035	10	__
Sentado, de pie, quieto	0.40	042	12	liviano
Caminando en el tanque, tasa mínima	0.58	053	15	liviano
Actividad liviana en cámara	0.70	064	18	liviano
Caminando, fondo de barro, tasa mínima	0.80	071	20	moderado
Caminando en el tanque, tasa máxima	1.10	099	28	moderado
Caminando, fondo de barro, tasa máxima	1.20	114	32	moderado
Nadar, 0,8 nudos, velocidad promedio (utilizando como factor de planificación, redondear en 1,40)	1.40	134	38	moderado
Nadar, 1 nudo	1.70	159	45	arduo,
Nadar, 1,2 nudos	2.50	212	60	pesado severo

Figura 6. Consumo de Oxígeno y RMV a diferentes rangos de trabajo.

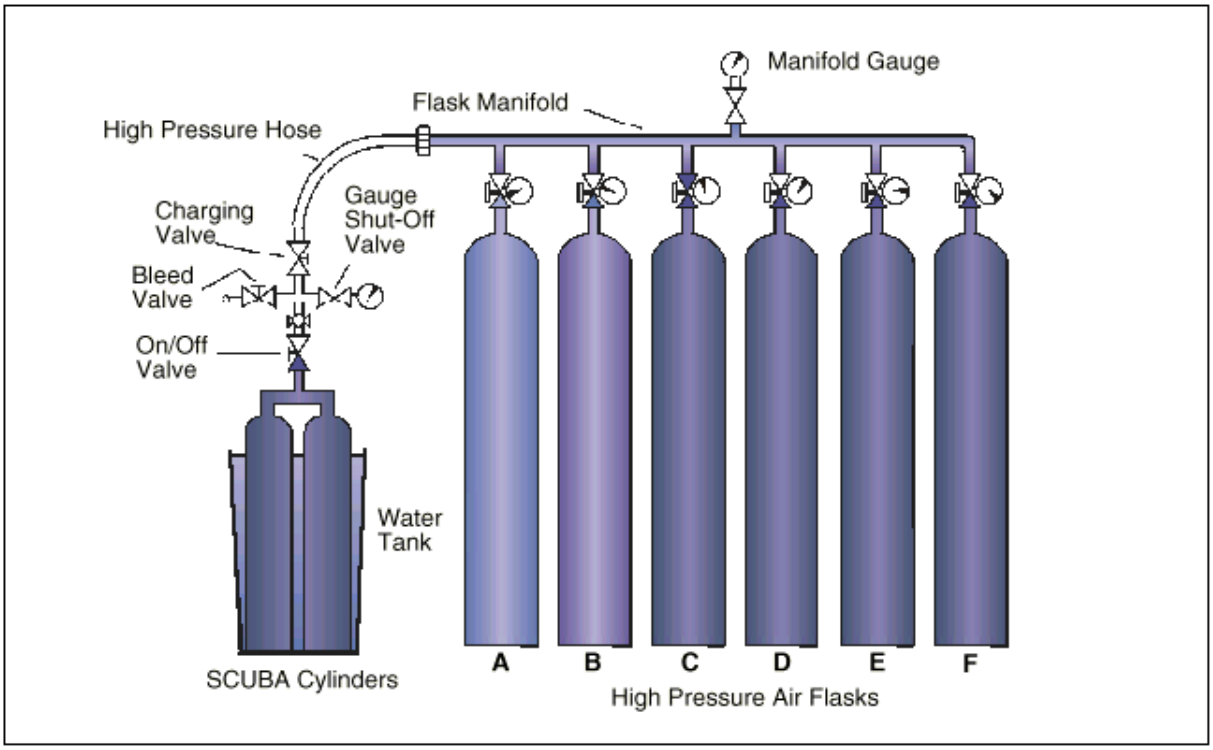


Figura 7. Sistema de cascada para cargar cilindros de buceo.

d.- Procedimientos operativos para cargar tanques de buceo. Normalmente, los tanques son cargados utilizando el siguiente procedimiento de operación (OP), el cual puede ser ajustado a cada unidad:

- Determinar que el cilindro tiene su prueba hidrostática vigente.
- Comprobar la presión existente en el cilindro con un manómetro de adecuado.
- Unir el cilindro al fitting de yugo en el sistema de carga y conectar la válvula de alivio.
- Por seguridad y para disipar el calor generado en el proceso de carga, cuando las instalaciones lo permitan, sumergir los cilindros en un estanque con agua mientras se llenan. Un tambor es un contenedor apropiado para este propósito.
- Apretar todos las conexiones del sistema.
- Cerrar la válvula de purga.
- Colocar la palanca del mecanismo de reserva en la posición abierta (palanca abajo).
- Abrir la válvula de admisión del cilindro. (El procedimiento apropiado es abrir la válvula completamente y luego cerrar un cuarto de vuelta para evitar daños por forzamiento).
- Abrir la válvula del banco de alimentación.

- Lentamente abrir la válvula de carga. El sonido del aire fluyendo a los cilindros es notorio. El operador controlará el flujo de manera que la presión en el cilindro aumente a una tasa que no exceda las 400 psig por minuto. Si no es posible sumergir los cilindros durante la carga, la tasa de carga no debe exceder las 200 psig por minuto. La tasa de llenado debe ser controlada para prevenir el recalentamiento; no debe permitirse que el cilindro se caliente tanto como para no tocarlo.
- Monitorear el indicador de presión cuidadosamente. Cuando la lectura alcance la presión nominal para el cilindro scuba, cierre la válvula del primer cilindro y tome una lectura.
- Cierre la válvula de carga.
- Cierre la válvula de admisión del cilindro Scuba.
- Asegurar que todas las válvulas del sistema están cerradas.
- Dejar que el cilindro se enfríe a temperatura ambiente. Una vez que el cilindro esté frío, la presión habrá bajado y puede ser necesario rellenar el cilindro.

1) **Relleno de cilindros**. Siga este procedimiento para rellenar cilindro :

   - Abra la válvula de admisión del cilindro Scuba.
   - Seleccione un banco de alimentación con una presión mayor que la del cilindro.
   - Abra la válvula de alimentación del banco.
   - Estrangule la válvula de carga hasta llevar el cilindro a su límite nominal.
   - Cierre todas las válvulas.
   - Abra la válvula de purga y despresurice la línea.
   - Cuando el aire haya dejado de fluir a través de la válvula de purga, desconecte el cilindro del yugo de conexión.
   - Restaure el mecanismo de reserva. (palanca en posición superior).

   En ausencia de acumuladores de aire de alta presión, se puede utilizar un compresor para cargar los cilindros directamente. Si está disponible un compresor adecuado, el procedimiento básico de carga será el mismo delineado para la cascada, excepto que el compresor reemplazará el banco de cilindros. Las consideraciones especiales que deben aplicarse cuando se usan compresores de aire son:

- El compresor debe estar listado en la lista ENA.
- El compresor debe entregar aire que cumpla con los estándares establecidos de pureza.
- El compresor debe estar equipado con filtros de partículas. Los filtros químicamente activos no están autorizados.
- Un compresor con motor siempre debe estar adecuadamente orientado, de manera que no haya peligro de aspirar los gases de escape del motor u otro aire contaminado.
- Sólo deben ser usados los lubricantes especiales para compresores de buceo.

e.- **Precauciones de seguridad para la carga y manejo de cilindros**. Las siguientes reglas de seguridad se aplican a la carga y al manejo de cilindros:

- Traslade los cilindros sosteniendo la válvula y el cuerpo del cilindro. Evite trasladar un cilindro afirmado desde las correas, ya que la hebilla de liberación rápida puede accidentalmente dispararse.

- No intente llenar ningún cilindro si la fecha de prueba hidrostática ha expirado o si el cilindro parece estar en malas condiciones. Las abolladuras, oxidación, válvulas dobladas, mecanismos de reserva agripados o la evidencia de contaminación interna; son todos signos de peligro. Verifique la Directiva Direcing de Cilindros de Gas Comprimido.

- Siempre use manómetros para medir la presión del cilindro. Nunca apunte el dial de un manómetro que está siendo utilizado hacia la cara del operador.

- Nunca trabaje sobre la válvula de un cilindro mientras el cilindro está cargado.

- Asegúrese que el mecanismo de reserva de aire esté abierto antes de cargar.

- Use sólo aire comprimido para llenar cilindros convencionales. Nunca llene cilindros con oxígeno. El aire tiene código de color negro, mientras el código del oxígeno es verde.

- Apriete todos los conectores antes de presurizar una línea.
- Cuando se completa la carga, cierre la reserva de aire. Marque el tanque lleno para indicar la presión a la que fue cargado.

- Maneje los cilindros cargados con cuidado. Si un cilindro cargado se daña o si la válvula accidentalmente se golpea, el tanque puede convertirse en un proyectil explosivo. Un cilindro cargado a 2000 psi tiene suficiente energía potencial para propulsarse una gran distancia, destruyendo cualquier obstáculo a su paso.

- Almacene los cilindros llenos en un área fresca y sombreada. Nunca deje cilindros llenos expuestos directamente al sol.

- Los cilindros siempre deben estar apropiadamente trincados a bordo de buques o en los botes de buceo. Nunca deje un cilindro parado sobre su base.

60105. PROCEDIMIENTOS PREVIOS A LA INMERSIÓN

Los procedimientos previos a la inmersión incluyen la preparación del equipamiento, la preparación de los buzos y la conducción de un briefing pre-inmersión antes de que los buzos ingresen al agua.

a.- **Preparación del equipamiento**. Previo a cualquier inmersión, todos los buzos deben inspeccionar cuidadosamente su propio equipo en busca de señales de deterioro, daño o corrosión. El equipamiento debe ser probado verificando su apropiada operación. Los procedimientos pre-inmersión deben estar verificados, siendo preocupación de cada buzo.

1) **Cilindros de aire:**

- Inspeccione el exterior de los cilindros y válvulas por oxido, abolladuras, grietas y cualquier evidencia de debilitación.

- Inspeccione los o-ring.

- Verifique que el mecanismo de reserva esté cerrado (palanca en posición superior) significando que el cilindro llenado está listo para ser usado.

- Mida la presión de los cilindros según el siguiente procedimiento:

1. Acople el manómetro al asiento de la válvula de abertura / cerrado.

2. Cierre la válvula de purga del manómetro y abra el mecanismo de reserva de aire (palanca abajo). Lentamente abra la válvula de abertura / cerrado del cilindro. Manteniendo un paño sobre la cara del manómetro.

3. Lea la presión del manómetro. El cilindro no debe ser usado si la presión no es suficiente para completar la inmersión planeada.

4. Cierre la válvula de abertura / cerrado y abra la válvula de purga del manómetro.

5. Cuando el manómetro indique cero, remueva el manómetro del cilindro.

6. Cierre el mecanismo de reserva de aire (palanca arriba).

7. Si la presión en el cilindro es 50 o más psi sobre el valor nominal, abra la válvula de abertura / cerrado para purgar el exceso y vuelva a medir la presión del cilindro.

2) **Correas del arnés y/o mochila:**

- Compruebe señales de putrefacción y desgaste excesivo.

- Ajuste las correas para el uso individual y compruebe los mecanismos de liberación.

- Compruebe condiciones de agrietamiento y otras señales de inseguridad.

3) **Mangueras de respiración:**

- Compruebe que las mangueras no tengan grietas o perforaciones.

- Pruebe las conexiones de cada manguera al regulador y la boquilla tirando sobre la manguera.

- Compruebe las abrazaderas por corrosión y daño; reemplace si es necesario.

4) **Regulador:**

- Conecte el regulador al manifold del cilindro, asegurándose que el o-ring esté colocado apropiadamente.

- Despegue la válvula del cilindro y espere hasta que las mangueras y el manómetro se equilibren.

- Luego abra completamente la válvula del cilindro y luego ciérrela un cuarto de vuelta.

- Compruebe cualquier fuga en el regulador escuchando el sonido de aire escapando. Si se sospecha una fuga, determine la ubicación exacta sumergiendo la válvula y el regulador en un recipiente con agua y observe la aparición de burbujas. Si la fuga está en el o-ring y el desmontaje no soluciona el problema, reemplace el o-ring y compruebe nuevamente otras fugas.

5) **Salvavidas/ Compensador de boyantez (BC):**

- Infle oralmente el salvavidas para comprobar fugas y luego elimine todo el aire. El gas remanente debe ser removido antes de entrar al agua. Nunca succione el aire ya que puede contener excesivo dióxido de carbono.

- Inspeccione los cartuchos de dióxido de carbono para asegurarse que no hayan sido usados (sellos intactos) y que son del tamaño apropiado para el traje que se está usando y la profundidad de la inmersión.

- Los cartuchos deben ser pesados para determinar la carga.

- El sistema de disparo no debe mostrar desgaste y debe moverse libremente.

- Las correas y las cintas del disparador deben estar libres de cualquier señal de deterioro.

- Cuando la inspección, guárdelo donde no sea dañado. Los salvavidas nunca deben ser usados como soporte, protección o amortiguador para otro equipo.

6) **Máscara facial:**

- Compruebe el sello de la máscara y la condición de la correa.

- Compruebe grietas en los bordes y visor.

7) **Aletas:**

- Compruebe las correas por señales de grietas.

- Inspeccione las aletas por señales de grietas.

8) **Cuchillo de buceo:**

- Compruebe el filo de la hoja del cuchillo.

- Asegúrese que el cuchillo esté sujeto firmemente a la funda.

- Verifique que el cuchillo pueda ser sacado de la funda con facilidad, pero sin caerse.

9) **Snorkel:**

- Inspeccione el snorkel por obstrucciones.

- Compruebe la condición de la boquilla

10) **Cinturón de pesos:**

- Compruebe la condición del cinturón de pesos.

- Asegúrese que el número de pesos sea apropiado y estén seguros en su lugar.

- Verifique que la hebilla de liberación rápida funcione apropiadamente.

11) **Reloj de muñeca sumergible:**

- Asegúrese que el reloj funcione y tenga la hora correcta.

- Inspeccione la correa y los pasadores del reloj.

12) **Profundímetro y compás:**

- Inspeccione los pasadores y correas.

- Si es posible, compruebe el compás con otro compás.

- Haga comprobaciones comparativas con indicadores de profundidad para asegurarse que el indicador marca cero fsw en la superficie.

13) **Equipamiento misceláneo:**

- Inspeccione cualquier otro equipo que vaya a ser utilizado en la inmersión, así como cualquier repuesto que pueda ser necesitado durante la inmersión incluyendo reguladores de repuesto, cilindros y manómetros.

- Compruebe toda la vestimenta de protección, líneas, herramientas, señales y otros equipos opcionales.

b.- **Preparación del buzo y briefing**. Cuando los buzos hayan completado la inspección y prueba de sus equipos, deberán reportarse al Supervisor de Buceo. Los buzos deben recibir un pequeño briefing resumen previo a la inmersión del plan de buceo. Esta información es crítica para el éxito y la seguridad de cualquier operación de buceo y debe referirse sólo a la misión que se llevará a cabo. Todo el personal directamente involucrado en la inmersión debe estar incluido. Los ítems mínimos a cubrir son:

- Objetivos de la inmersión.
- Límites de tiempo y profundidad de la inmersión.
- Asignación de tareas.
- Asignación de acompañantes.
- Técnicas de trabajo y herramientas.
- Fases de la inmersión.
- Ruta al lugar de trabajo.
- Señales especiales.
- Condiciones anticipadas.
- Peligros anticipados.
- Procedimientos de emergencia (por ejemplo, Buzo inconsciente, buzos atrapados, pérdida de aire, abortos de misión, buzo herido, buzo perdido, etc).

Cuando el Supervisor de Buceo determine que todos los requerimientos para la inmersión han sido logrados, los buzos pueden proceder a vestirse para la inmersión.

c.- **Traje de buceo**. Aún cuando los buzos deben ser capaces de equiparse por sí mismos, se recomienda la asistencia de un ayudante. La secuencia de vestimenta es importante ya que el cinturón de plomos debe quedar al exterior de todo otro equipo para facilitar su rápida liberación en una emergencia. Las siguientes recomendaciones deben ser seguidas:

- Traje de Buceo. Asegurar que proporciona una adecuada protección.
- Botines y caperuza.
- Cuchillo de buceo.
- Salvavidas o compensador.
- Botellas de buceo. Se colocan más fácil con el vigilante sosteniendo los cilindros en posición mientras el buzo amarra y asegura el arnés. La botella debe usarse centrado sobre la espalda del buzo tan alto como sea posible sin que llegue a interferir con el movimiento de la cabeza. Todos los herrajes de liberación rápida deben ser ubicados de manera de ser accesibles con cualquier mano. Todas las correas deben ser ajustadas de forma que los cilindros queden firmemente sujetos al cuerpo. Los extremos de las correas deben colgar libremente de forma que los sistemas de liberación funcionen. Si las tiras quedan muy largas, deben ser cortadas y los extremos atados con un pequeño cabo. En este momento, la válvula de Abierto / cerrado del cilindro debe abrirse completamente y girarse de vuelta un cuarto de vuelta. Asegurar que la manguera del compensador de boyantez este conectada.
- Equipo accesorio (reloj de pulsera, indicador de profundidad, snorkel).
- Cinturón de plomos.
- Guantes.
- Aletas.
- Máscara facial o máscara de cara completa.

d.- **Chequeo pre-inmersión**. Los buzos deben reportarse al Supervisor de Buceo para una inspección final. Durante ésta, el Supervisor debe:

- Asegurarse de que el buzo está mental y físicamente preparado para entrar al agua.
- Verificar que todos los buzos tienen el equipamiento mínimo requerido. Cuando se hace buceo con línea, sólo se requiere un reloj y un manómetro por equipo de buceo.

- Verificar que todos los cilindros han sido medidos y que el volumen disponible de aire es suficiente para la duración planeada de la inmersión.
- Asegurarse que todas las hebillas de liberación rápida y broches puedan ser alcanzadas por cualquier mano y están apropiadamente aparejados para una rápida liberación.
- Verificar que el cinturón de plomos quede al exterior de cualquier otro cinturón, correa o equipo y que no se atascará en la base de los cilindros.
- Verificar que el compensador de boyantez no esté restringido libre para expandirse y que todo el aire ha sido evacuado.
- Comprobar la posición del cuchillo para asegurar que permanecerá con el buzo no importando que equipo deje atrás.
- Asegurarse que la válvula del cilindro está completamente abierta y girada un cuarto de vuelta hacia atrás.
- Asegurar que la manguera de alimentación de aire pase sobre el hombro derecho del buzo y que la manguera del compensador pase sobre el hombro izquierdo del buzo.
- Con la boquilla o la máscara completa en su lugar, inspirar y exhalar varias veces, asegurando que el regulador de demanda y las válvulas de control funcionan correctamente.
- En un regulador de dos estados, hundir y liberar el botón de purga del segundo estado y escuchar cualquier sonido indicativo de fugas de aire. Inhale y exhale varias veces para asegurar que las válvulas funcionan correctamente.
- Asegure que ninguna de las conexiones ha sido abierta durante el proceso de vestidura.
- Compruebe que el mecanismo de aire de reserva está cerrado (palanca arriba).
- Conduzca una breve instrucción final del plan de buceo.
- Verifique que las señales de buceo sean desplegadas y el personal y el equipamiento están listos para avisar a otros buques en caso de una emergencia.

60106. INGRESO AL AGUA Y DESCENSO

Los buzos ahora están listos para entrar al agua, donde sus compañeros de buceo o los ayudantes efectuarán una última inspección previa al descenso.

a.- **Ingreso al agua**. Existen muchas maneras de ingresar al agua, usualmente determinada por la naturaleza de la plataforma de buceo. Cuando sea posible, la entrada debe hacerse por una escalera, especialmente en aguas no familiares. Varias reglas básicas se aplican a todos los métodos de entrada:

- Mirar antes de saltar o caer desde una plataforma o escalera.
- Pegue la barbilla al pecho y sostenga los cilindros con una mano para prevenir que el manifold golpee en la parte posterior de la cabeza.
- Sostenga la máscara en su lugar con los dedos y la boquilla en su lugar con la palma de la mano.

1) **Método de salto al agua**. El método de salto al agua es el más frecuente, y se realiza mejor desde una plataforma estable. Los buzos sólo deben realizar un paso largo fuera de la plataforma, manteniendo las piernas en la posición de abertura. Deben tratar de ingresar al agua con una ligera inclinación hacia delante del tronco del cuerpo, para que el golpe en el agua no haga que el cilindro golpeé la parte posterior de la cabeza.

