

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCIÓN REY BALDUINO DE BELGICA**

**“PROPUESTA PARA ADQUISICIÓN DE UNA CÁMARA DE
DESCOMPRESIÓN BIPLAZA EN CENTROS DE CULTIVOS
ACUÍCOLAS; EVALUACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN
Y MANTENIMIENTO”**

Trabajo de titulación para optar al título
profesional de INGENIERO EN
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Nombre del alumno:

Sr. David Esteban Troncoso Neira

Nombre profesor Guía:

Ing. Aldo Gabriel Fuentes Troncoso

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: PROPUESTA PARA ADQUISICIÓN DE UNA CÁMARA DE DESCOMPRESIÓN BIPLAZA EN CENTROS DE CULTIVOS ACUÍCOLAS; EVALUACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN Y MANTENIMIENTO

Nombre del candidato(a): David Esteban Troncoso Nieira

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Campus: Sede Concepcion _____ Departamento: Departamento de Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Aldo Gabriel Fuentes Troncoso, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 13/01/2026 Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 13/01/2026 Firma: _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIA



“A quienes descendieron confiando su vida al mar, y cuyo retorno quedo pendiente en las profundidades”

AGRADECIMIENTOS

“A DIOS, por todo lo que hizo, por todo lo que está haciendo y por todo lo que hará en mi vida”

“A mis padres, Martin y Raquel por su formación, sus valores y apoyo incondicional durante mis 34 años de vida, son las personas que más amo y todo mi esfuerzo se los debo a ustedes”

“A mi familia en general, quienes se han preocupado por mí en todo momento brindándome el apoyo moral necesario para hacer realidad esta etapa de mi vida”

“A mi querida Romina, por su apoyo y cariño incondicional, por ser un pilar fundamental en mi vida”

“A mis amigos, a cada uno de ustedes las gracias por estos sinceros y firmes lazos contruidos con el tiempo”

“A Andrés Rettamal Betancourt por brindar su apoyo incondicional cuando necesite material para desarrollar mi proyecto de título, en conjunto al personal operador de la cámara de descompresión del Hospital Naval de Talcahuano”

“Al Team de buceo de Salmones Austral, donde existen profesionales de primer nivel y buenos amigos y colegas de trabajo”

“A mi Profesor Guía Aldo Fuentes Troncoso, por ser un excelente profesional y docente, por sus aportes entregados y consejos al estudio, los cuales han sido de gran utilidad en mi formación como futuro profesional”

“A todos y cada uno de los Docentes que forman parte del Departamento de Mecánica de la Universidad Federico Santa María, por su vocación y la formación de un buen profesional”

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo evaluar la adquisición de un activo, una cámara de descompresión biplaza ya existente en el mercado para el área acuícola de nuestro país, específicamente entre las regiones de Los Lagos y Aysén. Con el fin de disminuir los accidentes de descompresión a los que se exponen los buzos en la zona. Con ello acotar los tiempos en que los buzos son trasladados a un centro médico que reúna las condiciones de atenderlo producto de un accidente de descompresión inadecuada (EDC).

Como primer paso se realizó un estudio estadístico, acerca de la necesidad de que exista un mayor número de cámaras de descompresión cercanas a las faenas de buceo, para que de esta forma los buzos puedan ser atendidos en un tiempo más acotado, evitando las secuelas que dejan los accidentes hiperbáricos llegando incluso a la muerte producto de un tratamiento tardío e ineficaz.

También encontraremos información crucial para entender el concepto de cámaras hiperbáricas o descompresión, su funcionamiento, normativas, operatividad y mantenimiento y como estos se relacionan con la vida del buzo. Cabe destacar que las cámaras de descompresión no solo sirven para atender a un buzo accidentado, sino que también prestan el servicio de efectuar las paradas de descompresión en cámara evitando la exposición a las bajas temperaturas en la zona y peligros asociados, efectuar tratamientos medicinales, entre otros.

