

# PARÁMETROS A CONSIDERAR PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DEL AIRE EN ACTIVIDADES DE BUCEO CON SUMINISTRO DE AIRE DE SUPERFICIE



---

# PARÁMETROS A CONSIDERAR PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DEL AIRE EN ACTIVIDADES DE BUCEO CON SUMINISTRO DE AIRE DE SUPERFICIE

---

## 1. INTRODUCCIÓN.

El desarrollo, avance y auge de la industria de la acuicultura, así como también el aumento de las concesiones marítimas (otorgado a personas naturales y jurídicas que proyecten el desarrollo de la explotación recursos tales como mariscos y peces), además del incremento del número de mariscadores artesanales, ha significado un considerable aumento de la exposición a riesgos inherentes a las actividades de buceo, capaces de generar graves consecuencias para la salud de los trabajadores que se desempeñan en este tipo de faenas, como por ejemplo: síndrome de descompresión aguda, necrosis de tejidos blandos, neumonitis por aspiración e intoxicación por monóxido de carbono, entre otro tipo de daños que se podrían presentar.

Es relevante indicar que, además de las eventuales prácticas inadecuadas (por conocimientos insuficientes, inexperiencia, limitaciones físicas, o simplemente motivación) que se pueden presentar en el desempeño en este tipo de labores o faenas, otro de los principales factores de riesgo existente corresponde a la calidad de aire suministrado al buzo, principalmente cuando se realizan actividades con suministro de aire desde la superficie.

En este contexto, la presente nota técnica considera una serie de recomendaciones que permitan minimizar el riesgo asociado a una calidad deficiente del aire suministrado a un buzo desde la superficie, junto con describir los efectos posibles sobre la salud de éste en caso de no considerar las debidas medidas preventivas.

## 2. OBJETIVO.

Entregar recomendaciones para obtener una calidad del aire respirable suministrado por un sistema de compresión de superficie, junto con una explicación del proceso de compresión y efectos sobre la salud debido a la falta de control de éste.

## 3. DESARROLLO.

### 3.1. Descripción del proceso de compresión de un gas.

En un proceso de compresión de un gas (en este caso aire), se reduce el volumen de la masa, generándose un aumento de la presión y de la energía cinética, lo que permite que el fluido se pueda desplazar. Este proceso de compresión (aire, gas compresible) responde al comportamiento de la ley general de los gases

(Ley de Boyle – Mariotte y Ley de Gay Lussac), las cuales establecen que la presión que se ejerce por una determinada fuerza es inversamente proporcional al volumen de una masa gaseosa, considerando que la temperatura se mantiene constante (proceso adiabático).

Para realizar el proceso de compresión, es necesario utilizar un equipo denominado compresor (Figura N°1). Este es un equipo o máquina mecánica, la cual permite comprimir un fluido (aire en este caso) aumentando la presión por sobre la presión atmosférica y también aumentando la energía cinética. Está formado básicamente por un conjunto de pistones y anillos que suben (etapa de compresión de aire) y bajan (etapa de admisión de aire) alternadamente al interior de un cilindro o camisa. Este movimiento se logra mediante la utilización de un sistema de cigüeñal y biela manivela. Es importante señalar que todos estos mecanismos son lubricados por aceite, lo que permite reducir el ajuste y la fricción entre los distintos componentes, lográndose transformar un movimiento rotatorio o circular en un movimiento alternativo y viceversa.