2) **Método del giro hacia atrás**. El método del giro hacia atrás es el método preferido para entrar al agua desde un pequeño bote. Un buzo completamente equipado, parado en el borde de un bote, complicaría la estabilidad de la nave y estaría en peligro de caer ya sea dentro del bote o en el agua. Para ejecutar un giro hacia atrás, el buzo se sienta en la borda del bote, mirando hacia el interior. Con la barbilla pegada al pecho y una mano sujetando la máscara y la boquilla en su lugar, el buzo gira hacia atrás, básicamente moviéndose a través de un salto mortal hacia atrás.

3) **Ingreso al agua desde la playa**. Los buzos que trabajan desde la playa eligen su método de entrada de acuerdo a la condición del oleaje y la pendiente del fondo. Si el agua está calma y la pendiente es gradual, los buzos pueden ingresar caminando, llevando las aletas en la mano hasta que alcancen una profundidad donde puedan nadar. Con oleaje moderado o alto, los buzos, usando las aletas, deben caminar de espaldas a las olas hasta que alcancen una profundidad que les permita nadar.

b.- **Comprobación de superficie (pre-descenso)**. Una vez en el agua, y antes de descender a la profundidad de operación, los buzos hacen un chequeo final de sus equipos. Ellos deben:

- Realizar una prueba de respiración. La respiración debe ser fácil, sin resistencia y sin evidencia de fugas de aire.
- Comprobar visualmente el equipo del compañero, especialmente en todos los puntos de conexión. (válvula del cilindro, mangueras del regulador y boquilla).

- Comprobar que el compañero no tenga correas sueltas o trabadas.
- Compruebe el sello de la máscara facial.
- Compruebe la boyantez. Los buzos deben esforzarse por obtener boyantez neutra. Cuando se acarrea equipo extra o herramientas pesadas, los buzos pueden fácilmente tener boyantez negativa a menos que los pesos sean ajustados consistentemente.
- Si se usa un traje seco, compruebe que no hay fugas. Ajuste el inflado del traje a la boyantez apropiada.
- Oriente la posición con el compás u otros puntos fijos de referencia.

Cuando se hayan satisfecho apropiadamente todos los chequeos del equipo, los buzos reportan su alistamiento al Supervisor de Buceo. El Supervisor de Buceo dirige a los buzos que fijen sus relojes a cero y comienza el tiempo de fondo. El Supervisor da la señal de descender y los buzos descienden bajo la superficie.

TRATADO 7

OPERACIONES DE BUCEO EN AGUAS FRÍAS Y HIELO

70101. INTRODUCCIÓN

A.- **Propósito.** Este capítulo explica los requerimientos especiales para el buceo en hielo y aguas frías.

B.- **Alcance.** Las regiones polares y otros ambientes de clima frío son inequívocamente hostiles para los buzos, el personal de apoyo y al equipamiento. el buceo donde está presente una capa de hielo puede ser extremadamente peligroso y requiere equipamiento especial, así como procedimientos de operación y apoyos adecuados. el conocimiento de las condiciones ambientales, la selección, equipamiento del personal y el adecuado apoyo logístico son vitales para el éxito de la misión y la seguridad de los buzos.

70102. PLANIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES

Los procedimientos normales de buceo generalmente se aplican al buceo en ambientes extremadamente fríos. sin embargo, existen un número significativo de diferencias en equipamiento y procedimientos para incrementar la seguridad del buzo.

a.- **Consideraciones para la planificación.** las siguientes consideraciones especiales de planificación se relacionan con el buceo bajo/cerca de una capa de hielo o en agua bajo 2,7 ºc (37º f):

1) El objeto y la tarea del buceo en hielo deben ser revisados para cerciorarse de que son operacionalmente esenciales.

- Las condiciones ambientales, tal como el espesor del hielo, la profundidad del agua, la temperatura, velocidad del viento, corriente, visibilidad y condiciones de iluminación deben ser determinadas. idealmente, el supervisor de buceo o una persona con experiencia en buceo en agua fría o hielo, debe realizar un reconocimiento del sitio.

- El tipo de equipamiento de buceo seleccionado debe ser apropiado para la misión.

- La planificación logística debe incluir transporte, equipo auxiliar, aprovisionamiento, combustible, herramientas, vestimenta, ropa de cama, procedimientos médicos de evacuación, comunicaciones, etc.

  Nota: La temperatura del agua de 2,7° c (37º f) se estableció como límite debido al resultado de las pruebas de congelamiento de regulador para propósitos de planificación, la guía anterior puede ser usada para bucear donde la temperatura sea mayor que 2,7 ° c (37 ºf).

b.- **Consideraciones de Navegación.** las condiciones en aguas frías y en hielo afectan la navegación de los buzos de las siguientes formas:

- La proximidad del polo magnético en las regiones polares hace que los compases magnéticos sean poco confiables.
- La vida de las baterías en faros de localización, balizas y equipos de comunicación disminuyen cuando se utilizan en bajas temperaturas.
- La luz superficial es difundida por la cubierta de hielo, por lo que es casi imposible determinar su fuente.
- No es posible un ascenso directo a la superficie bajo hielo y a menudo es difícil determinar la dirección de regreso.
- En aguas poco profundas cubiertas de hielo, se requieren a menudo desvíos para rodear quillas bajo el hielo.
- Con cobertura de hielo, no hay olas y por lo tanto no hay patrones de onda en el fondo para usar como orientación general.

c.- **Consideraciones del equipo autónomo.** el equipamiento autónomo tiene ventajas y desventajas que deben ser consideradas cuando se planea bucear en agua fría.

las ventajas de usar equipo autónomo son:

- portabilidad.
- rápido despliegue.
- mínimos requerimientos de apoyo de superficie.

Las desventajas de usar equipo autónomo son:

- susceptibilidad de congelación del regulador.

- limitaciones de profundidad.
- comunicaciones limitadas.
- muchas limitaciones para efectuar descompresión en el agua.
- limitada duración de los sistemas de remoción de co2 en los ecc.

d.- **Reguladores.** Refiérase al ENA para seleccionar el regulador apropiado. El regulador de dos estado es susceptible de congelarse. la primera y/o segunda etapa del regulador puede congelarse en la posición de flujo libre después de unos minutos de exposición en agua fría. El regulador de dos estado debe ser mantenido en un lugar temperado antes de la inmersión. Es importante que el buzo pruebe el regulador en un lugar templado, y abstenerse de respirar hasta estar sumergido. Cuando se retorna a la superficie, el regulador debe permanecer sumergido y el buzo debe abstenerse de respirar hasta que vuelva a sumergirse. El tiempo del buzo en la superficie debe ser mantenido en el mínimo. Una vez bajo el agua, las posibilidades de congelación se reducen. Sin embargo, el congelamiento puede ocurrir si se permite que el regulador fluya libremente bajo el agua durante un tiempo tan breve como 5 segundos. Por lo tanto, el buzo, debe evitar purgar la segunda etapa del regulador cuando bucea en agua fría. si se necesita purgar agua de la boquilla, el buzo debe hacerlo exhalando dentro de ella (figura 11-1).

Figura 1. Buceo en hielo con scuba. buzos en trajes secos typhoons y scubaaga/divator con reguladores para agua fría aprobado.

1) **Precauciones especiales.** Los reguladores de dos estados deben estar equipados con una tapa anticongelante, la cual es una tapa del primer estado que puede ser llenada con silicona líquida disponible por el fabricante. es esencial la correcta mantención y aplicación de un lubricante apropiado. También deben tomarse precauciones extras para asegurarse que los cilindros estén completamente secos por dentro, que usen aire libre de humedad y que el regulador esté completamente seco previo a su uso.

2) **Reguladores redundantes o "octopus".** Cuando la temperatura del agua es inferior a 2,7 °c, debe ser usado un sistema autónomo redundante (parejas de botellas scuba, cada una con una válvula k y un regulador) o una pareja de botellas scuba con un manifold común y un regulador con "octopus" (un segundo estado extra).

e.- **Compensador de boyantes o salvavidas.** el uso de salvavidas o compensadores de boyantes está prohibido cuando se bucea bajo hielo. El inflado accidental de un compensador forzará al buzo a ascender y puede causar una colisión con la parte inferior del hielo. si el buzo queda atrapado en una depresión u otra estructura bajo la superficie del hielo su rescate puede ser difícil aún con líneas de seguridad. También, las válvulas de admisión y escape de un traje seco de volumen variable serán cubiertas si se usa un compensador. En el evento de un inflado del traje seco, la incapacidad de alcanzar la válvula de escape podría causar el rápido ascenso y la colisión con la superficie de hielo.

f.- **Máscara facial.** La máscara del buzo puede mostrar un incremento de la tendencia a empañarse en agua fría. Se debe usar una solución anti empañante para prevenir que esto ocurra. La saliva no será suficiente para evitar que el agua fría se condense.

g.- **Equipamiento autónomo.** El equipamiento mínimo requerido por un buzo naval autónomo para operaciones bajo hielo consiste de:

- traje húmedo o traje seco de volumen variable.
- equipo de circuito abierto con modificación para agua fría o ecc.
- máscara facial.
- cinturón de pesos y pesos necesarios.
- cuchillo con funda.
- aletas de buceo.
- reloj.
- manómetro de profundidad.
- manómetro sumergible de presión.
- arnés de seguridad.
- líneas de seguridad.

h.- **Consideraciones sobre los Sistemas de Buceo Asistido (sba).** El uso de sba en aguas frías o cubiertas de hielo requiere una planificación detallada de la operación y un extenso apoyo logístico. Esto incluye la protección térmica para el personal de apoyo, cámara de descompresión y equipamiento para calentar agua. Además, el equipamiento de buceo puede requerir modificaciones para clima frío. Debido a las consideraciones logísticas, el equipo autónomo es utilizado en la mayoría de las operaciones de buceo en hielo; sin embargo, el sba puede necesitarse debido a extensos períodos de fondo, requerimientos de profundidad y comunicaciones complejas entre el buzo y la superficie. Cuando se bucea en aguas frías que no están cubiertas de hielo, se reducen los requerimientos logísticos y de equipo de apoyo; sin embargo, el agua muy fría plantea muchos de los mismos peligros que el buceo en hielo.

1) **Ventajas y Desventajas del sba.**

Las ventajas de usar sba son:

- El sistema está diseñado para dar apoyo a trabajos de fondo.
- Los trajes de agua caliente y secos de volumen variable ofrecen al buzo máxima protección térmica y ambiental.
- Los umbilicales permiten comunicaciones, video e iluminación.
- La provisión de gas permite mayor duración al límite máximo de profundidad de buceo.

Las desventajas de usar sba son:

- La consola puede congelarse.
- Los compresores de baja presión no remueven eficientemente la humedad del aire la cual puede congelarse y obstruir filtros o fracturar equipos. Esto es más factible cuando el agua está muy fría y el aire es tibio. Puede ser necesario usar bancos con cilindros de alta presión.
- La formación de burbujas de aire o gas bajo la cubierta de hielo puede debilitar o fracturar el hielo delgado, poniendo en peligro al personal de apoyo, otro personal de superficie o equipamiento.
- El movimiento del hielo puede dañar o arrastrar los umbilicales de los buzos.
- La vida de las baterías de los equipos electrónicos es reducida severamente.
- La descompresión bajo condiciones extremadamente frías puede ser peligrosa debido a la temperatura del agua, movimiento del hielo, etc.

3) **Efecto de las condiciones de hielo sobre el sba.** Las condiciones de hielo pueden prevenir o afectar severamente al sba. En general, el campo de hielo debe ser estacionario y suficientemente grueso para soportar la estación de buceo y el equipo de apoyo. si la inmersión debe ser ejecutada a través de un trozo de hielo, el trozo debe estar firmemente unido a la tierra o a un campo de hielo estable. Muchas condiciones de hielo restringen o prohíben el buceo alimentado desde la superficie (por ejemplo, movimiento, hielo o trozo de hielo inestable y espolones profundos o dentados pueden obstruir o atrapar a un buzo). En casos donde el buzo es desplegado desde un bote con fondeo fijo, el bote, los buzos y los umbilicales de los buzos no deben estar amenazados por el movimiento de trozos de hielo.

i.- **Selección del traje.** Los trajes húmedos diseñados para el buceo de agua fría, los trajes secos de volumen variable y los trajes de agua caliente han sido todos usados efectivamente para bucear en aguas extremadamente frías. Cada uno tiene ventajas y desventajas que deben ser consideradas al planificar una operación particular. Todos los trajes deben ser inspeccionados antes de su uso para asegurar que están en buenas condiciones sin separaciones en las costuras o cortes de fabrica.

1) **Trajes húmedos.** Los trajes húmedos tienen la ventaja de su amplia disponibilidad, simplicidad y menor peligro de fallas catastróficas que los trajes secos. aunque el traje húmedo no es un equipamiento adecuado, en caso de emplearse se debe considerar lo siguiente:

- El traje húmedo debe ser mantenido en la mejor condición posible para reducir el escape de agua desde y hacia el traje.
- Vestir calcetines de alta aislación térmica bajo las botas, en un traje húmedo ayudará a mantener los pies calientes.

Precaución: En aguas muy frías, el traje húmedo sólo es una medida de protección térmica marginal y su uso expone al buzo a hipotermia, restringiendo el tiempo de fondo disponible. En estas circunstancias debe ser considerado el uso de equipamiento de protección térmica, como alternativa.

2) **Trajes secos de volumen variable.** Los trajes de volumen variable ofrecen una protección térmica superior, tanto en buceo asistido como en autónomo. Son construidos de forma que el cierre de entrada y todos los sellos de cuello y muñecas son a prueba de agua, manteniendo el interior seco. Pueden ser inflados desde una toma de baja presión vía una válvula de admisión. El aire puede ser evacuado del traje vía una válvula de escape, permitiendo un excelente control de la boyantes. .El nivel de la protección térmica puede ser variado a través de la cuidadosa selección del tipo y espesor de la ropa interior. Sin embargo, mucha ropa interior es voluminosa y puede causar sobrecalentamiento, transpiración y el subsecuente enfriamiento. Las desventajas del traje seco son la mayor fatiga al nadar, por el volumen del traje, posible falla de la válvula de admisión y/o de la válvula de escape, y la necesidad de pesos adicionales para lograr una boyantes neutra. Mas aún, si el buzo está horizontal o es desplegado con la cabeza más baja que el resto del cuerpo, el aire puede desplazarse hacia las extremidades inferiores del traje, causando sobre inflado y pérdida de las aletas y el control de la boyantes. el daño en las uniones o cierre puede resultar en una dramática pérdida del control de la boyantes y schock térmico, a pesar de ello, debido a su protección térmica superior, el traje seco es un componente esencial del buceo en agua extremadamente fría.
Precaución: Antes del uso de los trajes secos de volumen variable y los trajes de agua caliente en aguas cubiertas de hielo, los buzos deben ser entrenados en su uso y estar completamente familiarizados con la operación de estos trajes.

3) **Trajes de exposición extrema/trajes de agua caliente.** Los trajes de agua caliente proveen excelente protección térmica . si su uso puede ser soportado logísticamente, son una excelente elección cuando los tiempos de fondo son prolongados, sin embargo son inútiles para el buzo stand by.

Una falla en el sistema de agua caliente puede ser catastrófica para un buzo en agua muy fría donde el agua caliente es el soporte vital bajo tales condiciones. La temperatura del agua caliente debe ser cuidadosamente monitoreada para asegurar que el agua se este enviando a la temperatura apropiada. Cuando se usa un traje de agua caliente, se debe usar líneas de agua caliente. la manguera sobre la superficie debe controlarse para asegurar que no funda el hielo. Cuando no está en uso, el calentador y las mangueras deben ser completamente drenadas y secadas para prevenir el congelamiento y la ruptura.

j.- **Vestuario.** La apropiada planificación debe incluir la protección de los equipos y del personal de apoyo. Sin embargo, la vestimenta voluminosa y los pesados mitones pueden hacer muy difíciles tareas rutinarias. Se pueden considerar botas y guantes exteriores a prueba de agua. Independiente del tipo de vestuario seleccionado, la ropa debe quedar apropiadamente ajustada (vestir cómodamente), y mantenida limpia y seca para maximizar la aislación. Cuando se planean operaciones en tales condiciones, se debe considerar la pérdida de eficiencia debido a la larga permanencia en terreno.

k.- **Equipamiento auxiliar.** Un detallado reconocimiento del sitio de buceo proporcionará al planificador la información que será útil en la decisión de cual equipo auxiliar se requerirá. El buceo bajo hielo requiere equipamiento accesorio especial, tal como una línea con luces para la navegación submarina, herramientas de corte de hielo y plataformas.

El método de cortar un perforación a través del hielo depende del espesor del hielo y la disponibilidad de equipamiento. Normalmente, dos o más de las siguientes herramientas son usados: hachas de corte, sierras de hielo, sierras de cadena (motosierras), cortador de hielo termal o equipo de proyección. Además, se requiere equipamiento para levantar el bloque de hielo, remover la nieve y marcar el agujero. También son necesarios sacos de arena, (bolsas de arpillera) o paneles para que los vigilantes estén parados. Deben estar disponibles escaleras en caso de que algún apoyo caiga en el perforación.

Si existe la posibilidad de que el personal de apoyo caiga a través del hielo debe usarse plataformas de trabajo flotantes, tal como un bote inflable. Con este equipo puede continuarse con la operación o terminada en forma segura si el hielo se quiebra.

Los motores de combustión interna deben estar modificados para el clima, para evitar el congelamiento. Las vibraciones de los motores en servicio sobre el hielo puede ser un problema y puede requerirse plataformas amortiguadoras.

l.- **Protección (refugios para buceo).** Tiendas que incluyan armazones y pisos pueden ser requeridas para construir una protección del sitio de buceo. Dependiendo de la severidad del clima, lejanía del sitio y duración de la misión, la protección puede ir desde pequeñas tiendas a carros de acero anfibios o elaboradas chozas con aislamiento, transportadas al sitio. Las protecciones del sitio deben tener zonas de almacenamiento para artículos secos y un lugar para secado. Deben ser proporcionados bancos para que los buzos se vistan, debe ser instalado un piso que permita un aislamiento e iluminación adecuado. En un clima extremadamente seco y frío, el fuego y la inadecuada ventilación son peligros siempre presentes. Debe estar disponible un equipo de detección de dióxido de carbono y se deben hacer revisiones periódicas de los espacios de vivienda y trabajo. Deben haber extintores disponibles, en los refugios.