Finalmente se realizó un estudio sobre los costos asociados que comprometen a las empresas que deseen contar con una cámara de descompresión y a raíz de dicho estudio se procedió a formular las discusiones y conclusiones pertinentes, con respecto a la hipótesis planteada.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS:.....	2
OBJETIVO GENERAL	2
Objetivos específicos.....	2
Delimitación	2
Problemática y Justificación de la investigación.....	2
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	4
1.1 El buceo profesional como actividad productiva de alto riesgo.....	5
1.1.1 Historia del buceo.....	5
1.1.2 El buceo profesional en Chile.....	6
1.1.3 Caracterización de la población de buzos profesionales en Chile.....	7
1.1.4 Los problemas del buceo en Chile.....	8
1.2. EMPRESAS SALMONERAS Y ACUICULTURA EN CHILE.....	8
1.3. ENFERMEDAD DESCOMPRESIVA EN EL BUCEO PROFESIONAL.....	9
1.3.1 Definición y fundamentos fisiológicos.....	9
1.3.2 Factores que influyen en la aparición de la enfermedad descompresiva.....	10
1.3.3 Clasificación de los accidentes por enfermedad descompresiva	12
1.4 CÁMARA HIPERBÁRICA.....	13
1.4.1. Definiciones de Cámaras.....	14
1.4.2. Empleo de cámaras hiperbáricas	15
1.4.3 Tipos de cámaras.....	16
1.4.4 Clasificación de cámaras hiperbáricas.....	16
1.4.5 Requisitos de una cámara estándar.....	19
1.4.6 Flujo de operación de una cámara hiperbárica	20
1.4.7 Principales Partes de una Cámara Hiperbárica.....	21
1.4.8 Equipamiento básico de una cámara hiperbárica.....	23
1.5 NORMATIVAS CHILENAS APLICABLES AL BUCEO Y CÁMARAS HIPERBÁRICAS	25

1.6 CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACION Y MANTENCIÓN DE LA CÁMARA.....	26
1.6.1 Mantenimiento industrial aplicado a equipos hiperbáricos	28
1.6.2 Metodologías de análisis de costos de ciclo de vida (LCC).....	29
CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL.....	30
2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO	31
2.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	33
2.2.1 Problemática central	33
2.3. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA	35
2.3.1. Problemática asociada	37
2.3.2. Causas del déficit de cámaras hiperbáricas (Análisis causa-raíz):	38
2.3.3. Consecuencias y problemas derivados:	40
2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	41
2.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	43
2.6. BENEFICIOS DEL PROYECTO	45
2.6.1. Beneficios a nivel operativo (seguridad y eficiencia)	45
2.6.2. Beneficios a nivel económico (costo-beneficio y desarrollo)	46
CAPITULO 3: PROPUESTA DE MEJORA	47
3.1. ENFOQUE Y ALCANCE DE LA PROPUESTA	48
3.1.1 Enfoque General de la Propuesta.....	48
3.1.2. Alcance de la Propuesta.....	49
3.2. FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	49
3.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	49
3.4. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MODELO POMMEC DDC-1600	50
3.5. CONFIGURACIÓN CONTAINERIZADA Y VENTAJAS OPERATIVAS	50
3.6. IDENTIFICACIÓN DE SUBSISTEMAS CRÍTICOS DE LA CÁMARA	51
3.7. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA)	55
3.8. ANÁLISIS DE CRITICIDAD MEDIANTE DIAGRAMA DE PARETO (ENFOQUE EN EL MANTENIMIENTO).....	57
3.9. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN FMECA.....	60
3.10. COMPARACIÓN: PLAN BÁSICO VS. PLAN PROPUESTO.....	61