**Figura N°1:**

*Ejemplo de compresor*

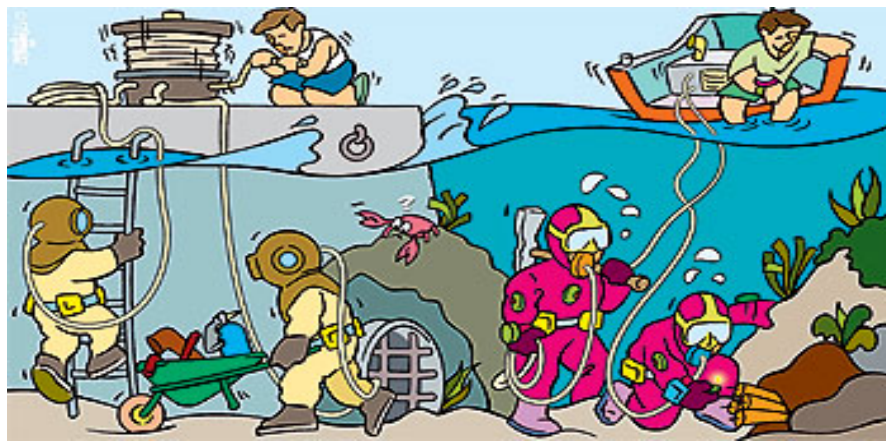


El fluido comprimido (aire), puede ser utilizado en diferentes y variados procesos tales como: recubrimiento superficial de pintura, limpieza superficial (granallado), accionamiento de accesorios y mecanismos (neumática) de uso industrial. En la mayoría de estos usos, la calidad del aire comprimido no tiene mayor importancia, salvo el retiro de algún tipo de impurezas (principalmente aceite y agua). Sin embargo, el aire comprimido que es utilizado para la respiración, como es en el caso de las actividades laborales asociadas al buceo, requiere ser de una calidad tal que no afecte la salud de las personas que realizan este tipo de actividades.

La presión de aire que deberá generar el compresor dependerá de la profundidad de inmersión y de la cantidad de buzos. Por ejemplo, para una profundidad máxima de inmersión de 20 metros y para un buzo se requiere generar una presión mínima de 10 BAR. El dispositivo que le permite respirar normalmente al buzo corresponde al regulador el cual reduce la presión de salida del aire.

**Figura N°2:**

*Ejemplo de actividades de buceo con suministro de aire de superficie*



**3.2. Generación de contaminantes debido al proceso de compresión del aire.**

En todo proceso de compresión de aire se va a generar un fluido a presión superior a la atmosférica y, en consecuencia, se genera una disminución del volumen para una misma masa del contaminante, lo que se traduce en un aumento de la concentración de éste.

Considerando lo anteriormente expuesto, se hace necesario conocer los “agentes o productos” que potencialmente pueden “contaminar” el aire suministrado desde la superficie y los cuales se detallan a continuación:

- Partículas en suspensión que eventualmente pueden estar presente en el lugar donde se realiza la faena y que ingresarán al proceso de compresión.
- Agua con una cantidad significativa de gases disueltos producto del proceso de compresión (debido al aumento de la presión, la humedad ambiental se condensará transformándose en agua en estado líquido)
- Partículas o aerosoles de aceite proveniente del aceite utilizado como lubricante de los elementos internos o componentes del compresor, principalmente de la lubricación del conjunto cigüeñal y biela manivela, anillos, pistones y cilindros. La cantidad de este tipo de contaminante dependerá del estado de mantenimiento el compresor.
- Compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes del proceso de descomposición de los aceites lubricantes.
- Hidrocarburos no quemados, dióxido y monóxido de carbono, los que si bien no se generan directamente en el proceso de compresión de aire, aparecen cuando se utiliza un motor de combustión interna para el accionamiento del compresor y cuando el tubo de escape de la salida de los gases se encuentra en la cercanía de la toma de aire del compresor<sup>1</sup>.

En general, en este tipo de motores rara vez la combustión es completa<sup>2</sup>, sino que incompleta (no todo el combustible se oxida), generándose cantidades relevantes de monóxido de carbono y combustibles no quemados.

1 Siendo el de mayor riesgo el monóxido de carbono, gas incoloro, inodoro e insípido altamente tóxico.

2 Cuando todo el combustible se oxida transformando el carbono de combustible en dióxido de carbono. Otro de los requisitos para que se realice una combustión completa es cuando la mezcla aire-combustible esté presente en proporciones adecuadas y en perfecta homogeneidad. Esta última situación, en la mayoría de los casos, tampoco se logra debido a las características constructivas de este tipo de motores.