70103. Procedimientos pre inmersión

a.- **Consideraciones del personal.** El supervisor de la inmersión debe asegurarse que todo el personal requerido para realizar la tarea haya sido apropiadamente entrenado en técnicas de buceo bajo hielo y esté físicamente apto. No se debe permitir que un buzo realice una inmersión si, en opinión del supervisor de buceo, el buzo está sufriendo de stress psicológicos de una inmersión en hielo (ansiedad, claustrofobia o aturdimiento).

b.- **Consideraciones del sitio de buceo.** La selección del sitio de buceo dependerá del propósito de la inmersión y del ambiente geográfico del área (espesor del hielo, condiciones de la superficie del hielo, etc.). Adicionalmente, se debe considerar el método de buceo elegido, las rutas de acceso seguras, localización de la protección, perforación de emergencia y la exposición de los buzos. los requerimientos de personal de apoyo también tendrán un espacio en la selección del sitio.

c.- **Refugio.** Cuando se conducen operaciones de buceo, se debe tener un refugio tan cerca como sea posible del sitio de trabajo, para reducir la probabilidad de congelamiento del equipamiento. Normalmente, las tiendas no son colocadas sobre el sitio de buceo debido a que restringen los movimientos de los apoyos y la luz disponible para el buzo. Sin embargo, debe ser construido un albergue. Un abrigo de tiendas modulares es ideal; aunque se deben tomar precauciones para asegurar que el hielo bajo la tienda no se haya debilitado. Deben tomarse precauciones extremas cuando se bucea buscando objetos, tal como aeronaves hundidas, que hayan caído a través del hielo; el área puede estar peligrosamente debilitada.

d.- **Perforación de entrada.** Debe ser usado el equipamiento apropiado para cortar un perforación apropiado a través del hielo, en orden a dejar un borde limpio. No es recomendable el uso de un martillo-neumático para romper a través del hielo; ya que debilitará el hielo circundante. El agujero debe ser un rectángulo de 6 pies por 3 pies, o un triángulo con lados de 6 pies como se muestra en la figura 11-2. el agujero triangular es más fácil de cortar y es suficientemente grande para permitir la salida simultánea de dos buzos. la nieve y el hielo deben ser removidos del perforación y no empujadas bajo la superficie del hielo, ya que podrían retornar, bloqueando el agujero. Para asistir a los buzos salientes y mejorar la estabilidad de otros miembros del equipo sobre la superficie del hielo deben ser colocadas bolsas de arpillera o arena sobre el hielo alrededor del agujero. Después de completar la inmersión, el agujero debe ser claramente marcado para prevenir que alguien caiga accidentalmente. Cuando sea posible, las piezas cortadas del hielo deben ser reubicadas para acelerar el proceso de recongelado.

e.- **Perforaciones de escape.** Las perforaciones de escape proveen puntos de salida alternativos y ayuda en la búsqueda de buzos perdidos. Deben ser cortados perforaciones de escape corriente abajo en el hielo cuando se bucea en un río o bahía donde hay una corriente o movimiento de marea.

f.- **Líneas de navegación.** Una línea lastrada debe ser colgada a través de la perforación para ayudar al buzo a mantener su posición y sentido de la dirección. Suspender una luz al extremo de la línea puede ser útil, así como adosar una serie de luces estroboscópicas para indicar la profundidad. Después de localizar el sitio, debe ser colocada una línea de distancia entre la línea lastrada y el sitio de buceo. Otro método para ayudar al buzo es mantener su posición dentro del agua es excavar la cubierta de nieve alrededor del agujero en la forma de una rueda (ver figura 11-2). Cuando el hielo y la nieve es menor de 2 pies de espesor, el buzo debe ser capaz de ver los hitos que conducen al agujero de buceo localizado en el centro de la rueda. la rueda debe tener un diámetro mínimo de 60 pies.

g.- **Líneas de seguridad.** Las líneas de seguridad para los buzos son obligatorias cuando se bucea bajo el hielo para ayudar al buzo a reubicar el agujero de entrada. Una línea tejida o de propileno trenzado ha probado ser la mejor línea. Tiene la ventaja de flotar arriba y alejada del buzo, estando disponible en color amarillo, blanco y naranjo de alta visibilidad. Una línea de arco o un anillo d con un gancho plano dispuesta en la línea vital es el método más fácil de adosar la línea de seguridad al buzo. la unión a la línea en ambos extremos debe ser absolutamente seguro. No amarre la línea a un vehículo, pala, caja de primeros auxilios u otro equipo portátil. Un tablero de 4 pulgadas por 4 pulgadas por 2 pies debe ser colocado bajo el hielo a varios metros del agujero de buceo y puede ser usado para el extremo de la línea de seguridad (ver figura 11-2). El anillo d y el gancho plano permiten la más rápida transferencia de la línea de seguridad de buzo en buzo sobre la superficie. Los ganchos planos deben ser chequeados contra la corrosión a intervalos frecuentes. Las líneas mojadas deben mantenerse alejadas del hielo para prevenir su congelamiento en la superficie.

h.- **Preparación del equipamiento.** El buzo debe usar una luz de aviso que debe estar encendida al momento de entrar en el agua. Los buzos no deben ser cargados con equipamiento innecesario durante inmersiones en agua fría. Los snorkels deben ser removidos y los cuchillos usados en la cara interior de las piernas para prevenir que la línea de seguridad se enrede en el equipamiento del buzo. El personal, los buzos y los vigilantes deben manejar cuidadosamente los accesorios de goma como máscaras y aletas; los fríos extremos pueden provocar que estos se tornen quebradizos.

70104. Procedimientos bajo el agua

a.- **Buceo en parejas.** Bucear bajo el hielo o en aguas extremadamente frías requiere el uso obligado de una pareja de buzos. Cuando se bucea a través de hielo, los buzos deberían estar siempre supervisados desde la superficie. Las consecuencias de la falla de un traje, congelamiento del regulador u otros problemas de equipamiento hacen que un buzo asistido solitario sea particularmente vulnerable. Los buzos deben practicar la respiración en parejas previo a la operación, debido a la alta posibilidad de tener que emplear este procedimiento. El dominio del procedimiento, minimizará los costos de tiempo valioso durante una emergencia. El uso del equipo apropiado para agua fría minimizará o eliminará los problemas de congelamiento (vea el párrafo 11-2.3).

b.- **Supervisión del buzo.** La línea seguridad debe ser sostenida por un asistente en todo momento. Como medida de seguridad adicional, durante el buceo en hielo, el final de la línea de seguridad debe ser asegurada a un objeto estacionario para prevenir que caiga en el agujero de entrada o se le caiga al vigilante (ver figura 11-2). Se recomienda que la línea seguridad sea marcada a intervalos de 3 metros para permitir al vigilante y al supervisor de buceo estimar la posición del buzo. Sin embargo, la posición radial del buzo sólo puede estimarse en forma poco precisa. La partida de buceo debe estar completamente familiarizada con los procedimientos de la vigilancia de líneas seguridad del capítulo 8.

La sensibilidad y cuidado de la posición de un buzo por parte de los asistentes puede dificultarse por factores como el arrastre de la línea seguridad en formaciones de hielo bajo la superficie, vigilar a través de gruesos mitones y la falta de burbujas en superficie.

c.- **Buzo de respeto.** El buzo y el apoyo de respeto deben estar disponibles en forma inmediata. el buzo stand by debe mantenerse abrigado hasta que el supervisor de buceo determine que se necesita su participación. La línea seguridad del buzo stand by debe tener el doble de longitud de la línea seguridad del buzo en orden a realizar una búsqueda circular completa. El buzo de respeto debe estar vestido con excepción de las aletas, la máscara y las botellas. Estos deben estar listos para usarse inmediatamente.

70105. Precauciones de operación

Los procedimientos normales generalmente se aplican al buceo en ambientes extremadamente fríos. Sin embargo, la alta posibilidad de la congelación del regulador llama a una total familiarización con los procedimientos de respiración en parejas, descritos en el capítulo 7. Esta sección delinea algunas de las precauciones para las operaciones en agua frías o cubiertas de hielo.

a.- **Precauciones generales.** Las precauciones generales para las operaciones de buceo de agua fría o hielo incluyen:

- Los buzos deben estar descansados, tener una alimentación rica en carbohidratos y proteínas, y no deben consumir alcohol. El alcohol produce vaso dilatación periférica, incrementando la pérdida de calor corporal.
- El baño es una importante medida sanitaria para prevenir las enfermedades infecciosas prevalecientes en los ambientes fríos. Si es necesario, el cuerpo puede ser bañado con esponjas bajo la vestimenta.
- Después del baño, una pomada suavizante o loción debe ser aplicada a la piel para mantenerla suave y protegida contra la evaporación causada por el aire seco.
- Afeitarse y lavarse la cara debe ser hecho en la tarde ya que la afeitada remueve los aceites protectores de la piel. Una afeitada muy ajustada puede también remover una capa protectora de piel, promoviendo la quemadura por hielo.

b.- **Condiciones de hielo.** La inconsistencia y dinámica de las condiciones del hielo pueden hacer las operaciones de buceo extremadamente peligrosas. El movimiento de trozos de hielo puede ser muy significativo sobre un período de tiempo relativamente pequeño, requiriendo recolocaciones frecuentes del sitio de buceo y la apertura de nuevos agujeros de acceso en orden a trabajar un sitio fijo en el fondo marino. Bucear desde hielo a la deriva o entre pedazos de hielo libre, es peligroso y sólo debe ser realizado si es absolutamente necesario.

Los movimientos diferenciales entre la superficie y bajo la superficie, de riscos presionados o témpanos, puede cerrar un agujero de acceso, cortar un umbilical de buceo y aislar o chocar a un buzo. La apertura de una grieta en el hielo cerca de un sitio de buceo puede derivar en la pérdida de instalaciones de apoyo sobre el hielo, así como bajas entre los buzos.

c.- **Precauciones durante la vestimenta.** Con un traje apropiadamente ajustado y todos sus sellos en su lugar, el buzo generalmente puede mantenerse caliente y seco por cortos períodos aún en las aguas más frías. cuando se viste para una inmersión en agua fría o hielo:

- Deben ser chequeados cuidadosamente los trajes de protección térmica por cortes y daños. los trajes de protección térmica deben exponer sólo el mínimo de área facial.
- Mitones, botas y sellos deben prevenir la entrada de agua, mientras no causen restricción de la circulación. Usar una gorra tejida bajo la capucha de un traje seco es efectivo para mantener el calor corporal.

d.- **Precauciones sobre la superficie.** Mientras se esté sobre la superficie:

- Los buzos ya vestidos deben ser protegidos del sobrecalentamiento y la transpiración asociada antes de ingresar al agua. El sobrecalentamiento ocurre fácilmente cuando se opera desde un lugar calefaccionado, especialmente si se requiere de esfuerzo del buzo para llegar al sitio de buceo. el bienestar del buzo puede ser mejorado y la transpiración retrasada antes de entrar al agua si se enfría la cara de los buzos con un paño húmedo y se los ventila cada pocos minutos. La transpiración humedecerá el interior, reduciendo enormemente sus capacidades aislantes.
- Mientras se espera el ingreso al agua, los buzos deben evitar sentarse o descansar sus pies sobre el hielo o el suelo frío. Aún en un lugar aislado, la temperatura en el piso puede estar cerca del congelamiento.
- Debe minimizarse el tiempo en la superficie con el buzo preparado, pero relativamente inactivo, para prevenir el congelamiento del buzo. El tiempo en la superficie también puede enfriar bajo el punto de congelamiento los componentes metálicos del equipamiento de buceo, tal como las válvulas del traje o los reguladores, causando que estas partes se congelen cuando los buzos ingresen al agua.
- Cuando se opera desde un bote abierto, deben ser utilizadas parkas pesadas o cortavientos sobre los lugares expuestos.
- Cuando se opera en la superficie de hielo recientemente formado, debe evitarse el corte de piel facial expuesta. Tales heridas aunque indoloras, pueden ocurrir fácilmente, debido al entumecimiento de la piel. Usualmente sangran profusamente.
- Bucear desde una playa y sin una embarcación de apoyo debe ser limitado a una distancia que permita que el buzo retorne a la playa si el traje se inunda.

- Extrema precaución debe ejercerse cuando se bucea cerca de formaciones de hielo en regiones polares ya que se moverán con la acción de las mareas, el viento o la corriente. Al hacerlo, pueden dañar los umbilicales y poner en peligro la seguridad del buzo.

e.- **Precauciones dentro del agua.**

- En atención a que al severo congelamiento que se puede producir debido a un juicio desacertado, las tareas a realizar bajo el agua deben ser claramente identificadas, practicadas y mantenidas en forma simple.
- Si se experimentan estremecimientos involuntarios o un severo deterioro de la destreza manual, se debe dar por terminada la inmersión.
- Si el traje expuesto gotea o se inunda, el buzo debe ascender inmediatamente, independiente del grado de inundación. El extremo efecto congelante del agua puede causar un schock térmico dentro de minutos, dependiendo de la extensión de la inundación.
- Los buzos y el supervisor de buceo deben estar enterados del efecto térmico acumulativo de las inmersiones repetitivas. Un efecto térmico puede ser acumulado a través de los sucesivos días de buceo, resultando en fatiga aumentada y reducción de capacidades. La hipotermia progresiva asociada con el largo y lento enfriamiento del cuerpo parece ser la causa de la significativa caída de temperatura interna antes de que comience el temblor y la producción de calor.

f.- **Precauciones post buceo.** Al salir del agua fría, un buzo probablemente estará fatigado y susceptible a un congelamiento:

- Si se utilizaba un traje húmedo, la evacuación inmediata con agua caliente, después de llegar a la superficie, tendrá un efecto reconfortante de reemplazo del calor.
- Para recuperar la pérdida del calor corporal, se deben proveer facilidades para permitir que el buzo se seque en un ambiente confortable, seco y relativamente temperado.
- El buzo debe sacarse cualquier prenda húmeda, secarse y vestir ropa de abrigo adecuada, tan pronto como sea posible. el personal debe tener ropas abrigadas y secas, frazadas y bebidas no alcohólicas calientes disponibles.

70106. Procedimientos de emergencia

a.- **Buzo perdido.** un buzo que se separe de la línea seguridad y no pueda localizar el agujero de entrada deberá:

- Ascender hasta la superficie del hielo.
- Sacarse el cinturón de pesos y dejarlo caer.
- Fije la punta del cuchillo al hielo para mantener la posición.
- Permanecer en posición vertical, para maximizar el perfil vertical y con ello tensar la línea de búsqueda del buzo de reserva.
- Observar la línea seguridad del buzo y del buzo stand by y espere a que éste último arribe. El buzo perdido **no debe** tratar de reubicar el agujero. el buzo debe permanecer en calma y esperar al buzo stand by.

b.- **Búsqueda del buzo perdido.** Tan pronto como el asistente pierde la respuesta de un buzo, éste debe notificar al supervisor de buceo e iniciar inmediatamente el siguiente procedimiento:

- El supervisor de buceo debe llamar inmediatamente al resto de los buzos.
- El supervisor de buceo debe estimar la probable ubicación del buzo perdido de acuerdo a la velocidad y dirección del buzo.

- Con la dirección del supervisor de buceo, el buzo stand by debe ingresar al agua y nadar en la dirección indicada, una distancia igual al doble de la que se cree cubrió el buzo perdido. la distancia debe ser la extensión completa de la línea seguridad del buzo stand by ya que es el doble de la del buzo perdido.
- El vigilante debe mantener la sensibilidad de la línea seguridad del buzo stand by.
- El buzo stand by debe conducir un barrido circular.
- cuando la línea de seguridad se tensa sobre el buzo perdido, el buzo stand by nada hacia el primero, señalando al vigilante que recupere el resto de línea.
- Al momento de localizar al buzo, el buzo stand by asiste al buzo de vuelta al agujero.
- Si el primer barrido falla, debe ser repetido sólo una vez antes de mover la búsqueda al agujero de emergencia más probable.

c.- **Hipotermia.** Cuando se bucea en agua fría, la hipotermia puede predisponer al buzo a presentar una enfermedad de descompresión inadecuada. la hipotermia es fácilmente diagnosticable, ya que el buzo hipotérmico pierde fuerza muscular, la capacidad de concentración y puede tornarse irracional o confuso. La víctima puede temblar violentamente, o con severa hipotermia, el temblor puede ser reemplazado por rigidez muscular. la hipotermia grave también puede deprimir el ritmo cardiaco y la respiración, de modo que la víctima parece muerta. Sin embargo, un buzo no debe considerarse muerto hasta que la temperatura corporal aumente y todos los intentos de resucitación han sido inefectivos.

La hipotermia demanda tratamiento inmediato y una pronta evacuación a una instalación médica. Al buzo con hipotermia no debe permitírsele caminar; el buzo debe ser transportado en posición horizontal. El manejo inapropiado del buzo puede producir arritmias peligrosas y una caída en la temperatura corporal interna.

TRATADO 8

DESÓRDENES DEL BUCEO QUE REQUIERE TERAPIA DE RECOMPRESIÓN

80101. INTRODUCCIÓN

a.- **Propósito.** Este capítulo describe el diagnóstico de los desórdenes del buceo que ya sea necesitan terapia de recompresión o que pueden complicar la terapia de recompresión. Durante el desarrollo de estas emergencias debe ceñirse a los procedimientos en cuanto sea posible, cualquier error o discrepancia debe planteada a la DIRECSAN inmediatamente. Existen instancias donde no se puede entregar una dirección clara; en estos casos, contacte a los Oficiales Médicos de Sumersión en el Hospital Naval de Viña del Mar. Los números telefónicos están listados en el Apéndice 1C.

b.- **Alcance.** Este capítulo es una referencia para los individuos entrenados en los procedimientos de buceo. También está dirigido a usuarios con un amplio rango de pericia médica, desde el buzo inspector de casco hasta al Oficial Médico de Sumersión. Ciertos procedimientos de tratamiento requieren la consulta con un Oficial Médico de Sumersión para un uso efectivo y seguro. En la preparación de cualquier operación de buceo, es mandatorio que el equipo de buceo tenga un plan de evacuación médica y conocer la ubicación del Oficial Médico de Sumersión más cercano o más accesible y de la cámara hiperbárica disponible. El Personal Médico de Sumersión debe estar involucrado en la planificación del buceo y entrenados para manejar emergencias médicas. Aún cuando los operadores sientan que conocen como manejar emergencias médicas, se debe consultar a un Oficial Médico de Sumersión, siempre que sea posible.

80102. EMBOLIA GASEOSA ARTERIAL (EGA)

La embolia gaseosa traumática, algunas veces llamada simplemente EGT, es causada por la entrada de burbujas de gas en la circulación arterial las cuales actúan entonces como obstrucciones de los sistemas sanguíneos llamados emboli. Estos emboli son frecuentemente el resultado de un barotrauma pulmonar causado por la expansión del gas, inspirado mientras se respira bajo presión, y mantenido en los pulmones durante el ascenso. El gas puede haber quedado retenido en los pulmones por elección (suspensión de la respiración voluntaria) o por accidente (pasajes de aire bloqueados). El gas puede haberse quedado atrapado en una porción obstruida del pulmón que ha sido dañado en algún accidente o enfermedad previa; o el buzo, reaccionando con pánico ante una situación difícil, puede sostener la respiración sin darse cuenta. Si hay suficiente gas y este se expande lo suficiente, la presión forzará al gas a través de las paredes alveolares a los tejidos circundantes y al torrente sanguíneo. Si el gas ingresa a la circulación arterial, este será dispersado a todos los órganos del cuerpo. Los órganos que son especialmente susceptibles a la embolia gaseosa traumática y son responsables por los síntomas de amenaza de la vida son el sistema nervioso central (SNC) y el corazón. En todos los casos de embolia gaseosa traumática, es posible un neumotórax asociado y no debe ser descartado.

a.- **Desarrollo de la EGA.** La embolia gaseosa arterial puede desarrollarse a los minutos de llegar a la superficie, causando severos síntomas que deben ser diagnosticados y tratados rápida y correctamente. Debido a que la irrigación del sistema nervioso central está casi siempre comprometida, a menos que sea tratado pronta y apropiadamente con recompresión, la embolia gaseosa traumática resultará en muerte o daño cerebral permanente.

b.- **Inconsciencia causada por la embolia gaseosa arterial**. La embolia de gas puede presentarse durante cualquier inmersión donde se utilice equipamiento de respiración submarina, aun a baja profundidad y por periodos breves, incluso en una piscina. Como regla básica, cualquier buzo que haya obtenido una bocanada de aire comprimido desde cualquier fuente en la profundidad, ya sea de un aparato de buceo o una campana de buceo, y que llegue a la superficie inconsciente o pierda la conciencia dentro de 10 minutos después de llegar a la superficie, debe ser asumido que está sufriendo embolia gaseosa traumática. El tratamiento de recompresión debe ser comenzado inmediatamente. Un buzo que llega a la superficie inconsciente y se recupera cuando se expone al aire fresco deberá recibir una evaluación neurológica para descartar la embolia gaseosa traumática.

c.- **Síntomas neurológicos de embolia gaseosa arterial.** Buzos que al emerger presentan cualquier síntoma neurológico obvio (rigidez, debilidad o dificultad al pensar) deben ser considerados como afectados por embolia gaseosa arterial. Comenzar el tratamiento de recompresión tan pronto como sea posible.

d.- **Síntomas adicionales de la embolia gaseosa arterial.** Otros factores a considerar en el diagnóstico de la embolia gaseosa traumática son:

- El ataque suele ser súbito y dramático, a menudo ocurre segundos después de la llegada a la superficie o incluso antes de llegar a la superficie. Los signos y síntomas pueden incluir aturdimiento, parálisis o debilidad en las extremidades, grandes áreas de sensación anormal, visión borrosa o convulsiones. Durante el ascenso, el buzo puede haber notado una sensación de aumento de volumen en el pecho. La víctima puede caer inconsciente sin aviso y aún puede detener su respiración.
- Si dolor es el único síntoma, es poco probable la embolia gaseosa arterial, y debe ser considerado una EDI u otro de los síndromes de Sobre expansión pulmonar
- Algunos síntomas pueden ser enmascarados por factores ambientales o por otros síntomas menos significativos. Un buzo con hipotermia leve puede no prestar atención por la rigidez en un brazo, la cual puede realmente ser un síntoma de deficiencia del SNC. El dolor producido por otros problemas puede desviar la atención de otros síntomas. La ansiedad natural que acompaña una situación de emergencia, tal como una falla en el abastecimiento de aire del buzo, puede enmascarar un estado de confusión causado por una embolia gaseosa arterial en el cerebro. Un buzo que está tosiendo sangre (lo cual pude ser confundido con un sangramiento superficial) puede estar mostrando signos de ruptura en el tejido pulmonar, o puede haberse mordido la lengua o experimentado un barotrauma de senos o de oído medio.

e.- **Orientaciones para el examen neurológico.** El Apéndice 5A contiene un conjunto de orientaciones para realizar un examen neurológico y una lista de comprobación de exámenes para asistir al personal no médico en la evaluación de casos de enfermedades de descompresión.

f.- **Administración de Apoyo Cardiaco a un buzo con EGA**. Un buzo que presenta una embolia gaseosa arterial sin pulso o respiración requiere de apoyo cardíaco avanzado por un equipo médico especializado con el equipamiento respectivo. El apoyo cardíaco avanzado incluye el diagnóstico de alteraciones del ritmo cardíaco y su tratamiento con drogas y / o desfibrilación según corresponda. Aunque el monitoreo del paciente y la administración de drogas pueden ser realizados en la profundidad, el electroshock debe ser ejecutado sobre la superficie.