3.11. BENEFICIOS TÉCNICOS DE LA PROPUESTA.....	61
3.12. CIERRE DEL CAPITULO	61
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	62
4.1 SUPUESTOS GENERALES DE EVALUACIÓN	63
4.2 INVERSIÓN INICIAL (CAPEX).....	63
4.3 COSTOS OPERACIONALES ANUALES (OPEX).....	64
4.4 COSTOS EVITADOS POR ACCIDENTES DE BUCEO	64
4.5 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO (5 AÑOS)	65
4.6 INDICADORES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA	65
4.7 EVALUACIÓN SOCIAL Y ESTRATÉGICA	65
4.8 CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS 1	71
ANEXO 2	72
ANEXO 3	73
ANEXO 4	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Primeros dispositivos de respiración imprácticos.....	5
Ilustración 1- 2: John Scott Haldane, publico las primeras tablas de buceo con aire comprimido.....	6
Ilustración 1- 3: Esquema de trabajo de buzos en jaulas salmonicultoras.....	9
Ilustración 1- 4: Esquema de cambios de volumen por presión según profundidad.	10
Ilustración 1- 5: burbuja de nitrógeno obstruyendo el paso de la sangre.	11
Ilustración 1- 6: Coagulo formado en el sistema circulatorio.	11
Ilustración 1- 7: Descompresión en Cámara hiperbárica.....	13
Ilustración 1- 8: Flujo de respiración de oxígeno.	14
Ilustración 1- 9: Cámara hiperbárica.	15
Ilustración 1- 10: Cámara monoplaza rígida con anillo de acoplamiento estandarizado por la OTAN.	17
Ilustración 1-11: Cámara de recompresión modernizada biplaza,	19
Ilustración 1- 12: Cámara móvil con acoplamiento a una Cámara monoplaza.	20
Ilustración 1- 13: Esquema de flujo de operación cámara hiperbárica.....	21
Ilustración 1- 14: interior cámara biplaza POMMEC DDC-1600.....	21
Ilustración 1- 15: antecámara. POMMEC DDC-1600.	22
Ilustración 1- 16: Panel de control cámara multiplaza. POMMEC DDC-1600.	23
Ilustración 2- 17: Catastro de cámaras hiperbáricas oficiales consideradas por Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante en Chile.	31
Ilustración 2- 18: Diagrama de Pareto construido a partir de los datos estadísticos de muertes en buceo profesional.	36
Ilustración 2- 19: Diagrama de Ishikawa.....	39
Ilustración 3- 20: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.....	48
Ilustración 3- 21: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.....	49
Ilustración 3- 22: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.....	51
Ilustración 3- 23: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.....	52
Ilustración 3- 24: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.....	52
Ilustración 3- 25: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.....	53
Ilustración 3- 26: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.....	53
Ilustración 3- 27: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.....	54
Ilustración 3- 28: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.....	54
Ilustración 3- 29: Diagrama de Pareto por criticidad de componentes.....	58
Ilustración 3- 30: Grafica de criticidad total por subsistemas.	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1. Componentes del aire atmosférico	10
Tabla 2-1: Catastro actualizado de cámaras hiperbáricas en la región de Los Lagos y Aysén.	32
Tabla 2- 3: Tablas estadísticas de elaboración propia con información recopilada de Armada de Chile.....	34
Tabla 2- 4: Clasificación de enfermedades o accidentes en el buceo.....	37
Tabla 3- 5: tabla de componentes críticos por prioridad.	55
Tabla 3- 6: tabla de criterios para calculo RPN.....	56
Tabla 3- 7: tabla de componentes críticos por prioridad.	57
Tabla 3- 8: tabla de criticidad total por subsistemas.	59
Tabla 3- 9: tabla de comparación plan básico vs. Plan propuesto.....	61
Tabla 4- 10: Inversión inicial (CAPEX).....	63
Tabla 4- 11: Costos Operacionales Anuales (OPEX).....	64
Tabla 4- 12: Flujo de caja del proyecto (5 años).	65