### 3.3 Efectos sobre la salud debido a una mala calidad de aire suministrado.

¿Cuál será el(los) efecto(s) sobre la salud de un buzo que respira o inhala un aire que no cumpla los estándares mínimos de calidad? (ver punto 3.4 de la presente nota técnica). La respuesta a esta pregunta tiene directa relación con el tipo de contaminante que puede estar presente en el aire suministrado y descrito en el punto 3.2, presentándose la siguiente asociación:

- Partículas: Dependiendo de su tamaño, éstas podrán causar irritación de ojos y vías respiratorias, pudiendo llegar incluso hasta alterar la actividad pulmonar. Las partículas de mayor tamaño probablemente quedarán retenidas en las vías áreas altas (cavidades nasales, faringe y laringe), mientras que las partículas de menor tamaño podrán incluso llegar a los alveolos (región de intercambio gaseoso).

Para fines de la evaluación de este tipo de partículas existe un “convenio de fracciones”, el cual establece el porcentaje de recolección mínimo de éstas en base a su tamaño (diámetro aerodinámico), lo que influye en la capacidad de retención de éstas en algún sector específico del sistema respiratorio. Esta clasificación considera: “material particulado inhalable” (partículas menores a 100 µm, capaces de depositarse en cualquier parte del tracto respiratorio), “material particulado torácico” (partículas menores a 30 µm capaces de depositarse en cualquier parte de las vías aéreas pulmonares y parte de la región de intercambio gaseoso) y “material particulado respirable” (partículas menores a 10 µm con capacidad de depósito en la región de intercambio gaseoso)<sup>3</sup>.

- Agua: Podrá causar deterioro en algún elemento o componente del sistema teniendo presente que ésta es rica en gases disueltos (O<sub>2</sub>) y, por lo tanto, altamente corrosiva.
- Partículas o aerosoles de aceite: Pequeñas gotitas de aceite provenientes del funcionamiento deficiente del sistema de compresión, las que, con exposiciones repetidas y prolongadas, pueden causar desde: tos, sensación de ahogo o dificultad para respirar, expectoraciones con sangre, hasta generar una “neumonía lipoidea” (ver Figura N°3), atribuible a la acumulación de lípidos en los alveolos pulmonares de ambos pulmones (bilateral).

#### **Figura N°3:**

*Ejemplo de neumonía lipoidea*



3 TLVs and BEIs de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists); Año 2016

- Compuestos orgánicos volátiles (COV): Dependiendo de su concentración pueden causar, a corto plazo, cefaleas, mareos, fatiga, sensación de ahogo e irritación. A largo plazo, podrían causar daño a hígado y riñones, entre otros órganos y sistemas.
- Hidrocarburos no quemados: Efectos similares a los causados por los compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes del funcionamiento defectuoso del motor de combustión interna y, que eventualmente, puedan ingresar al proceso de compresión del aire.
- Monóxido de carbono: Este compuesto al ser inhalado reacciona con la hemoglobina de la sangre formando un compuesto denominado carboxi-hemoglobina, reduciendo la capacidad de la sangre para transportar el oxígeno. Dependiendo de la concentración del monóxido de carbono, éste podrá causar cefaleas, mareos, náuseas, pérdida de conocimiento, convulsiones e incluso la muerte.

#### **Figura N°4:**

*Ejemplos de efectos producto de la intoxicación con Monóxido de Carbono*



### **3.4. Requerimientos mínimos de calidad para el suministro de aire a buzos desde superficie.**

Respecto de los requisitos de la calidad del aire para este tipo de actividades, existen recomendaciones nacionales e internacionales. En el ámbito internacional, organizaciones tales como la OSHA (Administración para la Salud y Seguridad Ocupacional de U.S.A.), CGA (Asociación de gases comprimidos de U.S.A) y la ADC (Asociación de Contratistas para Buceo), entre otras, coinciden en que los requisitos de la calidad del aire para buceo deben considerar un "Aire Grado E".