Si un médico entrenado y con el equipamiento necesario puede administrar las terapias, potencialmente salvadoras de la vida, dentro de 10 minutos, el buzo afectado debe ser mantenido en la superficie hasta que se obtengan la respiración o el pulso. Debe tenerse en cuenta que a menos que los procedimientos– especialmente la desfribilación – puedan ser administrados dentro de 10 minutos, el buzo probablemente morirá, aún cuando haya comenzado el adecuado RCP. Si un Oficial Médico de Sumersión no puede ser alcanzado o no está disponible, el Supervisor de Buceo puede elegir comprimir a 60 pies, continuar el Apoyo Vital Básico y tratar de contactar al Oficial Médico.

Si es posible el apoyo dentro de 20 minutos, el buzo sin pulso debe ser llevado a la superficie a una velocidad de ascenso de 30 pie minuto y desfibrilado en la superficie , los datos actuales muestran una tasa de 0% de recuperación después de 20 minutos de paro cardiorespiratorio. Si el buzo sin pulso no recupera signos vitales con éstos procedimientos, continuar el CPR hasta que personal médico entrenado termine los esfuerzos de resucitación. Nunca recomprima a un buzo sin pulso que haya fallado en recuperar los signos vitales después de la desfribilación. Los esfuerzos de resucitación deben continuar hasta que el buzo se recupere, los vigilantes no puedan continuar el CPR, o el personal médico entrenado termine el esfuerzo. Si el buzo sin pulso no recupera los signos vitales, comprimir a 60 fsw y seguir la tabla de tratamiento apropiada.

PRECAUCIÓN: Si el ayudante está fuera de los límites de no-descompresión, no debe ser llevado directamente a la superficie. Pueden tomarse las detenciones de descompresión apropiadas para el ayudante o ingresar uno nuevo y descomprimir al paciente, dejando al ayudante original que complete su descompresión.

g.- **Prevención de la embolia gaseosa traumática.** El peligro potencial de la embolia gaseosa traumática puede ser prevenido o sustancialmente reducido poniendo cuidadosa atención a lo siguiente:

- Entrenamiento intensivo y apropiado en física y fisiología del buceo para cada buzo, así como instrucción en el uso correcto de los diversos equipamientos de buceo. Atención particular debe ser entregada a los buzos scuba, debido a que estas operaciones producen comparativamente una alta incidencia de accidentes de embolia.
- Un buzo nunca debe interrumpir la respiración durante el ascenso desde una inmersión en la cual se ha respirado gas comprimido.
- Un buzo realizando un escape libre boyante debe exhalar continuamente. La tasa de exhalación debe coincidir con la tasa de ascenso. Para un ascenso libre, donde el buzo usa la boyantez natural para ser llevado hacia la superficie, la tasa de exhalación debe suficientemente grande para prevenir la embolia, pero no tan grande como para que los factores de boyantez sean cancelados. Con un ascenso boyante, donde el buzo es asistido por un salvavidas o compensador de boyantez, la tasa de ascenso puede exceder por lejos la velocidad de un ascenso libre. La exhalación debe comenzar antes del ascenso y debe ser una exhalación robusta, regular y fuerte. Es difícil para un buzo no entrenado ejecutar un ascenso de emergencia apropiadamente. También es peligroso entrenar un buzo en la técnica apropiada. Ningún entrenamiento de ascenso puede ser conducido a menos que estén presentes entrenadores totalmente calificados, una cámara de recompresión y un Técnico Médico de Sumersión en la escena y un Oficial Médico de Sumersión esté capacitado para proveer una respuesta inmediata en caso de un accidente.

- Otros factores en la prevención de la embolia de gas incluyen la buena planificación y la adherencia al plan de buceo establecido. Tratar de extender una inmersión para completar una tarea puede llevar fácilmente al agotamiento del abastecimiento de aire y a la necesidad de un ascenso de emergencia. El buzo debe conocer y seguir las buenas prácticas del buceo y mantener una buena condición física. El buzo no debe dudar en reportar al Supervisor de Buceo o al Personal Médico cualquier enfermedad antes del buceo, especialmente enfermedades respiratorias tales como resfríos.

80103. ENFERMEDAD DE DESCOMPRESIÓN INADECUADA (EDI)

La enfermedad de descompresión inadecuada resulta de la formación de burbujas en la sangre o los tejidos corporales y es causada por la inadecuada eliminación del gas disuelto después de una inmersión u otra exposición a alta presión. La enfermedad de descompresión inadecuada también puede ocurrir con la exposición a presiones sub-atmosféricas (exposición en alturas), como en una cámara de altitud o la súbita pérdida de presión en la cabina de un avión. En ciertos individuos, la enfermedad de descompresión inadecuada puede ocurrir por inmersiones sin descompresión, o inmersiones con descompresión aún cuando los procedimientos de descompresión hayan sido seguidos meticulosamente. Diversas condiciones en el buzo o en la vecindad del buzo pueden causar la absorción de una excesiva cantidad de gas inerte o pueden inhibir la eliminación del gas disuelto durante una descompresión normal controlada. Cualquier enfermedad de descompresión inadecuada que ocurra debe ser tratada en forma hiperbárica. Los siguientes párrafos discuten el diagnóstico de varias formas de enfermedad de descompresión inadecuada. Una vez realizado el diagnóstico correcto, el tratamiento apropiado puede ser elegido desde el Capítulo 21, basado en la evaluación inicial.

a.- **Episodio inicial de una EDI.** Un amplio rango de síntomas puede acompañar al episodio inicial de una EDI. El buzo puede exhibir ciertos signos que sólo observadores entrenados identificarán como enfermedad de descompresión inadecuada. Algunos de los síntomas o signos serán tan pronunciados que habrá poca duda respecto de la causa. Otros pueden ser solapados, obviándose los signos más importantes en un examen rutinario.

b.- **Diferenciación de síntomas Tipo I y Tipo II.** Para los propósitos de decidir el tratamiento apropiado, los síntomas de la enfermedad de descompresión inadecuada se dividen generalmente en dos categorías. EDI Tipo I incluye síntomas de la piel, inflamación de los nodos linfáticos y dolor en las articulaciones y/o músculos, no siendo una amenaza vital. La EDI Tipo II (también llamada enfermedad de descompresión inadecuada grave) incluye síntomas que involucran el sistema nervioso central, el sistema respiratorio o el sistema circulatorio. La EDI Tipo II puede conllevar una amenaza vital. Debido a que el tratamiento de los síntomas de tipo I o tipo II puede ser diferente, es importante distinguir entre estos dos tipos de EDI. Los síntomas de tipo I y tipo II pueden o no estar presentes al mismo tiempo.

c.- **Enfermedad de descompresión inadecuada Tipo I.** La EDI Tipo I incluye dolor de articulaciones (síntomas de puro dolor o dolor músculo/ esqueleto) y síntomas que involucran la piel (síntomas cutáneos) o hinchazón y dolor en los nódulos linfáticos.

1) **Síntomas de dolor puro / muscular-óseo.** El síntoma más común de enfermedad de descompresión inadecuada es el dolor en las articulaciones. Otros tipos de dolor pueden ocurrir que no involucren las articulaciones. El dolor puede ser suave o insoportable. Los sitios más comunes de dolor de articulación son los codos, las muñecas, manos, rodillas y tobillos. El dolor característico de una EDI tipo I comienza gradualmente, es ligero cuando se nota por primera vez y puede ser difícil de localizar. Puede estar localizado en una articulación o músculo, puede aumentar en intensidad y usualmente es descrito como un dolor profundo y monótono. El dolor puede o no ser aumentado por el movimiento de la articulación afectada, y la extremidad puede ser mantenida preferiblemente en ciertas posiciones para reducir la intensidad del dolor. La característica particular del dolor Tipo I es su calidad de molestia monótona y confinada a áreas particulares. Siempre está presente en reposo; y puede o no agravarse con el movimiento.

a) **Diferenciación entre dolor y lesiones Tipo I.** La diferenciación más dificultosa es entre el dolor de una EDI Tipo I y el dolor resultante de una torcedura o contusión muscular. Si existe cualquier duda respecto de la causa del dolor, asumir que el buzo está sufriendo enfermedad de descompresión inadecuada y tratar consecuentemente. Frecuentemente, el dolor puede enmascarar otros síntomas más significativos. El dolor no debe ser tratado con drogas en un esfuerzo por hacer que el paciente esté más cómodo. El dolor puede ser la única manera de localizar el problema y monitorear el progreso del tratamiento.

b) **Dolor abdominal y toráxico.** El dolor en las áreas abdominal y toráxica, incluyendo las caderas y hombros, puede:

- Estar localizado en las articulaciones entre las costillas y la espina dorsal o entre las costillas y el esternón.
- Presentar un dolor que se irradia desde la espalda alrededor del cuerpo (dolor radicular o de faja).
- Aparecer como dolor vago, molestoso (visceral).

Cualquier dolor que ocurra en estas regiones debe ser considerado como síntomas que se irradian desde la columna vertebral. Es necesario tratar como enfermedad de descompresión inadecuada tipo II.

2) **Síntomas cutáneos (Piel).** La manifestación más común de la piel ante el buceo es la irritación. La irritación por sí es transiente y no requiere recompresión. Pueden estar presentes débiles sarpullidos de la piel en conjunto con la irritación. Estos sarpullidos también son transientes y no requieren recompresión. El manchado o moteado de la piel, conocido como cutis marmorata, puede preceder un síntoma de enfermedad de descompresión inadecuada serio y debe ser tratado como EDI Tipo II. Esta condición comienza como una irritación intensa, progresa al enrojecimiento y luego da lugar a una decoloración de retazos azulados de la piel. Pude sentirse un engrosamiento de la piel. En algunos casos pueden aparecer los sarpullidos.

3) **Síntomas linfáticos.** La obstrucción linfática puede ocurrir, creando dolor localizado en los nodos linfáticos involucrados y inflamación de los tejidos drenados por esos nodos. La recompresión puede llevar alivio pronto al dolor. La inflamación, sin embargo toma más tiempo en resolverse completamente y puede estar aún presente cuando se completa el tratamiento.

d.- **Enfermedad de descompresión inadecuada de Tipo II.** En las primeras etapas, los síntomas de una EDI tipo II pueden no ser obvios y el buzo afectado puede considerarlos sin consecuencias. El buzo puede sentirse fatigado o débil y atribuir la condición a una sobre ejercitación. Aún cuando la debilidad se torna más severa, el buzo puede no buscar tratamiento hasta que sea dificultoso caminar, escuchar o orinar. Por esta razón, los síntomas deben ser anticipados durante el período post buceo y tratados antes de que se tornen demasiado severos.

1) **Diferenciación entre DCS Tipo II y EGT.** Muchos de los síntomas de una enfermedad de descompresión inadecuada Tipo II son los mismos de la embolia gaseosa traumática, aunque el curso en el tiempo es generalmente diferente. (La EGT usualmente ocurre dentro de los 10 minutos de llegar a la superficie). Ya que el tratamiento inicial de estas dos condiciones es el mismo y que el tratamiento subsecuente está basado en la respuesta del paciente al tratamiento, éste no debe ser demorado innecesariamente en orden a realizar el diagnóstico en pacientes severamente enfermos.

2) **Categorías de síntomas Tipo II.** Los síntomas Tipo II o graves están divididos en tres categorías: neurológicos, de oído interno y cardiopulmonares. Los síntomas de una EDI Tipo I pueden o no estar presentes al mismo tiempo.

a) **Síntomas neurológicos.** Estos síntomas pueden ser el resultado de la participación de cualquier nivel del sistema nervioso central. Los síntomas más comunes son rigidez, parestesias (una sensación de irritación, aguijoneo, “alfileres y agujas” o “electricidad” en la piel), sensación disminuida del tacto, debilidad muscular, parálisis, cambios de estado mental o alteraciones de la función motora. Disturbios en las funciones cerebrales pueden resultar en cambios de personalidad, amnesia, comportamiento extraño, ligereza de mente, descoordinación y temblores.

El envolvimiento del cordón espinal inferior puede causar la interrupción de la función urinaria. Algunos de estos signos pueden ser ocultados y pueden ser desestimados o descartados por el buzo afectado.

La ocurrencia de cualquier síntoma neurológico después del buceo es anormal y debe ser considerado como un síntoma de enfermedad de descompresión inadecuada de Tipo II o de embolia gaseosa traumática, a menos que pueda encontrarse otra causa específica. La fatiga normal no es inusual después de una inmersión prolongada y, por sí misma, no es tratada generalmente como enfermedad de descompresión inadecuada. Si la fatiga es anormalmente severa, se debe efectuar un examen neurológico completo para asegurar que no existe otro síntoma neurológico.

b) **Síntomas de EDI oído interno.** Los síntomas de enfermedad de descompresión inadecuada del oído interno incluyen: tinnitus (campanilleo en los oídos), pérdida de la audición, vértigo, aturdimiento, náuseas y vómitos. La enfermedad de descompresión inadecuada del oído interno ocurre más a menudo en el buceo con helio-oxígeno y durante la descompresión cuando el buzo cambia desde la respiración con heliox a aire. La enfermedad de descompresión inadecuada de oído interno debe ser diferenciada del barotrauma de oído interno, ya que sus tratamientos son diferentes. Los síntomas de tambaleo pueden ser debidos a la enfermedad de descompresión inadecuada neurológico que involucran al cerebelo.

Típicamente, el movimiento ocular involuntario (nistagmus) no está presente en la enfermedad de descompresión inadecuada del cerebelo.

c) **Síntomas de EDI cardiopulmonar ("Chokes").** Si ocurre un burbujeo intravascular profuso, los síntomas pueden desarrollarse los síntomas de una Edi cardiopulmonar debido a la congestión de la circulación sanguínea pulmonar. Esta EDI puede comenzar como un dolor en el pecho agravado por la inspiración y/o como una tos irritante. El aumento de la frecuencia respiratoria y los síntomas de la congestión pulmonar creciente pueden progresar hasta el colapso circulatorio total, pérdida de la conciencia y muerte si la recompresión no se efectúa inmediatamente.

e.- **Sucesión de los síntomas.** Los síntomas de enfermedad de descompresión inadecuada usualmente ocurren poco después de la inmersión u otras exposiciones a presión. Si la descompresión controlada durante el ascenso ha sido acortada u omitida, el buzo puede desarrollar la enfermedad de descompresión inadecuada antes de alcanzar la superficie.

1) **Aparición de los síntomas.** Del análisis de varios miles de inmersiones de una base de datos obtenida por la Armada Norteamericana en el desarrollo de modelos de descompresión, se obtuvo que el tiempo de aparición de los síntomas después de llegar a la superficie está distribuido de acuerdo a:

- 42% ocurrió dentro de 1 hora.
- 60% ocurrió dentro de 3 horas.
- 83% ocurrió dentro de 8 horas.
- 98% ocurrió dentro de 24 horas.

2) **Historial de buceo.** Mientras que el historial de buceo (o exposición a alturas) es necesario para el diagnóstico a realizar de una EDI, la profundidad y duración de la inmersión sólo son útiles para establecer si se omitió parte de la descompresión requerida.

NOTA: La enfermedad de descompresión inadecuada puede ocurrir en buzos dentro de los límites de no-descompresión o en quienes han seguido cuidadosamente las tablas de descompresión.

3) **Cuando el tratamiento no es necesario.** Si las razones para los síntomas post buceo se establecen firmemente como debidos a causas diferentes a la enfermedad de descompresión inadecuada o la embolia gaseosa traumática (por ejemplo, lesiones, torceduras, trabajo forzado), entonces la recompresión no es necesaria. Si el supervisor de buceo no puede descartar la necesidad de recompresión, entonces comience el tratamiento hiperbárico.

f.- **Enfermedad de descompresión inadecuada de altura.** Los aviadores expuestos a la altura pueden experimentar síntomas de enfermedad de descompresión inadecuada similares a los experimentados por los buzos. La única diferencia principal es que los síntomas que involucran la columna vertebral son menos comunes y los síntomas que involucran al cerebro son más frecuentes en el enfermedad de descompresión inadecuada de altura que en el enfermedad de descompresión inadecuada hiperbárica. El dolor simple, sin embargo, aparece en la mayoría de los síntomas.

1) **Tratamiento del dolor de articulaciones.** Si sólo el dolor de articulaciones estaba presente pero desapareció antes de alcanzar 1 ata desde la altitud, entonces el individuo puede ser tratado con 2 horas de respiración con 100 % de oxígeno a 1 atmósfera, seguido de 24 horas de observación. Si los síntomas persisten después de retornar a 1 ata desde la altitud, el individuo afectado debe ser transferido a un centro hiperbárico para su tratamiento.

2) **Transferencia y tratamiento.** Los individuos deben mantenerse con 100 % de oxígeno durante la transferencia al centro hiperbárico. Si los síntomas se han resuelto al momento de llegar a la instalación de recompresión, deben ser examinados por cualquier síntoma residual. Si cualquier síntoma de descompresión ha estado presente en cualquier momento o si aún el menor síntoma está presente, deben ser tratados con la tabla de tratamiento adecuada tal como si los síntomas originales estuvieran aún presentes.

TRATADO 9

PRIMEROS AUXILIOS

90101. INTRODUCCIÓN

Este apéndice está pensado como una referencia rápida para los individuos entrenados en primeros auxilios y en soporte vital básico, cubriendo la resucitación cardiopulmonar de un hombre, el control de hemorragias y el tratamiento de shocks.

90102. RESUCITACIÓN CARDIOPULMONAR

Todos los buzos deben estar calificados en resucitación cardiopulmonar (CPR) de acuerdo con los procedimientos de la Asociación Americana del Corazón. Una certificación periódica de acuerdo a las orientaciones actuales en el apoyo vital básico es obligatoria para todos los buzos de la Armada

90103. CONTROL DE HEMORRAGIAS MASIVAS

Las hemorragias masivas deben ser controladas inmediatamente. Si la víctima también requiere resucitación, los dos problemas deben ser manejados simultáneamente. La hemorragia puede involucrar venas o arterias; la urgencia y el método de tratamiento estarán determinados en parte por el tipo y extensión de esta.

a.- **Hemorragia arterial externa.** La hemorragia arterial puede ser identificada usualmente por la sangre roja brillante, fluyendo en chorros o borbotones y que están sincronizadas con el pulso. La primera medida para controlar la hemorragia arterial externa es la presión directa sobre la herida.

b.- **Presión directa.** La presión se aplica mejor con compresas esterilizadas, colocadas directa y firmemente sobre la herida. En una crisis, sin embargo, puede ser utilizado casi cualquier material. Si el material usado para aplicar presión directa se embebe completamente de sangre, aplique un material adicional encima; no remueva el vendaje de presión original. La elevación de la extremidad también ayudará a controlar la hemorragia. Si la presión directa no puede controlar la hemorragia, debe utilizarse en combinación con los puntos de presión.

c.- **Puntos de presión.** La hemorragia puede a menudo ser controlado temporalmente aplicando presión con la mano en el punto de presión adecuado. Un punto de presión es un lugar donde la arteria principal pasa cerca de la piel hacia la zona lesionada y sobre un hueso. Aplicar presión en este punto con los dedos (presión digital) o con el canto de la mano; no se requieren materiales de primeros auxilios. El objeto de la presión es comprimir la arteria contra el hueso, cortando así el flujo de sangre desde el corazón a la herida.