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

ACHS	: Asociación Chilena de Seguridad.
BIBS	: (Built-in Breathing System): Sistema integrado de respiración para suministro de oxígeno dentro de la cámara hiperbárica.
CDRS	: (Chamber Data Recording System): Sistema de registro y monitoreo de variables operacionales de la cámara hiperbárica.
CE.	: (Conformité Européenne): Certificación europea de conformidad del equipo.
ASTM.	: Sociedad Estadounidense para prueba de materiales.
ISO	: Internacional Organization for Standardization.
DIRECTEMAR	: Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante de Chile.
FMECA	: (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis): Metodología de Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad.
HP	: (High Pressure): Alta presión.
LED	: (Light Emitting Diode): Sistema de iluminación mediante diodos emisores de luz.
MP	: (Medium Pressure): Presión media.
O₂	: Oxígeno.
PdM	: (Predictive Maitenance): Mantenimiento Predictivo.
PM	: (Preventive Maitenance): Mantenimiento preventivo.
RPN	: (Risck Priority Number): Numero de Prioridad de Riesgo (S x O x D).
S	: Severidad del modo de falla.
O	: Probabilidad de ocurrencia del modo de falla.
D	: Capacidad de detección del modo de falla.
SAMU	: Servicio de Atención Medica de Urgencia.
SSD	: (Solid State Drive): Unidad de Almacenamiento de Estado Sólido.
UT	: (Ultrasonic Testing): Ensayo por ultrasonido para medición de espesores.

INTRODUCCIÓN

La industria salmonera chilena representa uno de los principales motores económicos del sur del país, con una alta concentración en las regiones de Los Lagos y Aysén. Este sector no solo aporta significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) nacional y a las exportaciones, sino que también genera un alto número de empleos directos e indirectos, transformándose en un pilar fundamental para el desarrollo de las comunidades del sur de Chile.

El trabajo de buceo en centros de cultivo es una actividad de alto riesgo, pues los buzos se ven expuestos a condiciones hiperbáricas que pueden derivar en accidentes propios de la actividad, siendo el accidente más común en Chile la “enfermedad descompresiva” que en la mayoría de los casos genera graves consecuencias en la salud y además de ser degenerativa en un breve lapso de tiempo, llegando incluso a la muerte.

Por otro lado el único tratamiento eficaz para combatir este fenómeno es la recompresión inmediata en una cámara hiperbárica donde el buzo afectado es sometido nuevamente a condiciones de presión controlada para luego disminuir gradualmente hasta niveles normales, permitiendo la eliminación segura del exceso de gases disueltos en la sangre y tejidos, que en muy pocas ocasiones se logra debido al bajo número de cámaras existentes y a la lejanía de ellas, encontrándose la mayoría en hospitales o centros urbanos lejanos a los lugares donde se desarrollan las faenas de buceo.

En este contexto, la disponibilidad de cámaras hiperbáricas en la zona acuícola resulta fundamental para la prevención y tratamiento oportuno de accidentes asociados a la presión. Sin embargo, la adquisición, implementación y mantenimiento de este tipo de equipos requiere inversiones significativas que van más allá del cumplimiento normativo, ya que se trata de una inversión orientada a la protección de la vida humana, al fortalecimiento de la seguridad ocupacional y a la mejora en la continuidad operacional de las empresas salmoneras.

De este modo resulta indispensable evaluar su costo – beneficio que considere tanto aspectos técnicos como financieros bajo las distintas herramientas de gestión y análisis que nos ha logrado proporcionar la carrera Universitaria de Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la incorporación de una cámara hiperbárica biplaza centrándose en la adquisición e implementación para centros de cultivo, en las regiones de Los Lagos y Aysén

Objetivos específicos

1. Analizar, mediante la utilización de herramientas de evaluación, la percepción de los buzos y la empresa, respecto a la necesidad y utilidad de las cámaras hiperbáricas en la industria salmonera.
2. Evaluar las características técnicas y operativas de una cámara hiperbárica aplicable a centros de cultivo en la zona.
3. Determinar los costos asociados a la adquisición, implementación y mantenimiento de una cámara hiperbárica en un centro acuícola.
4. Comparar los costos de inversión con el impacto económico de los accidentes y muertes, justificando la adquisición desde una perspectiva costo – beneficio.