En Chile, los requisitos para este tipo de calidad de aire se encuentran establecidos en la Norma Chilena NCh2197.Of.72 "Gases Comprimidos Aire – Clasificación requisitos de calidad y Métodos de muestreo y Análisis". A su vez, la "Guía de Requerimientos Técnicos Mínimos de Equipamiento de Acumuladores de Aire", como también la "Guía de Requerimientos Técnicos Mínimos para Sistemas de Compresión de Aire" del Instituto de Salud Pública de Chile, recomiendan que el aire respirable para las actividades de buceo debe ser "Aire Grado E", es decir, que presente un porcentaje de O<sub>2</sub> de 20 a 22 %, aceite condensado máximo de 5 mg/m<sup>3</sup>, una concentración máxima de CO de 10 ppm, una concentración máxima de CO<sub>2</sub> de 500 ppm y una concentración máxima de hidrocarburos de 25 ppm (medidas como CH<sub>4</sub>).



#### 4. RECOMENDACIONES A CONSIDERAR.

- 4.1. El aire utilizado en actividades de buceo, provenientes de un proceso de compresión de superficie, debe contar con un sistema de filtración capaz de retener los “contaminantes”, de tal forma que se cumpla con la calidad de aire tipo “E” definida en la Norma NCh2197.Of.92. Este sistema de filtración de aire, deberá contar con filtros que permitan retener y capturar partículas o aerosoles de aceite y agua (provenientes del proceso de compresión) y expulsarlos en forma automática del sistema. Además, deberán contar con filtros de adsorción (como por ejemplo de carbón activado) que permitan retener gases y olores, siendo de vital relevancia, conocer la vida útil de éstos.
- 4.2. Considerar la incorporación al sistema de suministro de aire utilizado para actividades de buceo, de un accesorio que permita detectar la presencia del monóxido de carbono en el aire respirable, así como también, algún tipo de sistema que permita una comunicación directa entre el buzo y el personal de apoyo de superficie. Dispositivos como éstos, permitirán minimizar los riesgos (incluso muertes) presentes en estas actividades.
- 4.3. Con el objeto de evitar o minimizar los efectos adversos generados por una mala calidad de aire suministrado al buzo desde la superficie, será de importancia tomar en consideración lo siguiente:
  - Mantener en perfectas condiciones mecánicas el sistema de compresión.
  - Utilizar aceites lubricantes de origen mineral o vegetal (no tóxico), de uso alimenticio, sin olor, inertes y que no forme residuos carbonosos.
  - Reemplazar los filtros del sistema de filtración de aire de acuerdo a las recomendaciones entregadas por el fabricante de éstos.
  - Mantener alejada la salida de los gases del proceso de combustión del motor (tubo de escape), considerando además la dirección de los vientos predominantes.
  - Contar con un filtro instalado a la entrada, o ingreso del aire, del sistema de compresión que permita la retención de partículas gruesas y/o elementos extraños.
  - Verificar periódicamente, mediante mediciones y análisis, la calidad del aire entregado.



## 5. BIBLIOGRAFÍA.

- 5.1. Estructura y Funciones del Sistema Respiratorio; Dra. Trinidad Sánchez y Dra. Ida Concha; Facultad de Medicina; Pontificia Universidad Católica de Chile; Publicación Año 2018.
- 5.2. Neumonía lipoidea tras aspiración accidental de vaselina; Francisca Herrera: Licenciado en Medicina, Universidad de Chile, Interno de Medicina, Universidad de Chile. Cathia Selman: Licenciado en Medicina, Universidad de Chile, Interno de Medicina, Universidad de Chile. Sebastián Chávez: Licenciado en Medicina, Universidad de Chile, Interno de Medicina, Universidad de Chile. Dra. Fabiola Castro: Pediatra. Depto. Pediatría y Cirugía Infantil, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.
- 5.3. TLVs and BEIs de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists); Año 2016.
- 5.4. Norma Chilena NCh2197.Of.72 “Gases Comprimidos Aire – Clasificación requisitos de calidad y Métodos de muestreo y Análisis”.
- 5.5. Neumonía Lipoidea: Scuba On Line.
- 5.6. Decreto Supremo N° 594, de 1999: Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, Ministerio de Salud.