1) **Ubicación de puntos de presión en la cara.** Existen 11 puntos principales en cada lado de la cara donde la presión de dedos o manos puede utilizarse para detener hemorragias. Estos puntos se muestran en la Figura 5B-1. Si la hemorragia ocurre en la cara bajo el nivel de los ojos, aplique presión en el punto sobre la mandíbula. Esto se muestra en la Figura 5B-1(A). Para encontrar este punto de presión, comience en el ángulo de la mandíbula y corra su dedo hacia delante a lo largo del extremo inferior de la mandíbula hasta que sienta una pequeña muesca. El punto de presión está en esta muesca.

2) **Ubicación del punto de presión para el hombro o brazo superior.** Si la hemorragia es en el hombro o en la parte superior del brazo, aplique presión con los dedos detrás de la clavícula. Usted puede presionar hacia abajo contra la primera costilla o hacia delante contra la clavícula – cualquiera de estas presiones detendrá la hemorragia. Este punto de presión se muestra en la Figura 5B-1(B).

3) **Ubicación del punto de presión para el brazo medio y la mano.** La hemorragia entre la mitad del brazo superior y el codo debería ser controlado por aplicación de presión digital en el lado interno (cuerpo) del brazo, cerca del medio camino entre el hombro y el codo. Esto comprimirá la arteria contra el hueso del brazo. La aplicación de presión en este punto se muestra en la Figura 5B-1(C). La hemorragia de la mano puede ser controlado por la presión en la muñeca, como se muestra en la Figura 5B-1(D). Si es posible sostener el brazo en el aire, la hemorragia será relativamente fácil de detener.

4) **Ubicación del punto de presión del muslo.** La Figura 5B-1(E) muestra como aplicar presión digital en el medio de la ingle para controlar la hemorragia desde el muslo. La arteria en este punto pasa sobre el hueso y bastante cerca de la superficie, de manera que la presión con los dedos puede ser suficiente para detenerla hemorragia.

5) **Ubicación del punto de presión para los pies.** La Figura 5B-1(F) muestra la posición apropiada para controlar la hemorragia desde los pies. Como en el caso de hemorragia de las manos, la elevación es útil en el control de este.

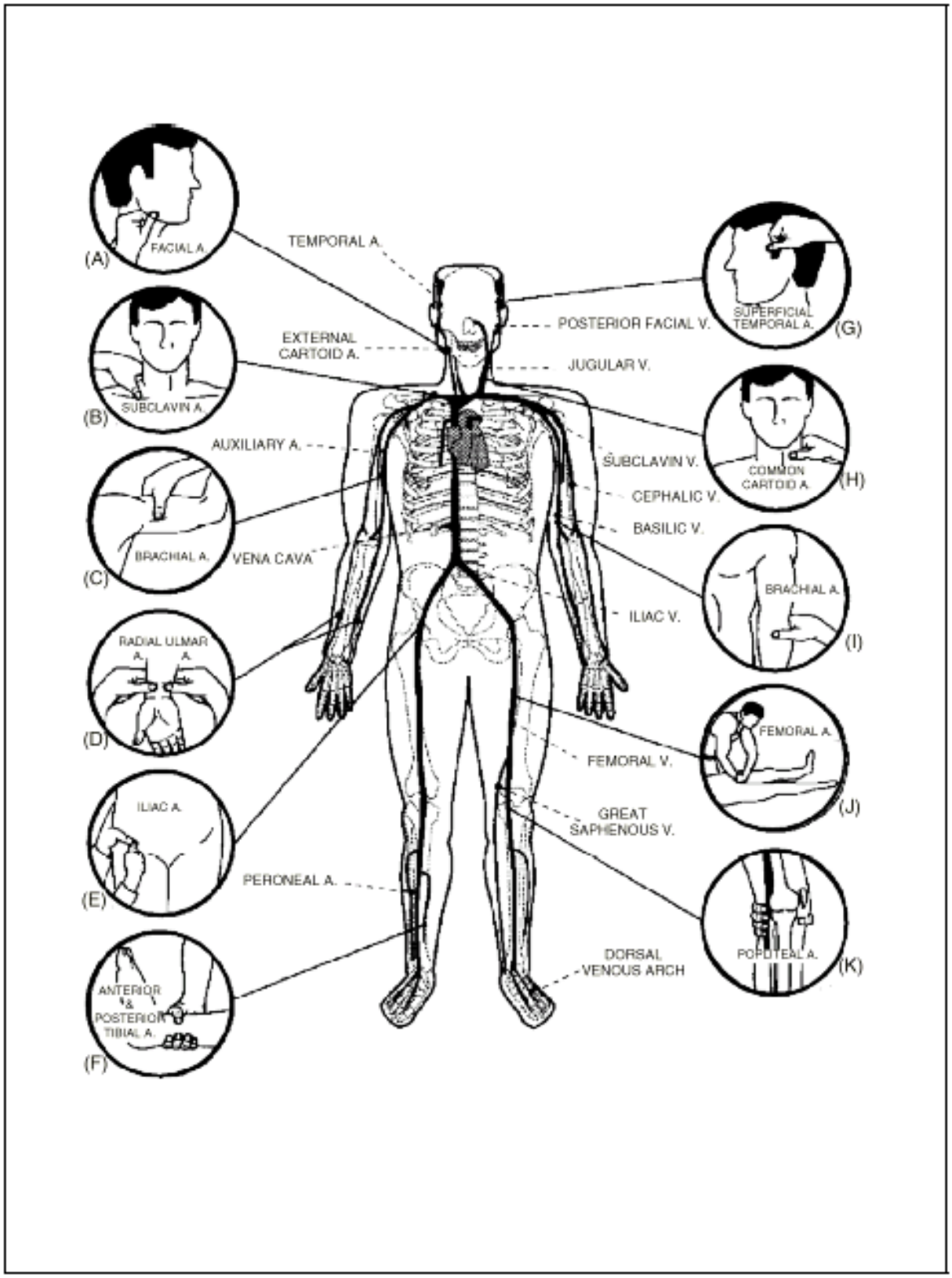


Figura 1. Puntos de presión.

6) **Ubicación del punto de presión para el cuero cabelludo o las sienes.** Si la hemorragia es en la región de las sienes o el cuero cabelludo, use sus dedos para comprimir la arteria principal del cuero cabelludo contra el hueso del cráneo en el punto de presión justo en frente del oído. La Figura 5b-1(G) muestra la posición apropiada.

7) **Ubicación del punto de presión del cuello.** Si el cuello está sangrando, aplicar presión bajo la herida, justo en frente del músculo prominente del cuello. Presione hacia adentro y ligeramente hacia atrás, comprimiendo la arteria principal contra los huesos de la columna. La aplicación de presión en este punto está mostrada en la Figura 5B-1(H). No aplique presión en este punto a menos que sea absolutamente esencial, ya hay un gran riesgo de presionar sobre la traquea y por tanto sofocar a la víctima.

8) **Ubicación del punto de presión del bajo brazo.** La hemorragia del bajo brazo puede ser controlado aplicando presión sobre el codo, como se muestra en la Figura 5B-1(I).

9) **Ubicación del punto de presión del alto muslo.** Como se mencionó antes, la hemorragia en la parte superior del muslo puede a veces ser controlado aplicando presión digital sobre la mitad de la ingle, como se muestra en la Figura 5B-1(E). Algunas veces, sin embargo, es más efectivo utilizar el punto de presión para el muslo superior como se muestra en la Figura 5B-1(J). Si se usa este punto, aplicar presión con el puño cerrado de una mano y utilice la otra mano para dar presión inicial. La arteria en este punto está profundamente enterrada en algunos de los músculos más pesados del cuerpo, por lo tanto se debe ejercer una gran cantidad de presión para comprimir la arteria contra el hueso.

10) **Ubicación del punto de presión entre rodilla y pie.** La hemorragia entre la rodilla y el pie puede ser controlado por presión firme sobre la rodilla. Si la presión al costado de la rodilla no detiene la hemorragia, sostenga el frente de la rodilla con una mano y empuje con el puño cerrado fuerte contra la arteria detrás de la rodilla, como se muestra en la Figura 5B-1(K). Si es necesario, puede colocar una compresa doblada o vendaje detrás de la rodilla, doble la pierna hacia atrás y manténgala en ese lugar con un vendaje firme. Este es una manera más efectiva de controlarla hemorragia, pero es tan incómodo para la víctima que debe ser utilizada sólo como último recurso.

11) **Determinación del punto de presión correcto.** Usted debe memorizar estos puntos de presión de manera que usted conozca inmediatamente cual punto usar para controlar hemorragias de una parte particular del cuerpo. Recuerde, el punto de presión correcto es aquél que (1) **ESTÁ MÁS CERCANO A LA HERIDA y (2) ESTÁ ENTRE LA HERIDA Y UNA PARTE PRINCIPAL DEL CUERPO.**

12) **Cuando usar los puntos de presión.** Es muy cansador aplicar presión digital y rara vez puede mantenerse por más de 15 minutos. Los puntos de presión son recomendados para el uso cuando la presión directa se aplica a una herida seria por un segundo rescatista, o después que una compresa, vendaje o parche ha sido aplicado en la herida, ya que disminuirá el flujo de sangre hacia el área, dándole entonces a la técnica de presión directa una mejor oportunidad para detener la hemorragia. También es recomendada como un tapón provisorio hasta que un vendaje de presión o un torniquete pueda ser aplicado.

d.- **Torniquete.** Un torniquete es una banda constrictiva que es utilizada para cortar la provisión de sangre a una extremidad lesionada. Use un torniquete solo si el control de la hemorragia por otro medio resulta ser difícil o imposible. Un torniquete siempre debe ser aplicado SOBRE la herida, por ejemplo, hacia el tronco, y debe ser aplicada tan cerca de la herida como sea práctico.

1) **Cómo hacer un torniquete.** Básicamente, un torniquete consiste de un acolchado, una banda y un aparato para apretar la banda de manera que los vasos sanguíneos sean comprimidos. Es mejor usar un acolchado, compresa o un objeto de presión similar, si hay uno disponible. Va debajo de la banda. Debe ser colocado directamente sobre la arteria o si no virtualmente disminuirá la presión sobre la arteria y por lo tanto generará un mayor flujo de sangre. Si un torniquete colocado sobre un objeto de presión no detiene la hemorragia, existe una buena chance de que el objeto de presión esté en el lugar equivocado. Si esto ocurre, cambie el objeto alrededor hasta que el torniquete, cuando es apretado, controle la hemorragia. Cualquier material largo y plano puede ser utilizado como banda. Es importante que la banda sea plana: cinturones, polainas, fajas planas de goma o pañuelos de cuello pueden ser utilizados; pero cabos, cables, cuerdas o pedazos de tela muy angostos no deben ser utilizados ya que se incrustan en la carne. Una vara corta puede ser utilizada para torcer la banda apretando el torniquete. La Figura 5B-2 muestra como aplicar un torniquete.

2) **Tirantez del torniquete.** Para ser efectivo, un torniquete debe estar lo suficientemente apretado para detener el flujo de sangre de la extremidad, por lo tanto asegúrese de disponer el torniquete suficientemente apretado para pararla hemorragia. Sin embargo, no lo deje más tirante que lo necesario.

3) **Después que la hemorragia está bajo control.** Después de tener la hemorragia bajo control con el torniquete, aplique una compresa esterilizada o parche a la herida y asegúrelo en esa posición con un vendaje.

4) **Puntos a recordar.** He aquí algunos puntos para recordar sobre el uso del torniquete:

- No utilice un torniquete a menos que no se pueda controlar la hemorragia con ningún otro medio.
- No utilice torniquetes para la hemorragia de cabeza, cara, cuello o tronco. Úselo sólo en extremidades.
- Siempre aplique el torniquete **SOBRE LA HERIDA** y tan cercano a ésta como sea posible. Como regla general, no coloque un torniquete bajo la rodilla o codo excepto para amputaciones completas. En ciertas áreas distales de las extremidades, los nervios yacen cerca de la piel y pueden ser dañados por la compresión. Más aún, raramente uno se enfrenta a una hemorragia distal a la rodilla o codo que requiera un torniquete.
- Asegúrese que dispone el torniquete suficientemente apretado para detener, la hemorragia pero no lo apriete más de lo necesario. El pulso bajo el torniquete debe desaparecer.
- No suelte un torniquete después que ha sido aplicado. Transporte a la víctima a una instalación médica que pueda ofrecer el cuidado apropiado.
- No cubra un torniquete con telas o parches. Si es necesario cubrir a la persona lesionada de alguna manera, **ASEGÚRESE** que todas las otras personas interesadas en el caso sepan sobre el torniquete. Usando un crayón, un lápiz de piel o sangre, marque una gran “T” en la frente de la víctima o en una tarjeta médica adosada a la muñeca.

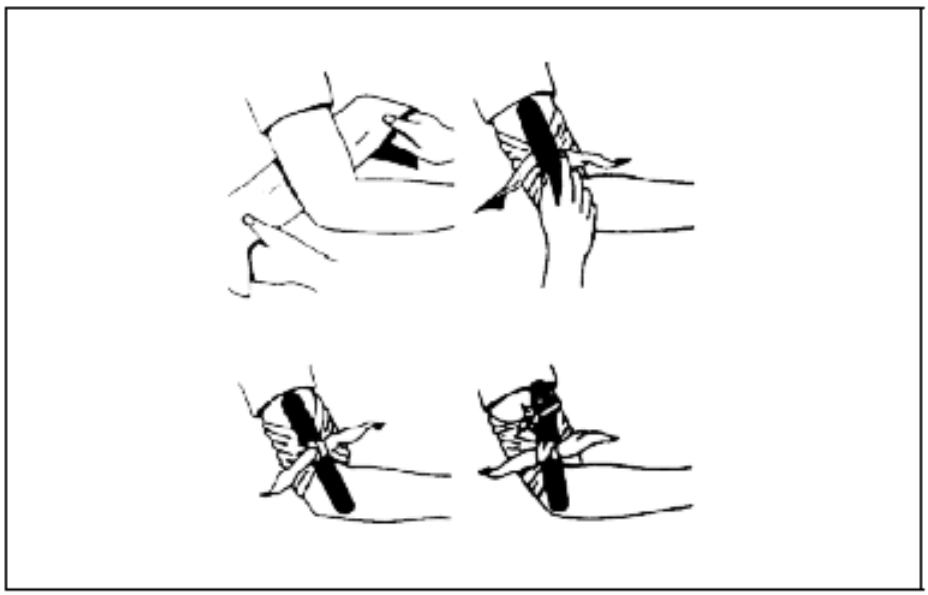


Figura 2. Aplicación de un torniquete.

e.- **Hemorragia venosa externa.** La hemorragia venosa no es tan dramática como una hemorragia arterial severo pero si se deja sin cuidado, puede ser igualmente serio. La hemorragia venosa usualmente es controlada por la aplicación directa de presión sobre la herida.

f.- **hemorragia interna.** Los signos de hemorragia externa son obvios, pero el equipo de primeros auxilios debe estar alerta por la posibilidad de hemorragias internas. Las víctimas sujetas a lesiones lacerantes, golpes fuertes o heridas punzantes profundas deben ser observadas cuidadosamente por señales de hemorragia interna. Los signos presentes usualmente incluyen:

- Piel pálida, húmeda y fría.
- Debilidad y tasa de pulso muy rápida.
- Presión sanguínea disminuida
- Debilidad o desvanecimiento
- Sangre en heces, orina o vómito.

1) **Tratamiento de la hemorragia interna.** La hemorragia interna puede ser controlado sólo por personal médico entrenado y a menudo sólo bajo condiciones de hospital. Los esfuerzos en este campo están generalmente limitados al reemplazo de la sangre perdida de la infusión intravenosa de Ringers Lactate salino u otros fluidos, y la administración de oxígeno. La rápida evacuación a una instalación médica es esencial.

90104. SHOCK

El shock puede ocurrir con cualquier lesión y estará ciertamente presente hasta alguna extensión con las lesiones serias. El shock es causado por una pérdida de flujo sanguíneo, resultando en una caída de la presión sanguínea y disminución de la circulación. Si no es tratada, esta caída en la cantidad de sangre fluyendo a los tejidos puede tener efectos serios, permanentes incluyendo la muerte.

a.- **Signos y síntomas de schock.** El shock puede ser reconocido por los siguientes signos y síntomas.

- Respiración baja, irregular, dificultosa
- Mirada perdida, desanimo, apariencia de cansancio
- Pupilas dilatadas
- Cianosis (labios y uñas azules)
- Piel pálida o gris ceniza; húmeda, fría, rígida
- Pulso débil y rápido, o bien normal
- Caída de la presión sanguínea
- Posibles arcadas, vómitos, náuseas, hipo
- Sed

b.- **Tratamiento.** El shock debe ser tratado antes que cualquier otra lesión a excepción de obstrucción de la respiración o circulación y hemorragia severa. El tratamiento apropiado envuelve el cuidado integral del paciente, no limitando la atención a unos pocos desórdenes. Los siguientes pasos deben ser seguidas para tratar un paciente en schock:

- Asegure la adecuada respiración. Si el paciente está respirando, mantenga una vía de aire adecuada ladeando la cabeza hacia atrás apropiadamente. Si el paciente no está respirando, establecer una vía de aire y restaurar la respiración a través de algún método de resucitación pulmonar. Si tanto la respiración como la circulación están detenidos, instituya las medidas de resucitación cardiopulmonar (refiérase al párrafo 5B-2).
- Controle la hemorragia. Si el paciente tiene lesiones sangrantes, utilice puntos de presión directa o un torniquete, según requerimientos (refiérase al párrafo 5B-3).
- Administrar oxígeno. Recuerde que será causada una deficiencia de oxígeno por la reducida circulación. Administre 100% de oxígeno.

- Eleve las extremidades inferiores. Ya que el flujo de sangre al corazón y al cerebro pueden haber mermado, la circulación puede ser mejorada elevando las piernas ligeramente. No es recomendable que el cuerpo entero sea ladeado, ya que la presión de los organismo internos puede presionar el diafragma, interfiriendo con la respiración. La excepción a la regla de levantar los pies son los casos de heridas en la cabeza y pecho, cuando es deseable bajar la presión en las partes lesionadas; en estos casos, la parte superior del cuerpo debe ser levantada ligeramente. Cuando existan dudas de la mejor posición, deje al paciente extendido.
- Evite el manejo brusco. Manejar al paciente tan poco y suavemente como sea posible. El movimiento del cuerpo tiene una tendencia a agravar las condiciones de schock.
- Prevenga la pérdida de calor corporal. Mantenga tibio al paciente pero cuídese del sobrecalentamiento, el cual puede agravar el schock. Recuerde colocar una frazada tanto debajo como sobre el paciente, para prevenir la pérdida de calor hacia el suelo, bote o cubierta del buque.
- Mantenga al paciente acostado. Una posición cubito dorsal (boca arriba acostado) evitará la opresión del sistema circulatorio. Sin embargo, algunos pacientes, tales como aquellos con un desorden cardiaco, deberán ser transportados en una posición semi sentada.
- No entregue nada por la boca.

TRATADO 10

VIDA MARINA PELIGROSA

100101. INTRODUCCIÓN

a.- **Propósito.** Este apéndice provee información general sobre la vida marina peligrosa que pueden ser enfrentadas en las operaciones de buceo.

b.- **Alcance.** Está más allá del alcance de este manual catalogar todos los tipos de enfrentamientos y potenciales lesiones marinas. Los supervisores deben consultar documentos específicos al realizar trabajos en zonas con vida marina peligrosa. El personal médico también es una buena fuente de información y debe ser consultada previo a la operación en aguas no familiares. Un buen conocimiento de trabajo del ambiente marino, debe evitar la pérdida de tiempo y las lesiones serias.

100102. ANIMALES MARINOS PREDATORIOS

a.- **Tiburones.** Los ataques de tiburón sobre humanos son poco frecuentes. Desde 1965, los ataques anuales registrados son de sólo 40 a 100 en todo el mundo. Estos ataques son impredecibles y las lesiones no sólo resultan de las mordidas, sino también al tomar contacto con la piel del tiburón. La piel del tiburón está cubierta con apéndices dentíneos, llamados *denticles*, los cuales están reforzados con centros como dientes. El contacto con la piel del tiburón puede llevar a amplias abrasiones y profundo sangramiento.