Delimitación

- **Ámbito geográfico:** Regiones de Los Lagos y Aysén
- **Ámbito temporal:** Periodo 2017 – 2025
- **Ámbito temático:** Adquisición, implementación, mantenimiento y operación de cámaras hiperbáricas aplicadas a buzos en la industria salmonera (uso laboral y clínico).

Problemática y Justificación de la investigación

En los centros de cultivo acuícola de las regiones de Los Lagos y Aysén, los buzos realizan faenas esenciales, pero altamente riesgosas, y no cuentan con cámaras hiperbáricas disponibles para atender emergencias por descompresión, solo aquellas cámaras de empresas externas y en recintos alejados, lo que obliga a traslados prolongados y disminuye las posibilidades de un tratamiento oportuno. Esta carencia ha contribuido a que persistan accidentes graves y fallecimientos en el buceo operativo.

La brecha entre las exigencias de seguridad de la actividad y la infraestructura realmente disponible plantea la duda sobre si la instalación de una cámara hiperbárica en los centros de cultivo es una medida necesaria y justificable desde el punto de vista sanitario, operativo y económico. Evaluar esta necesidad y su impacto potencial en la reducción de incidentes es el eje central de la presente investigación.

Este estudio es relevante porque:

- **En lo social y humano:** Busca mejorar las condiciones de seguridad y salud de los buzos en la industria salmonera, reduciendo el riesgo de mortalidad laboral.
- **En lo económico:** Entrega la evaluación costo – beneficio para determinar si la inversión de una cámara hiperbárica es sostenible frente a los gastos asociados a accidentes y posibles demandas laborales.
- **En lo normativo:** Responde a exigencias de la autoridad marítima chilena y normativas internacionales sobre seguridad en trabajos hiperbáricos.
- **En lo científico – académico:** Aporta un análisis integral que combina metodologías cualitativas (entrevistas) y cuantitativas (estadísticas de accidentes y costos), lo cual fortalece la toma de decisiones en la gestión de seguridad acuícola.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1 EL BUCEO PROFESIONAL COMO ACTIVIDAD PRODUCTIVA DE ALTO RIESGO

1.1.1 Historia del buceo.

El buceo, entendido como la acción de desplazarse o permanecer bajo el agua con o sin apoyo de equipos respiratorios (Reglamento de Buceo para Buzos Profesionales), ha acompañado al ser humano desde tiempos remotos. Sus primeros registros se vinculan tanto a actividades de subsistencia como a operaciones militares y de rescate. Textos clásicos atribuyen a Alejandro Magno, alrededor del año 320 a. C., el uso de dispositivos rudimentarios para realizar inmersiones, mientras que Heródoto relata la labor del buzo Scyllis en el siglo V a. C., empleado por el rey persa Xerxes para recuperar tesoros sumergidos (Manual de Buceo de la Marina de EE. UU., Rev.6).



Ilustración 1-1: Primeros dispositivos de respiración imprácticos.

Fuente: Manual de buceo de la Marina de EE. UU, Rev.6.

A lo largo de los siglos, el deseo de explorar, comerciar y entender el ambiente subacuático impulsó el desarrollo tecnológico. En 1860 se construyó la primera cámara hiperbárica en América específicamente en Oshawa, Canadá, y en 1895 John Scott Haldane inició los estudios que dieron origen a las primeras tablas de descompresión con aire comprimido, fundamentales para prevenir la enfermedad descompresiva.



Ilustración 1- 2: John Scott Haldane, publico las primeras tablas de buceo con aire comprimido.