1) **Comportamiento pre ataque de tiburones.** El comportamiento previo al ataque de la mayoría de los tiburones es de alguna manera predecible. Un tiburón que se prepara a atacar nada con un movimiento exagerado, sus aletas pectorales apuntando hacia abajo en contraste con la posición abierta usual, y nada en círculos de radio decreciente alrededor de la presa. Un ataque puede estar precedido de una aceleración inesperada u otro cambio marcado de comportamiento, postura o patrones de nado. Si los cardúmenes de peces circundantes se tornan inexplicablemente agitados, los tiburones pueden estar en el área. Los tiburones son más rápidos y más potente que cualquier nadador. Todos los tiburones deben ser tratados con extremo respeto y precaución (ver Figura 5C-1).

2) Primeros auxilios y tratamiento.

- Las mordidas pueden resultar en una gran cantidad de sangramiento y pérdida de tejido. Tome inmediata acción para controlar el sangramiento usando grandes vendajes de gasa de presión. Cubrir las heridas con una capa de apósitos compresivos, preferiblemente hechos de gasa, pero fácilmente confeccionados
- Con poleras o toallas, y mantenerlos en su lugar envolviendo la herida firmemente con gasa, rasgaduras de vestimenta, toallas o sábanas. La presión directa con elevación o la extrema compresión sobre puntos de presión controlará el más serio sangramiento. Los principales puntos de presión son: el punto de pulso de la arteria radial para la mano; sobre el codo bajo el músculo del antebrazo (arteria branquial); y el área de la ingle con presión digital profunda o con el canto de la mano para el sangramiento de piernas (arteria femoral).
- Cuando el sangramiento no puede ser controlado con presión directa y elevación o puntos de presión, puede ser necesario un torniquete o ligadura para salvar la vida de la víctima aún cuando existe la posibilidad de pérdida de la extremidad. Los torniquetes son aplicados sólo como último recurso y sólo con la presión suficiente para controlar el sangramiento. No remueva un torniquete. El torniquete debe ser removido sólo por un médico en una instalación hospitalaria. La pérdida de un torniquete puede causar mayor schock al liberar toxinas en el sistema circulatorio desde la extremidad lesionada así como una pérdida continua de sangre.
- Tratamiento del schock por medio de acostar al paciente y levantar sus pies.
- Si hay personal médico disponible, comenzar con una vía intravenosa lactosa Ringers (IV) o salina normal con una cánula de gran diámetro (16 o 18 ga). Si la pérdida de sangre ha sido extensa deben ser infusionados varios litros rápidamente. El color, pulso y presión sanguínea del paciente deben ser usados como guía del volumen de fluido requerido. Mantener una vía de aire y administrar oxígeno. No entregue fluidos por la boca. Si la condición cardiovascular del paciente es estable, pueden administrarse narcóticos en pequeñas dosis para aliviar el dolor. Observe detenidamente la evidencia de respiraciones deprimidas debido al uso de narcóticos.

- Los procedimientos de estabilización inicial deben incluir atención a la vía de aire, la respiración y la circulación, seguida de una completa evaluación por trauma múltiple.
- Transporte a la víctima a una instalación médica tan pronto como sea posible. Inmovilice al paciente.
- Si se quiere recuperar una extremidad amputada, envuélvala en vendajes, humedezca con suero, colóquela en una bolsa plástica y enfríela, pero no en contacto directo con hielo. Transporte la extremidad amputada junto con el paciente.
- Limpie y desinfecte las heridas tan pronto como sea posible en un hospital o ambiente controlado. Ya que los dientes del tiburón son de cartílago y no de hueso, y pueden no aparecer con Rayos X, debe realizarse una exploración operativa para remover dientes incrustados.
- Considerar la evaluación con Rayos X por daños óseos potenciales debido a lesiones lacerantes. Severas lesiones lacerantes pueden resultar en fallas renales debido a la hemoglobina liberada desde el músculo herido, causando que la orina sea de color café ahumado. Monitoree estrechamente la función de los riñones y ajuste la terapia de fluido IV apropiadamente.
- administre profilaxis tetánica: toxina tetánica, 0.5 ml intramuscular (IM) y globulina inmunizadora tetánica, 250 a 400 unidades IM.
- Cultive las heridas infectadas tanto aeróbica como anaeróbicamente antes de instituir un espectro amplio de cobertura antibiótica; infecciones secundarias con especies Clostridium y Vibrio han sido reportadas frecuentemente.
- La reparación quirúrgica precisa, la cirugía reconstructiva y el oxígeno hiperbárico (HBO) con terapia adjunta para mejorar la oxigenación de los tejidos pueden ser todas necesarias.
- En casos de disminución inexplicable del estado mental u otros signos y síntomas neurológicos que sigan a un ataque de tiburón mientras se bucea, considere como posibles causas una EGT o EDI.

Figura 1. Tiburones.

b.- **ORCAS.** Las Orcas viven en todos los océanos, tanto tropicales como polares. Esta ballena es un gran mamífero con una nariz fuerte y redondeada y una alta aleta dorsal negra (ver Figura 5C-2). La cabeza y espalda negra contrastan agudamente con el blanco del estomago. Usualmente, un parche blanco puede observarse detrás y sobre el ojo. La Orca se observa generalmente en grupos de 3 a 40 ballenas. Tiene poderosas mandíbulas, gran peso, velocidad y dientes intertrabables. Debido a su velocidad y hábitos carnívoros, este animal debe ser tratado con gran respeto. No existen registros de ataques contra humanos.

Figura 2. Orca.

1) **Prevención.** Cuando se detectan Orca, todo el personal debe inmediatamente dejar el agua. Cuidado extremo debe tomarse en áreas costeras, muelles, barcazas, trozos de hielo, etc., cuando hay Orcas en el área.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.** Los primeros auxilios y el tratamiento deben seguir los mismos principios generales que aquellos utilizados para una mordida de tiburón (párrafo 5C-2.1.2).

c.- **Barracuda.** Aproximadamente 20 especies de barracuda habitan los océanos de las Indias Orientales, las aguas tropicales desde Brasil a Florida y los océanos Indo-Pacífico desde el Mar Rojo a las Islas de Hawai. La barracuda es un pez largo y delgado con mandíbulas y dientes prominentes, de color azul a plata, con una gran cabeza y una cola en forma de V (Figura 5C-3). Puede crecer hasta 3 metros y es un rápido nadador, capaz de atacar rápida y fieramente. Seguirá a los nadadores pero raramente atacará a un buzo. Se le conoce por atacar nadadores de superficie y extremidades metidas en el agua. Las heridas de una barracuda se pueden distinguir de las de un tiburón por el patrón de dientes. Una barracuda deja heridas rectas o en forma de V, mientras que las de un tiburón son curvadas como la forma de sus mandíbulas. Los ataques de barracuda que amenacen la vida son raros.

Figura 3. Barracuda.

1) **Prevención.** Las barracudas son atraídas por cualquier objeto brillante. Evite usar equipo brillante o joyas en aguas donde las barracudas puedan estar presentes. Evite acarrear peces arponeados, ya que las barracudas los atacarán. Evite zambullirse o meter las extremidades en aguas infectadas de barracudas.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.** Los primeros auxilios y tratamientos siguen los mismos principios generales usados para las mordeduras de tiburón (párrafo 5C-2.2.2). Las lesiones por lo general son menos severas que las lesiones por mordida de tiburón.

d.- **Anguila morena.** Aunque se conocen algunas especies de anguila morena de zonas templadas (Isla de J. Fernández, Pascua, Félix.), éstas habitan primordialmente en aguas tropicales y subtropicales. Es un habitante de fondo y se encuentra comúnmente en hoyos y grietas o bajo las rocas y coral. Es como una serpiente tanto en apariencia como en movimiento y tiene una piel dura y con textura de cuero (Figura 5C-4). Puede crecer hasta una longitud de 10 pies y tiene dientes prominentes. Una anguila morena es extremadamente territorial y los ataques frecuentemente son resultado de alcanzar un hoyo o grieta ocupado por la anguila. Es una mordedora potente y viciosa y puede ser difícil deshacerse una vez que la mordedura ha tenido lugar. Las mordidas de anguilas morenas pueden variar desde múltiples pequeñas heridas punzantes al tipo desgarradura con sangramiento profundo si es que ha habido

alguna escaramuza. Las lesiones usualmente las inflinge sobre las manos o antebrazos.

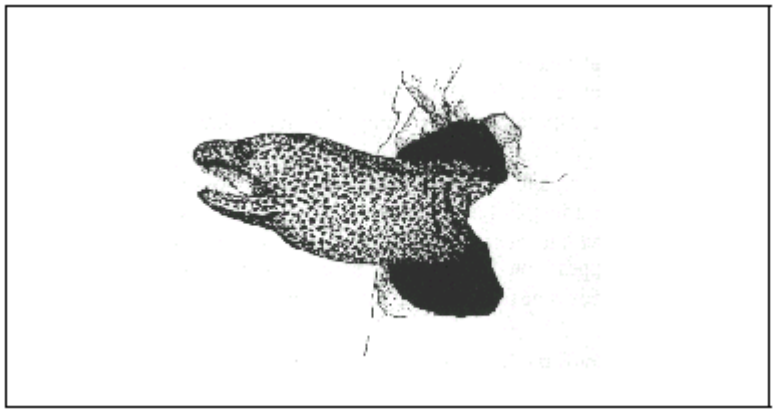


Figura 4. Anguila morena.

1) **Prevención.** Extrema precaución debe usarse cuando se alcanzan cuevas o grietas. Evite provocar o tratar de sacar a una anguila desde su agujero.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.** Los primeros auxilios primarios deben controlar el sangramiento. La presión directa y levantar la extremidad lesionada casi siempre controla el sangramiento. Disponga un seguimiento médico. Las lesiones severas en las manos deben ser evaluadas inmediatamente por un médico. Puede ocurrir un envenenamiento suave con la toxina que es liberada desde la mucosa palatina en la boca de ciertas anguilas morenas. La naturaleza de esta toxina es desconocida por lo el tratamiento es de apoyo. Siga los principios del manejo de heridas y la profilaxis del tétano como en el cuidado de mordidas de tiburón. La terapia antibiótica debe ser instaurada temprano. El cuidado especializado inmediato de un cirujano de manos puede ser necesario para la reparación de un tendón o nervio para prevenir el daño permanente y la pérdida de funcionalidad de las manos.

e.- **Leones marinos.** El león marino habita el océano Pacífico y es numeroso en la Costa. Recuerda a una gran foca. Los leones marinos normalmente no son dañinos; sin embargo, durante la temporada de apareamiento (de Octubre a Diciembre), grandes leones marinos machos pueden ponerse irritados y embestirán a los buzos. Los intentos de los buzos por manejar estos animales pueden resultar en mordeduras. Estas mordeduras tienen apariencia similar a mordeduras de perro y raramente son graves.

1) **Prevención.** Los buzos deben evitar estos mamíferos cuando estén en el agua.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- Controlar el sangramiento local.
- Limpiar y desinfectar la herida.
- Administrar la apropiada profilaxis de tétano.
- Las infecciones de heridas son comunes y se aconseja una terapia antibiótica.

100103. ANIMALES MARINOS VENENOSOS

a.- **Peces venenosos (excluyendo el pez-piedra, pez-cebra, pez-escorpión).** La identificación de un pez después de un aguijonazo no siempre es posible; sin embargo, los síntomas y efectos del veneno no varían mucho. Los peces venenosos raramente son agresivos y usualmente el contacto se hace por pisar accidentalmente o manipular el pez. Las espinas de un pez muerto permanecen venenosas (ver Figura 5C-5). El veneno generalmente es sensible al calor y puede ser descompuesto por agua caliente. Los síntomas locales que siguen al aguijonazo incluyen dolor severo combinado después con entumecimiento o aún hipersensibilidad alrededor de la herida. El sitio de la herida puede tornarse cianótico con el tejido circundante poniéndose pálido y distendido. Los síntomas generales pueden incluir náuseas, vómitos, sudoración, fiebre suave, esfuerzo respiratorio y colapso. El dolor inducido puede parecer desproporcionadamente alto respecto de la aparente severidad de la herida. El personal médico debe estar preparado para las serias reacciones anafilácticas de aguijonazos o envenenamientos aparentemente menores.

1) **Prevención.** Evite manipular peces sospechosos de ser venenosos. Los peces venenosos a menudo se encuentran en agujeros o grietas o yaciendo bien camuflados sobre el fondo rocoso. Los buzos deben estar alerta a su presencia y tomar precauciones para evitarlos.

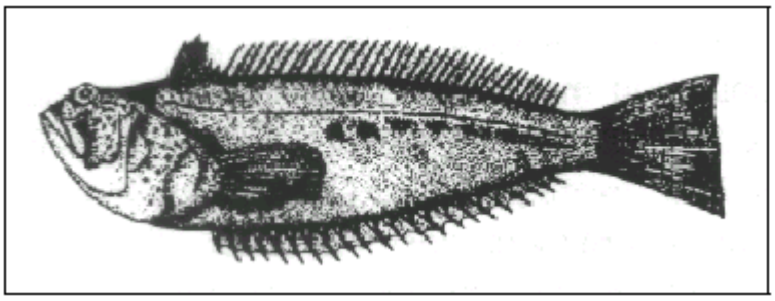


Figura 5. Pez venenoso. Se muestra el pez weever.

2) Primeros auxilios y tratamiento.

- Saque a la víctima del agua; cuidado con los desvanecimientos.
- Acueste al paciente e inmovilícelo.
- Observe los signos de schock.
- Lave la herida con agua salada fría o una solución salina estéril. Puede requerirse cirugía para abrir la herida punzante. La succión no es efectiva para remover esta toxina.
- Remoje la herida en agua caliente por 30 a 90 minutos. El calor puede anular el efecto del veneno. El agua debe estar tan caliente como la víctima pueda tolerar, pero no más caliente que 50 ºC (122 ºF). La inmersión en agua sobre esta temperatura puede producir quemaduras. por más breve que sea el período. La inmersión en agua debe entonces ser breve y repetida según necesidad. Use compresas calientes si la herida es sobre la cara. Añadir sulfato de magnesio (sales epsom) al agua no ofrece ningún beneficio.
- Las inyecciones de gluconato de Calcio, diazepam o metacarbamol pueden ayudar a reducir los espasmos musculares. La infiltración de la herida con xilocaína al 0.5 a 2 por ciento sin epinefrina es útil para reducir el dolor. Si se utiliza incorrectamente la xilocaína con epinefrina, puede resultar necrosis local producto de tanto la toxina como la epinefrina presentes en la herida. También pueden ser necesarios narcóticos para manejar el dolor severo.
- Limpie y desinfecte la herida. Las espinas usualmente permanecen y pueden continuar liberando veneno.

- Los torniquetes o ligaduras ya no son aconsejables. Use un ungüento antiséptico o antibiótico y una cobertura estéril. Restringa el movimiento de la extremidad con tablillas y cuellos inmovilizadores.
- Administre la apropiada profilaxis de tétano.
- Trate profilácticamente con un ungüento antibiótico tópico. Si ha ocurrido una demora con el tratamiento, se recomienda que la herida sea cultivada antes de la administración sistemática de antibióticos.

b.- **Peces altamente tóxicos (pez-piedra, pez-cebra, pez-escorpión).** Se ha conocido que aguijonazos de pez-piedra, pez-cebra y pez-escorpión han provocado la muerte. Mientras existen muchas similitudes entre estos peces y los peces venenosos de la sección previa, se ha incluido una sección separada debido a la mayor toxicidad de su veneno y la disponibilidad de un antídoto. El antídoto es específico para el pez-piedra, pero puede tener algún efecto benéfico contra el pez-escorpión y el pez-cebra. Los síntomas locales son similares a otros envenenamientos por peces excepto que el dolor es más severo y puede persistir por muchos días. Los síntomas generalizados a menudo están presentes y pueden incluir fallas respiratorias y colapso cardiovascular. Estos peces están ampliamente distribuidos en mares templados y tropicales y en algunas aguas árticas. Son habitantes de fondos de poca profundidad. El pez-cebra y el pez-escorpión son aplanados verticalmente, oscuros y moteados. El pez-escorpión es adornado y plumoso en apariencia con segmentos alternados oscuros y brillantes (ver Figura 5C-6).

1) **Prevención.** LA prevención es la misma que para los peces venenosos (párrafo 5C-3.1.1).

2) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- Entregue los mismos primeros auxilios que aquellos mencionados para los peces venenosos
- Observe cuidadosamente al paciente por el posible desarrollo de complicaciones con amenaza vital. El veneno es una proteína inestable que actúa como miotoxina sobre el esqueleto, involuntario y músculo cardíaco. Esto puede producir parálisis muscular, depresión respiratoria, vasodilatación periférica, schock, arritmias cardiacas o detención del corazón.
- Limpie y desinfecte la herida.

- El antídoto está disponible desde el Commonwealth Serum Lab, Melbourne, Australia (vea la Referencia 4 al final de este apéndice para la dirección y número telefónico). Si se usa el antídoto, las directrices respecto a la dosificación y las pruebas de sensibilidad en el inserto que acompaña al empaque deben ser seguidas y el médico debe estar listo para tratar un schock anafiláctico (severa reacción alérgica). En síntesis, una o dos punzadas requieren 2,000 unidades (una ampolla); tres o cuatro punzadas, 4,000 unidades (dos ampollas); y cinco a seis punzadas, 6,000 unidades (tres ampollas). El antídoto debe ser enviado a través de una inyección Intravenosa lenta, y debe monitorearse estrechamente a la víctima por el schock anafiláctico.
- Instituya la profilaxis de tétano, terapia analgésica y antibióticos como se describió para otros aguijonazos de pez.

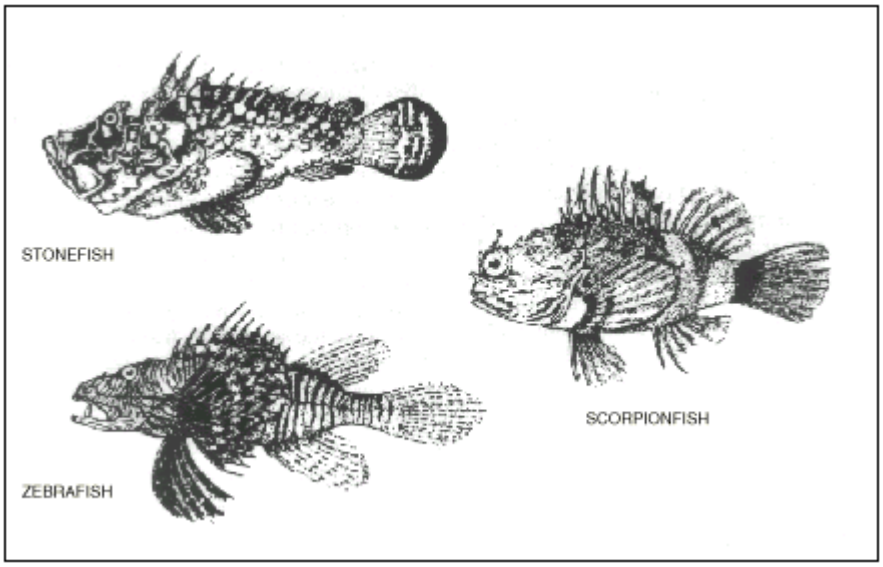


Figura 6. Peces altamente tóxicos.

c.- **Manta rayas.** La manta raya es común en todas las regiones tropicales, subtropicales, calientes y temperadas. Usualmente favorece las aguas poco profundas y se enterrará en la arena sólo con los ojos y la cola expuesta. Tiene una forma de murciélago y una larga cola (ver Figura 5C-7). La mayoría de los ataques ocurren cuando los bañistas se paran inadvertidamente sobre una raya, causando que ataque defensivamente con la cola. La espina está ubicada cerca de la base de la cola. Las heridas son ya sea del tipo punzante o lacerante y es extremadamente dolorosa. La herida aparece distendida y pálida con un halo azul. Las infecciones secundarias de la herida son comunes. Los síntomas sistemáticos pueden estar presentes y pueden incluir desvanecimientos, náuseas, vómitos, sudoración, dificultades respiratorias y colapso cardiovascular.

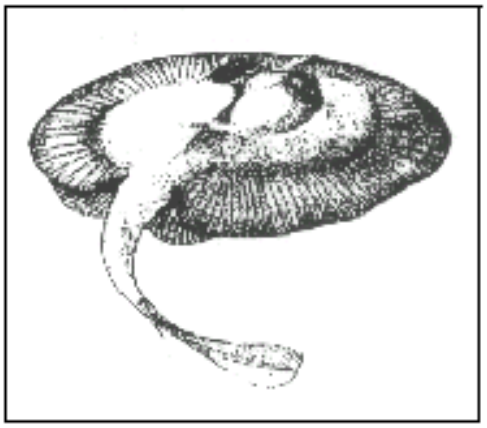


Figura 7. Manta raya.

1) **Prevención.** En aguas poco profundas que favorecen la habitación de rayas, arrastre los pies sobre el fondo y pruebe con una vara para alertar a las rayas y asustarlas.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- Entregue los mismos primeros auxilios entregados en el caso de peces venenosos
- Instituya la terapia de agua caliente como se describió para el envenenamiento por peces.
- Limpie y desinfecte la herida. La remoción de la espina puede lacerar tejidos adicionales debido a las barbas apuntadas hacia atrás. Asegúrese de remover la espina, ya que continuará liberando toxina.

- Observe al paciente cuidadosamente por el posible desarrollo de complicaciones con amenaza vital. Los síntomas pueden incluir arritmias cardiacas, hipotensión, vómitos, diarrea, sudoración, parálisis muscular, depresión respiratoria y detención cardiaca. Se han reportado muertes ocasionalmente.
- Instituya la profilaxis de tétano, la terapia analgésica y antibióticos de alto espectro como se describió en el envenenamiento por peces.

d.- **Celenterados.** Los tipos peligrosos de celenterados incluyen: El hombre-de-guerra Portugués (sifonóforos), el himenóptero de mar o medusa de caja, la ortiga de mar o acalefo, la burbuja de mar, la anémona de mar y la anémona rosada (Figura 5C-8). Las medusas varían ampliamente en color (azul, verde, rosado, rojo, café) o pueden ser transparentes. Aparentan ser flotadores como globos con tentáculos flotando en el agua. La lesión punzante más común es la picadura de medusa. Las medusas pueden entrar en contacto directo con un buzo en virtualmente cualquier región oceánica, a lo ancho del mundo. Cuando esto sucede, el buzo es expuesto a, literalmente, miles de diminutos órganos picadores en los tentáculos llamados nematocistos. La mayoría de las picaduras de medusa resultan sólo en una irritación de la piel local dolorosa.

La medusa de caja y el sifonóforos son los tipos más peligrosos. La medusa de caja (encontrado en el Indo-Pacífico) puede inducir la muerte dentro de 10 minutos por colapso cardiovascular, falla respiratoria y parálisis muscular. Se han reportado también muertes por picaduras del sifonóforo. Aún cuando la intoxicación por ingestión de anémonas de mar venenosas es rara, las anémonas de mar no deben comerse.

1) **Prevención.** No manipule las medusas. Los especimenes varados o aparentemente muertos pueden aún ser capaces de picar. Aún las toallas o vestimentas contaminadas con nematocistos pueden causar picaduras meses después.

3) **Evitar los tentáculos.** En algunas especies de medusa, los tentáculos pueden rastrear grandes distancias horizontal y verticalmente en el agua y no son fácilmente distinguibles por los buzos. Los nadadores y buzos deben evitar la proximidad de las medusas para evitar el contacto de sus tentáculos, especialmente cuando se está cerca de la superficie.

3) **Protección contra las medusas.** Trajes húmedos, corazas corporales o ropa protectiva debe ser usada cuando se bucea en aguas donde las medusas son abundantes. La jalea de petróleo aplicada a la piel expuesta (p.e., alrededor de la boca) ayuda a prevenir las picaduras, pero debe usarse precaución ya que la jalea de petróleo puede deteriorar los productos de goma.

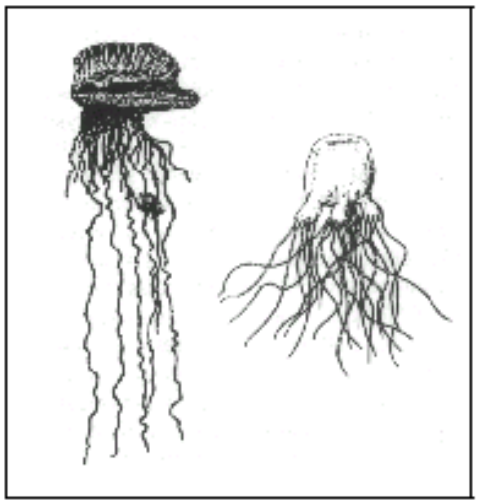


Figura 8. Celenterados. Los celenterados peligrosos incluyen el Hombre-de-guerra-Portugués.

4) **Primeros auxilios y tratamiento.** Sin frotar, gentilmente remueva cualquier tentáculo remanente usando una toalla o vestimenta. Para prevenir cualquier otra descarga de los nematocistos, use vinagre (ácido ascético diluido) o una solución al 3 a 10 por ciento de ácido ascética. Una solución acuosa al 20 por ciento de sulfato de aluminio y 11 por ciento detergente es moderadamente efectiva pero el vinagre funciona mejor. No use alcohol o preparaciones que contengan alcohol. Los espíritus metilados o metanol, 100 por ciento alcohol y mezclas de alcohol y agua de mar todos han demostrado causar una masiva descarga de los nematocistos. Además, estos compuestos pueden empeorar la reacción inflamatoria de la piel. El ácido pírico, la orina humana y el agua fresca también se ha encontrado que son inefectivos o aún descargan nematocistos y no deben ser utilizados. Frotar arena o utilizar papillas que contengan suavizadores de carne no es efectivo y puede llevar a una mayor descarga de nematocistos y no

deben ser utilizados. Se ha sugerido que el alcohol isopropileno (frotado) puede ser efectivo. Sólo debe ser probado si no hay disponible vinagre o ácido ascético diluido.

5) **Tratamiento sintomático.** El tratamiento sintomático puede incluir terapia de esteroides tópica, ungüentos anestésicos (xilocaína, 2 por ciento), lociones antihistamínicas, analgésicos o antihistamínicos sistémicos. Las preparaciones anestésicas de benzocaína tópica no deben utilizarse ya que pueden causar sensibilización y una posterior reacción cutánea.

6) **Anafilaxis.** La anafilaxis (severa reacción alérgica) puede ser producida por la picadura de las medusas.

7) **Antídoto.** Está disponible un antídoto para neutralizar los efectos de la medusa de caja (Chironex fleckeri). El antídoto debe ser administrado lentamente a través de una IV, con una técnica de infusión si es posible. La inyección IM debe administrarse sólo si el método IV no es practicable. Un contenedor del antídoto de la medusa de caja debe ser usado por la ruta IV y tres contenedores si se inyecta por la ruta IM. Cada contenedor de antídoto tiene 20,000 unidades y debe ser mantenido refrigerado, no congelado, a 36-50ºF (2-10ºC). La reacción sensitiva al antídoto debe ser tratada con una inyección subcutánea de epinefrina (0.3 cc con dilución 1:1,000), corticoides y antihistamínicos. Trate cualquier hipotensión (presión sanguínea severamente baja) con expansores de volumen IV y medicaciones de presión según necesidad. El antídoto puede ser obtenido de los Laboratorios Commonwealth Serum, Melbourne, Australia (vea la Referencia 4 para la dirección y número telefónico).

e.- **Coral.** El coral, una formación porosa parecida a la piedra, se encuentra en aguas tropicales y subtropicales. El coral es extremadamente afilado y aún el más delicado coral es a menudo más peligroso debido a sus extremos como navajas. Los cortes por coral, casi siempre bastante superficiales, toman un gran tiempo para sanar y pueden causar incapacidad temporal. El más pequeño corte, si se deja sin tratamiento, puede desarrollar una úlcera de la piel. Las infecciones secundarias ocurren a menudo y pueden ser reconocidas por la presencia de un área roja y lisa alrededor de la herida. Todos los cortes por coral deben recibir atención médica. Algunas variedades de coral pueden de hecho picar a un buzo ya que el coral es celenterado como la medusa. Se ha encontrado recientemente que algunos de los suaves corales del tipo Palythoa contienen el veneno más mortífero conocido por el hombre. Este

veneno se encuentra dentro del cuerpo del organismo y no en los nematocistos. La secreción de este coral puede causar una seria reacción cutánea (dermatitis) y aún ser fatal si se expone una herida abierta. No se conoce antídoto.

1) **Prevención.** Extremo cuidado debe tenerse cuando se trabaja cerca del coral. A menudo el coral se ubica en una formación de barrera, sujeto a la pesada acción de la superficie del agua, la corriente de superficie y la corriente de fondo. La marejada también se desarrolla en áreas de acantilados. Por esta razón, es fácil para el buzo ignorante ser arrastrado o precipitado a través del coral con serias consecuencias. Esté preparado.

2) **Protección contra el coral.** El coral no debe ser manipulado con las manos desnudas. Los pies deben estar protegidos con botines, zapatos de coral o zapatillas. Los trajes húmedos y la vestimenta protectora, especialmente los guantes (guantes de neopreno o de trabajo pesado) deben utilizarse en las cercanías del coral.

3) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- Controle el sangramiento local.
- Limpie prontamente con peróxido de hidrógeno o solución al 10 por ciento de povidona yodada y desinfecte la herida, removiendo todas las partículas extrañas.
- Cubra con una tela limpia.
- Administre la apropiada profilaxis de tétano.
- El ungüento antibiótico tópico ha demostrado ser muy efectivo en la prevención de las infecciones secundarias. Las heridas punzantes del coral pueden requerir un manejo sintomático tal como una terapia de esteroides tópico, antihistamínicos y analgésicos sistémicos. En casos severos, restringa al paciente a reposo en cama con elevación de la extremidad, telas semi húmedas y antibióticos sistemáticos. Los esteroides sistemáticos pueden ser necesarios para manejar la reacción inflamatoria resultante de la combinación de trauma y dermatitis.

f.- **Pulpos.** El pulpo habita los océanos tropicales y temperados. Tiene un gran saco rodeado por 8 o 10 tentáculos (Figura 5C-9). La cabeza del saco es grande con ojos bien desarrollados y fuertes mandíbulas en la boca. El movimiento lo realiza por la acción jet producida al expeler agua por la cavidad a través del sifón. El pulpo se esconderá en cuevas, grietas o conchas. Posee un bien desarrollado aparato venenoso en sus glándulas salivales y aguijonea con mordiscos. Toda las especies de pulpo encontradas en Chile son inofensivas. El pulpo de aros azules, común en las aguas de Australia y el Indo-Pacífico puede infligir mordeduras fatales. El veneno del pulpo de aros azules es un bloqueador neuromuscular llamado tetrodotoxina y también se encuentra en el pez Puffer (Fugu). El envenenamiento de la mordedura de un pulpo de aros azules puede llevar a parálisis muscular, vómitos, dificultad respiratoria, distorsiones visuales y colapso cardiovascular. La mordida del pulpo consiste de dos pequeñas punciones. Resulta una sensación quemante o irritante que puede expandirse prontamente. Dilatación, coloración roja e inflamación son comunes. El sangramiento puede ser severo y la capacidad coagulante de la sangre a menudo es retardada por la acción de un anticoagulante en el veneno.

1) **Prevención.** Extrema precaución debe usarse cuando se alcanzan cuevas o grietas. Independiente del tamaño, un pulpo debe ser manipulado cuidadosamente con guantes. No se debe arponear un pulpo, debido al riesgo de quedar atrapado en sus tentáculos.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- Controlar el sangramiento local.
- Limpiar y desinfectar la herida y cubrir con una tela limpia.
- Para mordeduras sospechadas de pulpo de aros azules, no aplique una banda constrictiva suelta. Aplique presión directa con un vendaje de presión e inmovilice la extremidad en una posición que sea inferior al corazón usando tablillas y vendajes elásticos.
- Esté preparado para administrar resucitación boca-a-boca y resucitación cardiopulmonar si es necesario.
- El veneno del pulpo de aros azules es estable al calor y actúa como agente bloqueador neuromuscular. El veneno no es afectado por la terapia de agua caliente. No hay antídoto disponible.

- La terapia médica para las mordeduras del pulpo de aros azules está dirigida hacia el manejo de las complicaciones paralíticas, cardiovasculares y respiratorias. La detención de la respiración es común y la intubación con ventilación mecánica puede ser requerida. La duración de la parálisis está entre 4 y 12 horas. Inmovilice al paciente.
- Administre la profilaxis de tétano apropiada.

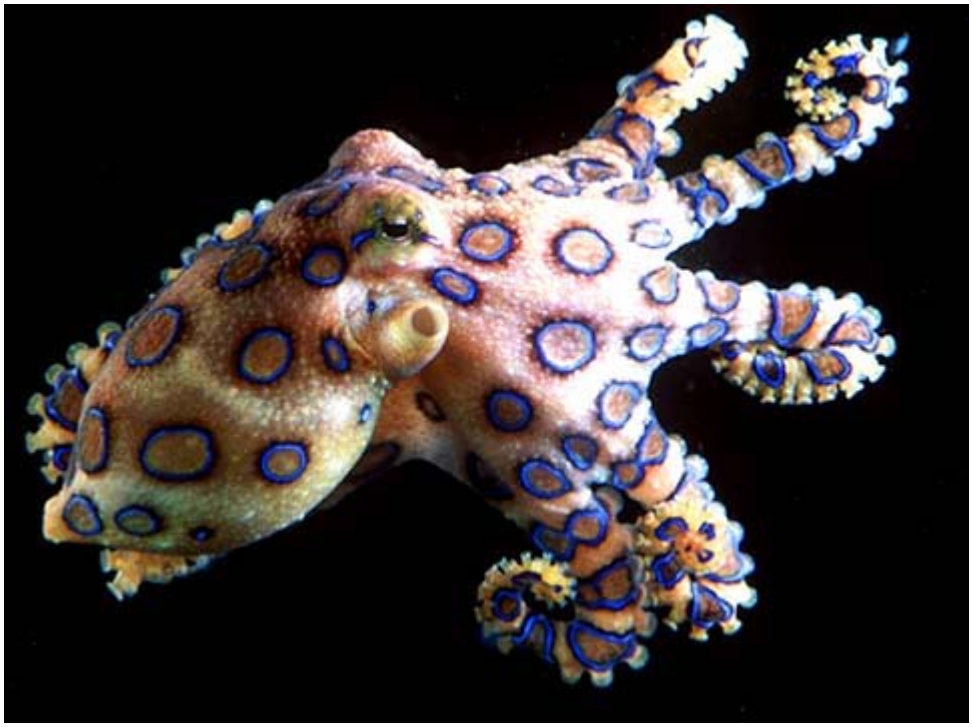


Figura 9. Pulpo.

g.- **Gusanos segmentados (Anélidos)(Ejemplos: Gusano de sangre, gusano de púas).** Este tipo invertebrado varía de acuerdo a la región y se encuentra en zonas templadas, tropicales o temperadas. Usualmente se encuentra bajo rocas o coral y es especialmente común en el Pacífico tropical, las Bahamas, los Cayos de Florida y el Golfo de México. Los anélidos tienen cuerpos largos y segmentados con estructuras punzantes como púas en cada segmento. Algunas especies tienen mandíbulas y también inflingen una dolorosa mordedura. El veneno causa inflamación y dolor.

1) **Prevención.** Usar guantes ligeros de algodón para protegerse contra el gusano de sangre, pero utilizar guantes de cuero o goma para protegerse contra el gusano de púas.

2) P**rimeros auxilios y tratamiento.**

- Remueva las púas con una cinta con una cinta muy pegajosa como la tela adhesiva. La aplicación tópica de vinagre aliviará el dolor.

- El tratamiento está dirigido hacia el alivio de los síntomas y puede incluir la terapia tópica de esteroides, antihistamínicos y analgésicos sistemáticos.

- Puede ocurrir una infección de la herida pero puede ser fácilmente prevenida usando una solución antiséptica de povidona yodada al 10 por ciento y un ungüento antibiótico tópico. Los antibióticos sistemáticos pueden ser necesarios para las infecciones secundarias establecidas que primero necesitan cultivación, aeróbica y anaeróbica.

h.- **Erizos de mar.** Existen varios tipos de erizo de mar con una amplia distribución. Cada especie tiene una forma radial y largas espinas. La penetración de la espina de un erizo de mar puede causar un intenso dolor local debido al veneno en la espina o de otro tipo de órgano punzante llamado *globiferous pedicellariae*. Entumecimiento, debilidad generalizada, parestesia, náuseas, vómitos y arritmias cardiacas han sido reportadas.

1) **Prevención.** Evite el contacto con erizos de mar. Aún los de espina corta pueden infligir su veneno a través de los órganos punzantes pediciliarios. El calzado protectivo y los guantes se recomiendan. Las espinas pueden penetrar trajes húmedos, botines y zapatillas.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- Remueva los fragmentos largos de espina gentilmente, teniendo cuidado en no romperlos en pequeños fragmentos que permanezcan en la herida.
- Bañe la herida en vinagre o alcohol isopropileno. Sumergir la extremidad herida en agua caliente hasta 122 f (50ºC) puede ayudar. Se debe tener precaución para prever el escaldamiento de la piel, lo que puede ocurrir fácilmente después de un breve período en agua sobre 122ºF (50ºC).

- La infección de la herida puede ocurrir pero puede ser fácilmente prevenida limpiando la piel con una solución antiséptica de povidona yodada al 10 por ciento y ungüentos antibióticos tópicos. Cultive, tanto aeróbica como anaeróbicamente, antes de administrar antibióticos sistemáticos a las infecciones secundarias establecidas.
- Remueva tanto de la espina como sea posible. Algunos pequeños fragmentos pueden ser absorbidos por el cuerpo. La remoción quirúrgica, de preferencia con un microscopio de disección, puede ser necesaria cuando las espinas están cerca de nervios y articulaciones. Las espinas pueden formar granulomas meses después y pueden incluso migrar hacia otros sitios.
- Las reacciones alérgicas y broncoespasmos pueden ser controlados con epinefrina subcutánea (0.3cc de dilución 1:1,000) y con el uso de antihistamínicos sistemáticos. No hay antídotos específicos disponibles.
- Administre la apropiada profilaxis al tétano.
- Consiga atención médica para heridas profundas.

i.- **Conchas cónicas.** La concha cónica está ampliamente distribuido en todas las regiones y generalmente se encuentra bajo rocas y coral o arrastrándose por la arena. La concha es más a menudo simétrica en una forma espiral, colorida, con una cabeza distintiva, uno o dos pares de tentáculos, dos ojos y un gran pie aplanado sobre el cuerpo (Figura 5C-10). La picadura de una concha cónica debe ser considerada tan severa como la mordedura de una serpiente venenosa. Tiene un aparato venenoso altamente desarrollado: el veneno está contenido en dardos dentro de la probóscide la cual sale desde el extremo angosto pero es capaz de alcanzar la mayoría de la concha. Las picaduras de la concha cónica son seguidas por una sensación de punción o quemadura en el sitio de la herida. El entumecimiento y estremecimiento comienzan en el sitio de la herida y pueden extenderse al resto del cuerpo; el envolvimiento de la boca y los labios es severo. Otros síntomas incluyen parálisis muscular, dificultad en tragar y hablar, distorsiones visuales y esfuerzos respiratorios.

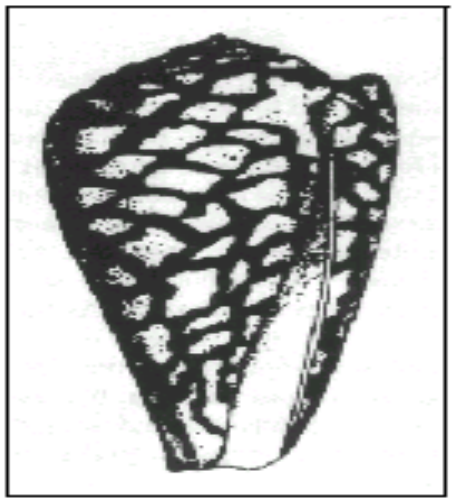


Figura 10. Concha cónica

1) **Prevención.** Evite manipular conchas cónicas. El veneno puede ser inyectado a través de la ropa y los guantes.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- Acueste al paciente
- No aplique una banda o ligadura constrictiva suelta. Se recomienda la presión directa con un vendaje de presión y la inmovilización en un nivel inferior al corazón usando tablillas y vendajes elásticos.
- Algunas autoridades recomiendan la incisión de la herida y la remoción del veneno por succión, aunque esto es controversial. Sin embargo, el acuerdo general es que si hay que hacer incisiones, estas deben ser pequeñas (un centímetro), lineales y penetrar sólo hasta el nivel del tejido subcutáneo. La incisión y succión sólo debe realizarse si es posible hacerlo dentro de dos minutos después de la picadura. De otra manera, el procedimiento puede no ser efectivo. La incisión y succión por parte de personal sin experiencia ha resultado en una inadvertida rotura de nervios, tendones y vasos sanguíneos.
- Transporte al paciente a una instalación médica mientras se asegure que el paciente está respirando adecuadamente. Está preparado para administrar resucitación boca-a-boca si es necesario.