Fuente: Biografiasyvidas.com

Posteriormente, en 1943, Jacques-Yves Cousteau y Émile Gagnan revolucionaron la actividad con la escafandra autónoma, permitiendo inmersiones más seguras y prologadas. Desde entonces, el buceo ha incorporado mezclas respiratorias y equipamiento especializado, consolidándose como una actividad profesional de alto nivel técnico (Cea, 1986).

1.1.2 El buceo profesional en Chile

Chile, con más de 4.200 kilómetros de costa y una proyección marítima que abarca gran parte del océano pacífico, es un país cuya identidad, economía y cultura están estrechamente vinculadas al mar. De esta forma, el buceo se ha consolidado como una de las actividades esenciales en múltiples ámbitos productivos y de seguridad, siendo un eslabón fundamental no solo para la explotación y mantención de los recursos del borde costero, sino también para el desarrollo de la industria acuícola y salmonera, uno de los principales motores económicos del sur de nuestro país.

Sin embargo, la necesidad de bucear como actividad laboral se ha hecho imprescindible debido al fuerte crecimiento que ha experimentado la industria salmonera existente en nuestro país, principalmente en el sur de Chile (Región de los lagos, Aysén y Magallanes.) destacándose claramente en estas actividades dos tipos de buzos profesionales: (“Reglamento de Buceo para Buzos Profesionales”)

1. **Buzo mariscador:** Persona que está dedicada a la extracción y comercialización de especies marinas y cuyos conocimientos le permiten desempeñarse en ella con seguridad.
 - a. **Buzo Mariscador Básico:** Es aquel que está habilitado en el uso de equipos semiautónomos livianos.
 - b. **Buzo Mariscador Intermedio:** Es aquel que está habilitado en el uso de equipos semiautónomos livianos y medianos.

2. **Buzo comercial:** Persona que posee un nivel de preparación que le permite la utilización de cualquier equipo necesario para efectuar trabajos submarinos que estén directa o indirectamente relacionados con su actividad.

1.1.3 Caracterización de la población de buzos profesionales en Chile

Chile es posiblemente considerado el país con la mayor población de buzos del mundo, con un censo estimado de 30.000 buzos y buceadores distribuidos en diferentes sectores económicos.

La amplia mayoría de los buzos chilenos pertenecen al mundo de la pesca debido a la tradición recolectora de las costas nacionales. Se estima que en torno a 20.000 buceadores practican el buceo para la captura y recolección de diferentes especies marinas como el erizo, almejas, loco, entre otras. Estos son los denominados buzos mariscadores o artesanales.

Otra de las industrias que nutre en cantidad el censo de buzos nacionales es la acuicultura. La creciente actividad en los cultivos de salmón desde la década de los 90, se ha convertido en uno de los motores de la economía nacional y la demanda de profesionales subacuáticos es permanente.

En torno a 4.000 buzos trabajan en el mantenimiento y recolección de bajas, en las más de 1.200 empresas dedicadas a la cría fundamentalmente de esta especie.

En una tercera órbita laboral habría que encuadrar a los buzos comerciales e industriales del país, que suman alrededor de 2.500 titulados de los que están en activos 1.500 aproximadamente.



En Chile existen alrededor de 70 compañías de trabajos subacuáticos que prestan servicios en dependencias portuarias, centrales hidroeléctricas o en tareas de salvamento. (Subacuática Magazine, Pedro Pérez Oliva, 13 mayo 2021).

1.1.4 Los problemas del buceo en Chile

Quien se desempeña como buzo en Chile, debe tener conciencia de que su trabajo presenta ciertos peligros. Pueden ocurrirle accidentes graves, enfermedades, discapacidad física o mental y hasta la muerte si emplea malos procedimientos de trabajo como no respetar los tiempos de descompresión, no considerar las profundidades de trabajo, la calidad y la conservación de los equipos, trabajar en condiciones climáticas demasiado adversas y sin una capacitación adecuada para ejercer como buzo comercial, mariscador o deportivo, dependiendo del caso. (Vicuña, 2003) De hecho, la Asociación Chilena de Seguridad ha calificado el buceo como “la actividad de mayor riesgo” dentro de la salmonicultura.

Estos resultados adversos o “accidentes” pueden ser evitados si el trabajador y su supervisor de buceo, están informados de todos los riesgos y de las medidas que deben tomarse para la ejecución de esta actividad laboral. Sin embargo, el accidente más común en los buzos, que desempeñan su actividad en Chile es el accidente por descompresión o enfermedad descompresiva, que desencadena en el organismo de la víctima, una serie de patologías asociadas a este hecho. (Vicuña, 2003)

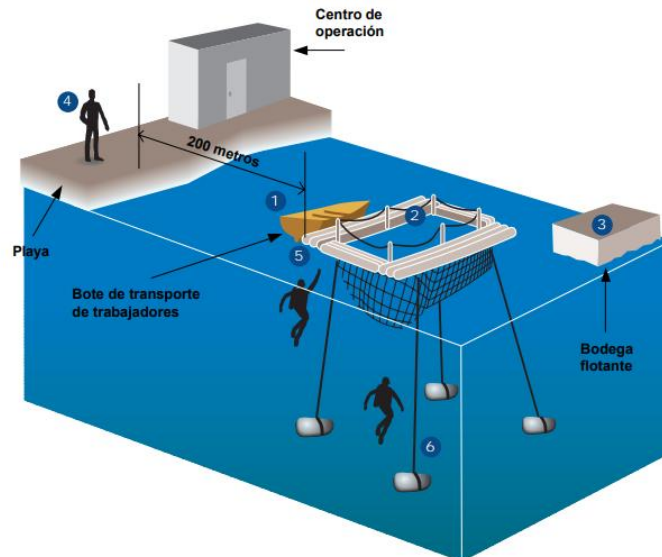
1.2. EMPRESAS SALMONERAS Y ACUICULTURA EN CHILE

Acuicultura se refiere al cultivo controlado de organismos acuáticos (peces, moluscos, crustáceos y algas), con fines productivos. En Chile, esta actividad se desarrolla principalmente en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, donde las condiciones ambientales favorecen el cultivo de salmónidos.

Las empresas salmoneras son aquellas dedicadas a la producción de salmónes mediante sistemas intensivos o semi – intensivos en centros de cultivo marinos y de agua dulce. Su aporte económico es significativo: el salmón es el segundo producto más exportado del país, la industria representa cerca del 5% del total de exportaciones nacionales y alrededor del 1% del PIB, generando empleo directo en zonas aisladas del sur austral.

El crecimiento sostenido del sector ha incrementado la demanda por buzos profesionales, dando lugar a nuevas exigencias de seguridad y mejores estándares operacionales.

El trabajo de los buzos en las balsas jaulas



- 1 Puesta de los equipos de buceo y chequeo de la faena
- 2 Revisión de los peces en la jaula y fondo marino, estado de la malla y daño de depredadores
- 3 Almacenaje y revisión de los equipos de buceo
- 4 Entrega de los desechos de trabajo
- 5 Revisión del sistema de balsa jaula
- 6 Revisión de los pesos y amarras que afirman la balsa - jaula

Ilustración 1- 3: Esquema de trabajo de buzos en jaulas salmoniculturas.

Fuente: Guía para un buceo seguro 2003.

1.3. **ENFERMEDAD DESCOMPRESIVA EN EL BUCEO PROFESIONAL.**

1.3.1 Definición y fundamentos fisiológicos

El principal riesgo específico para los buzos que desempeñan su labor en la acuicultura es la “enfermedad descompresiva (ED), comúnmente conocida como “mal de presión” o “Bends”, la cual ocurre por una descompresión inadecuada, tras estar expuesto a altas presiones bajo el agua.