- El veneno de las conchas cónicas produce parálisis o páresis del músculo esqueletal, con y sin mialgia. Los síntomas se desarrollan a minutos de la picadura y sus efectos pueden durar hasta 24 horas.
- No hay antídoto disponible.
- Esfuerzos respiratorios pueden suceder debido al bloqueo neuromuscular. El paciente debe ser remitido a una instalación hospitalaria y ser monitoreado cercanamente por complicaciones respiratorias o cardiovasculares. Trate según el desarrollo de los síntomas.
- Anestésicos locales sin epinefrina pueden ser inyectados en el sitio de la herida si el dolor es severo. Los analgésicos que causan depresión respiratoria deben utilizarse con precaución.
- El manejo de picaduras severas es de apoyo. La respiración puede necesitar ser apoyada con intubación o respiración mecánica.
- Administre la profilaxis de tétano apropiada

j.- **Serpientes de mar.** La serpiente de mar es un reptil que respira aire, el cual se ha adaptado a su ambiente acuático con el desarrollo de una cola de pala. Las serpientes de mar habitan el área Indo-Pacífica y el Mar Rojo y han sido vistas a 150 millas de la costa. Las áreas más peligrosas para nadar son las desembocaduras de los ríos, donde las serpientes de mar son más numerosas y el agua es más turbia. La serpiente de mar es una verdadera serpiente, generalmente de 3 a 4 pies de largo, pero puede alcanzar los 9 pies. Generalmente es listada (Figura 5C-11). La serpiente de mar es curiosa y a menudo es atraída por los buzos, excepto durante su temporada de celo.

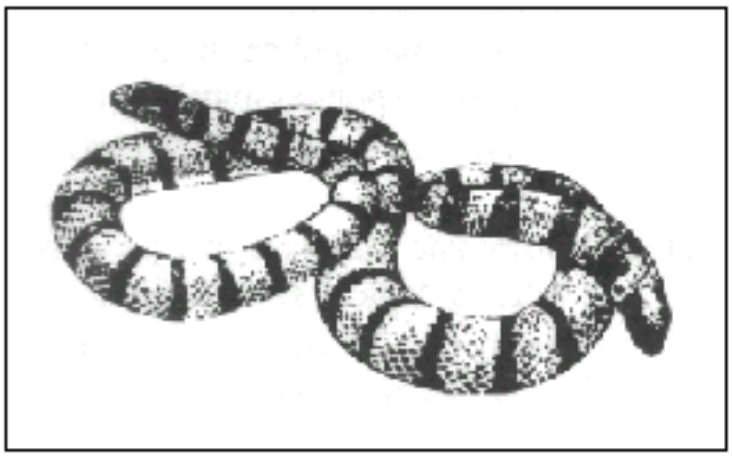


Figura 11. Serpiente de mar

1) **Efectos de la mordida de una serpiente de mar.** La serpiente de mar inyecta un veneno que tiene de 2 a 10 veces la toxicidad de la cobra. Las mordeduras generalmente aparecen como cuatro marcas de punción, pero puede variar en un rango de 1 a 20 punciones. Los dientes pueden permanecer en la herida. El veneno neurotoxina es una proteína no enzimática estable al calor; por lo tanto, las mordeduras de serpientes de mar no debe ser inmersa en agua caliente como con las picaduras de peces venenosos. Debido a sus pequeñas mandíbulas, las mordeduras a menudo no resultan en envenenamiento. Las mordeduras de serpiente de mar característicamente producen poco dolor y existe usualmente un período latente desde 10 minutos a varias horas antes del desarrollo de los síntomas generalizados: dolor y rigidez muscular, sensación de lengua hinchada, parálisis progresiva, náuseas, vómitos, dificultad al tragar y hablar, esfuerzos y falla respiratoria más una orina color humo por la mioglobinuria, la cual puede llegar a fallas de los riñones.

2) **Prevención.** Los trajes húmedos o vestimentas protectivas, especialmente guantes, pueden proveer una protección sustancial contra las mordeduras y deben utilizarse cuando se bucea en aguas donde las serpientes de mar son abundantes. También, se deben usar zapatos cuando se camina donde se sabe existen serpientes de mar, incluyendo la vecindad de operaciones de pesca. No manipule las serpientes de mar. Las mordeduras a menudo ocurren sobre las manos de pescadores tratando de sacar las serpientes de sus redes.

3) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- Mantenga quieta a la víctima.
- No aplique un torniquete o banda constrictiva suelta. Aplique presión directa usando un vendaje de compresión e inmovilice la extremidad en la posición dependiente con tablillas y vendajes elásticos. Esto previene la transmisión de la toxina a través de la circulación linfática.
- Haga una incisión y aplique succión (ver párrafo 5C-3.9).
- Transporte a todas las víctimas de mordedura de serpiente de mar a una instalación médica tan pronto como sea posible, independiente de los síntomas presentes.

- Observe que el paciente esté respirando adecuadamente. Esté preparado para administrar resucitación boca-a-boca o resucitación cardiopulmonar si se requiere.
- El veneno es una proteína estable al calor que bloquea la transmisión neuromuscular. A menudo se observa mionecrosis con la mioglobinuria y daño renal resultantes. Puede desarrollarse hipotensión.
- La detención de la respiración puede producirse por la parálisis muscular generalizada; puede requerirse la intubación y ventilación mecánica.
- La función renal debe ser estrechamente monitoreada y puede necesitarse perito o hemodiálisis. La alcalinización de la orina con suficientes fluidos IV promoverá la secreción de mioglobina. Monitorear la función renal y el balance de fluidos anticipando una falla renal aguda.
- Los signos vitales deben monitorearse cercanamente. Pueden requerirse apoyo cardiovascular más oxígeno y fluidos IV.
- Debido a la posibilidad de síntomas retardados, todas las víctimas de mordeduras de serpiente de mar deben estar en observación al menos 12 horas.
- Si los síntomas de envenenamiento ocurren al cabo de una hora, el antídoto debe ser administrado tan pronto como sea posible. En un paciente seriamente envenenado, la terapia con antídotos puede ser útil aún después de un retraso significativo. El antídoto está disponible desde los Laboratorios Commonwealth Serum, Melbourne, Australia. Si el antídoto específico no está disponible, puede ser sustituido por un antídoto polivalente de serpiente de tierra (con un componente de serpiente tigre o krait Elapidae) . Si se utiliza el antídoto, las directrices respecto de dosificación y pruebas de sensibilidad del inserto que acompaña al empaque deben seguirse y el médico debe estar listo para tratar una anafilaxis (severa reacción alérgica). Se recomienda la infusión por el método IV o el goteo monitoreado estrechamente sobre un período de una hora.
- Administre la profilaxis del tétano apropiada.

k.- **Esponjas.** Las esponjas están compuestas de diminutos animales multicelulares con espículas de sílice o carbonato de calcio embutidas en un esqueleto fibroso. La exposición de la piel a los irritantes químicos sobre la superficie de ciertas esponjas o la exposición a las diminutas y afiladas espículas pueden causar una dolorosa condición de la piel llamada dermatitis.

1) **Prevención.** Evite el contacto con esponjas y use guantes cuando manipule esponjas vivas.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- La cinta adhesiva o de ductos puede remover efectivamente las espículas.
- Vinagre o ácido ascético al 3-10 por ciento puede ser aplicada con compresas saturadas ya que las esponjas pueden estar secundariamente habitadas por celenterados aguijoneantes.
- Una loción antihistamínica (diphenhidra-mine) y luego un esteroide tópico (hidrocortisona), pueden ser aplicadas para reducir la temprana reacción inflamatoria.
- Un ungüento antibiótico es efectivo para reducir la chance de una infección secundaria.

100104. ANIMALES MARINOS VENENOSOS

a.- **Envenenamiento por pescado ciguatera.** El envenenamiento ciguatera es un envenenamiento causado por el consumo de carne de pescado que ha comido un microorganismo productor de toxinas, el dinoflagelate, Gambierdiscus toxicus. El envenenamiento es común en peces de arrecife entre las Latitudes 35ºN y 35ºS alrededor de islas tropicales o costas tropicales y semitropicales en Florida del sur, el Caribe, las Indias del Oeste y los océanos Pacífico e Indico. Los peces y animales marinos incluyen la barracuda, la tortuga mordedora roja, el mero, la perca, el pez loro y la anguila morena. La incidencia es impredecible y dependiente de los cambios ambientales que afectan el nivel de dinoflagelates. La toxina es estable al calor, insípida e inodora y no es destruida por la cocción o el ácido gástrico. Los síntomas pueden comenzar inmediatamente o después de varias horas de la ingesta y pueden incluir náuseas, vómitos, diarrea, picazón y debilidad muscular, dolores y espasmos. Los síntomas neurológicos pueden incluir dolor, ataxia, parestesias (estremecimientos) y parestesias circumorales (entumecimiento alrededor de la boca). Puede ocurrir una sensación reversa de las sensaciones de frío y calor cuando se tocan o comen objetos de temperaturas extremas. En casos severos, pueden ocurrir fallas respiratorias y colapsos cardiovasculares. El prurito (picazón) característicamente empeora con la ingestión de alcohol. Los síntomas gastrointestinales usualmente desaparecen dentro de 24 a 72 horas. Aunque una recuperación completa ocurrirá en la mayoría de los casos, los síntomas neurológicos pueden persistir por meses o años. Los signos y síntomas del envenenamiento por pescado ciguatera pueden ser mal diagnosticados como mal de descompresión o dermatitis de contacto con medusas o corales no vistos. Debido a los rápidos viajes y la refrigeración moderna, el envenenamiento ciguatera puede ocurrir lejos de las áreas

endémicas con viajeros internacionales o patrones de restaurantes insospechados.

1) **Prevención.** Nunca coma el hígado, las vísceras o huevos de pescados tropicales. Peces inusualmente grandes para su especie deben ser sospechosos. Cuando se viaja, consultar con los nativos en lo concerniente al envenenamiento por peces locales, aún cuando esta información no siempre es confiable.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- El tratamiento es principalmente de apoyo y sintomático. Si el tiempo entre la ingestión sospechada del pez es corto y la víctima está totalmente consciente, induzca el vómito (sirope de Ipecac) y administre purgativos (catársicos, laxativos) para acelerar la eliminación del pez no digerido.
- Además de los síntomas descritos arriba, otras complicaciones que pueden requerir tratamiento son la hipotensión y las aritmias cardiacas.
- Pueden requerirse agentes espasmolíticos y antidiarreicos si los síntomas gstrointestinales son severos. La atropina puede requerirse para controlar la bradicardia. Fluidos IV pueden necesitarse para controlar la hipotensión. Para el espasmo muscular puede administrarse metocarbamol, gluconato de calcio y diazepam.
- La amitriptilina ha sido usada exitosamente para resolver síntomas neurológicos como la depresión.
- Las duchas frías pueden inducir prurito (comezón).

b.- **Envenenamiento por pescado escombroideo.** A diferencia del envenenamiento por pescado ciguatera (ver párrafo 5C-4.1), donde la toxina ya está concentrada en la carne del pescado, el envenenamiento por pescado escombroideo ocurre por diferentes tipos de pescados que no han sido apropiadamente refrigerados o preparados para el consumo inmediato. Los típicos pescados que causan envenenamiento escombroideo son atún, barrilete, caballa, bonito, delfín, maha-mahi (Delfín del Pacífico) y el pez azul. Los peces que causan el envenenamiento escombroideo se encuentran tanto en aguas tropicales como cálidas. Una rápida producción bacterial de histamina y saurina (un componente como histamínico) produce los síntomas de una reacción histamínica: náuseas, dolor abdominal, vómitos, FLUSHING facial, urticaria, dolor de cabeza, prurito (comezón), broncoespasmos y una sensación de comezón o quemazón en la boca. Los síntomas pueden comenzar 1 hora después de la ingestión y durar entre 8 a 12 horas. Son raras los decesos.

1) **Prevención.** Limpie inmediatamente el pescado y presérvelo con rápido enfriamiento. No coma ningún pescado que haya sido dejado al sol o en el calor más de 2 horas.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.** Antihistamínicos orales (p.e., difenidramina, cimetidina), epinefrina (dada subcutáneamente) y esteroides deben darse según necesidad.

c.- **Envenenamiento por pez Puffer (Fugu).** Una neurotoxina extremadamente potente llamada tetrodotoxina se encuentra en las vísceras, gónadas, hígado y piel de una variedad de peces, incluyendo el pez Puffer, el pez puercoespín y el pez sol oceánico. El pez Puffer llamado también pez globo, pejesapo, y llamado Fugu en japonés - son encontrados principalmente en los trópicos pero también en aguas cálidas del EEUU costero, África, Sudamérica, Asia y el Mediterráneo. El pez globo es considerado un manjar en Japón, donde es rebanado finamente y comido como sashimi. Chefs licenciados son entrenados para seleccionar aquellos peces globo menos susceptibles de ser venenosos y también para evitar el contacto con los órganos viscerales conocido que concentran el veneno. El primer signo de envenenamiento es usualmente con temblores alrededor de la boca, los cuales se expanden a las extremidades y pueden causar un entumecimiento generalizado del cuerpo. LOS FINDINGS neurológicos pueden progresar a STUMBLING GAIT (ataxia), debilidad generalizada y parálisis. La víctima, aunque paralizado, permanece conciente hasta que ocurre la muerte por paro respiratorio.

1) **Prevención.** Evite comer pez Puffer. Cocinar la carne envenenada no destruirá a la toxina.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- Proveer cuidados de apoyo con manejo de las vías de aire y monitoreo de la respiración y circulación.
- Monitorear la función anal.
- Monitorear y tratar las arritmias cardiacas.

d.- **Envenenamiento paralítico por mariscos (PSP o Marea Roja).** El envenenamiento paralítico por mariscos (PSP) es causado por moluscos (bivalvos) como las almejas, ostras y mejillones que ingieren dinoflagelates que produce una neurotoxina la cual afecta luego al hombre. La proliferación de estos dinoflagelates durante los meses calurosos del año produce una característica marea roja. Sin embargo, algunas especies de dinoflagelates son incoloros, por lo que se pueden consumir moluscos envenenados sin saber. Las autoridades de salud pública deben monitorear tanto muestras del agua de mar como de los mariscos para detectar la toxina. Los mariscos venenosos no pueden detectarse por apariencia, olor o decoloración producto de la cocción. También, los mariscos venenosos pueden encontrarse ya sea en zonas de alta o baja marea. Las variedades tóxicas de dinoflagelates son comunes en la zona sur de Chile, por lo que está prohibido el consumo en estas zonas diferente de dinoflagelate, aunque no es tóxico si se ingiere, puede llevar a la irritación ocular y del tracto respiratorio por la exposición en la línea costera a un dinoflagelate que se torna aerolizado por la acción de las olas y el viento.

1) **Síntomas.** Los síntomas de PSP generalizado incluyen la parestesia (temblores alrededor de boca) la cual se expande a las extremidades y puede progresar a debilidad muscular, ataxia, salivación, intensa sed y dificultad para tragar. Los síntomas gastrointestinales no son comunes. La muerte, aunque no es común, puede resultar por paro respiratorio. Los síntomas comienzan 30 minutos después de la ingestión y pueden durar varias semanas. La enfermedad gastrointestinal que ocurre después de varias horas después de la ingestión es más probable que se deba a una contaminación bacterial de los mariscos (vea párrafo 5C-4.5). Las reacciones alérgicas tales como la urticaria, el prurito, sensación de sequedad y picazón en la garganta, hinchazón de la lengua y broncoespasmos también pueden ser una hipersensitividad individual a un marisco específico y no PSP.

2) **Prevención.** Ya que este dinoflagelate es estable al calor, la cocción no previene el envenenamiento. El caldo o consomé en la cual los mariscos son hervidos es especialmente peligroso ya que el veneno es soluble en agua y será encontrado concentrado en el caldo.

3) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- No se conoce antídoto. Si la víctima está completamente consciente, induzca el vómito. El lavado de estómago con fluidos alcalinos (solución de bicarbonato de sodio) puede ser útil ya que el veneno es estable a la acidez.
- Proveer tratamiento de apoyo con observación estrecha y apoyo vital avanzado es necesario hasta que la enfermedad se resuelva. El envenenamiento también está relacionado con la cantidad de mariscos consumidos y la concentración de dinoflagelates contaminantes.

e.- **Enfermedades bacteriales y virales por mariscos.** Grandes cantidades de fiebre tifoidea y otros males diarreicos causados por el género Vibrio han sido detectadas por consumir ostras crudas, jaibas y calamares cocinados inadecuadamente. Las muestras de heces diarreicas de pacientes sospechosos de tener una enfermedad viral o bacterial por mariscos deben ser colocados en un medio especial de crecimiento (bilo-tiosulfatecitrato, sales-sacarosa, agar) para criar específicamente especies de Vibrio, lo cual evita el envío al laboratorio de referencia para la confirmación.

1) **Prevención.** Para evitar las enfermedades virales o bacteriales (p.e., Hepatitis A o gastroenteritis viral de Norwalk) asociadas con ostras, almejas y otros mariscos, un individuo sólo debe comer mariscos completamente cocidos. Se ha probado que el consumo de mariscos crudos (moluscos) presenta un riesgo definitivo de contraer enfermedades.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.**

- Proveer el cuidado de apoyo con atención en la continuidad de la ingesta de fluido por la boca o IV intravenoso.
- Consultar al personal médico para el tratamiento de diferentes especies de Vibrio que puedan sospecharse.

f.- **Cohombros de mar (Pepinos de mar).** El pepino de mar es consumido frecuentemente en algunas partes del mundo vendido como Trepang o Beche-de-Mer. Es hervido y luego secado al sol o ahumado. El contacto con el líquido secretado por la cavidad visceral de algunas especies de pepino de mar pueden causar una severa reacción de la piel (dermatitis) o aún ceguera. La intoxicación por el pepino de mar es rara.

1) **Prevención.** Los habitantes locales pueden avisar sobre la presencia de pepinos de mar en la región. Sin embargo, esta información no es confiable. Evite el contacto con los jugos viscerales.

2) **Primeros auxilios y tratamiento.** Debido a que no se conoce el antídoto, el tratamiento es sólo sintomático. La irritación de la piel puede ser tratada como la picadura de una medusa (párrafo 5C-3.4.4).

g.- **Infección parasitaria.** La infección parasitaria puede ser de dos tipos: superficial o de la carne. Los parásitos superficiales amadrigan en la carne del pez y son fácilmente vistos y removidos. Estos pueden incluir piojos de pescado, gusanos de ancla y sanguijuelas. Los parásitos de la carne pueden estar ya sea enquistados o libres en los músculos, entrañas y agallas de los peces. Estos parásitos pueden incluir gusanos redondos, gusanos de cinta y trematodos. Si el pescado no está cocido adecuadamente, estos parásitos pueden pasarse a los humanos.

1) **Prevención.** Evite comer pescado crudo. Prepare todo el pescado por cocción o ahumado-caliente. Cuando se limpie el pescado, busque áreas enquistadas o harinosas en la carne; corte y descarte cualquier quiste o área sospechosa. Remueva todos los parásitos superficiales. Nunca coma las entrañas o vísceras de ningún pez.

100105. REFERENCIAS PARA INFORMACIÓN ADICIONAL

1.- Prevention and Treatment of Dangerous Marine Animal Injuries, a publication.

2.- by International Bio-toxicological Centre, World Life Research Institute, Colton, CA; November 1982; P.S. Auerbach and B.W. Halstead.

3.- Management of Wilderness and Environmental Emergencies, Macmillan Publishing Co., New York, N. Y., 1983. Eds. P.S. Auerbach and E.C. Greehr.

4.- The Life of Sharks, Columbia University Press, New York 1971. P. Budkur.

5.- Commonwealth Serum Laboratories, 45 Poplar Road, Parkville, Melbourne, Victoria, Australia; Telephone Number: 011-61-3-389-1911, Telex AA-32789.

6.- Sharks. Doubleday, Garden City, N.Y., 1970. J. Y. Cousteau.

7.- Fish and Shellfish Acquired Diseases. American Family Physician. Vol 24: pp. 103-108, 1981. M. L. Dembert, K. Strosahl and R. L. Bumgarner.

8.- Consumption of Raw Shellfish - Is the Risk Now Unacceptable? New England Journal of Medicine. Vol 314: pp. 707-708, 1986. H. L. DuPont..