Al descender el buzo en el agua y a medida en que aumenta la profundidad, la presión del medio externo es cada vez mayor. La presión se transmite al cuerpo y a la mezcla gaseosa que se respira, contrayéndolos. Al ascender sucede todo lo contrario. La liberación rápida de aire puede causar graves accidentes al buzo, ya que el nitrógeno del aire liberado se incorpora al torrente sanguíneo en forma de burbujas, que serán mayores y más numerosas cuanto más repentina sea la liberación. En el dibujo se representa la disminución del volumen de oxígeno en un pulmón debido a la presión del agua. Si se asciende muy rápido y el aire contenido en los pulmones no se alcanza a liberar, éste se expande normalmente tomando su volumen de equilibrio, según la presión a la cual esté sometido el buzo (1 atmósfera). Por ejemplo, si el

buzo tiene un litro de aire en los pulmones en la superficie, a 30 metros de profundidad tendrá alrededor de 1/6 de litro. Esta contracción de los pulmones no es resistible por una persona normal.

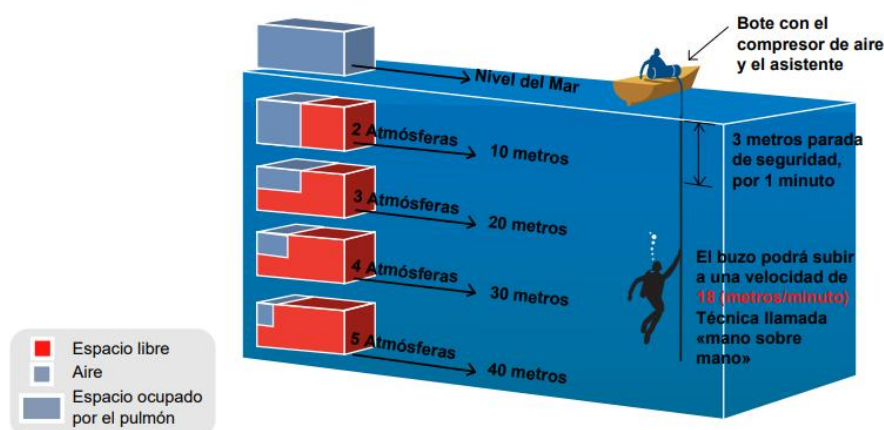


Ilustración 1- 4: Esquema de cambios de volumen por presión según profundidad.

Fuente: Guía para un buceo seguro 2003.

1.3.2 Factores que influyen en la aparición de la enfermedad descompresiva

La acumulación de nitrógeno contenida en el aire que se respira está en función de la duración y profundidad de la inmersión. Ya se ha dicho que cuanto mayor sean duración y profundidad, más nitrógeno se acumulará, de forma que el respeto a la velocidad de ascenso de 9 metros por minuto puede no ser suficiente para la eliminación controlada del mismo. Con el aumento de presión cambia el volumen y la concentración de los compuestos del aire. Esta particularidad en el cuerpo humano es muy peligrosa. (guía para un buceo seguro, 2003).

Tabla 1- 1. Componentes del aire atmosférico

Componentes	Concentración	
	Porcentaje por Volumen	Partes Por Millón (ppm)
Nitrógeno	78.084	
Oxígeno	20.946	
Bióxido de Carbono	0.033	
Argón	0.0934	
Neón		18.18
Helio		5.24
Kriptón		1.14
Xenón		0.08
Hidrógeno		0.5
Metano		2.0
Oxido Nitroso		0.5

Fuente: Capítulo 2 física subacuática, manual de la marina E.U, Rev. 6).

En el caso de que el buceador ascendiera lentamente, éste dará lugar a que dichas burbujas se liberen gradualmente de los tejidos y la sangre. Dichas burbujas causan daño directamente al bloquear el flujo de la sangre en los capilares (ver figura 1-5), como si lo causan al formar coágulos a través del sistema circulatorio (ver figura 1-6), por tal motivo se demuestra que las “burbujas de nitrógeno” son lo que finalmente provoca la enfermedad descompresiva. (Desola, 1999).

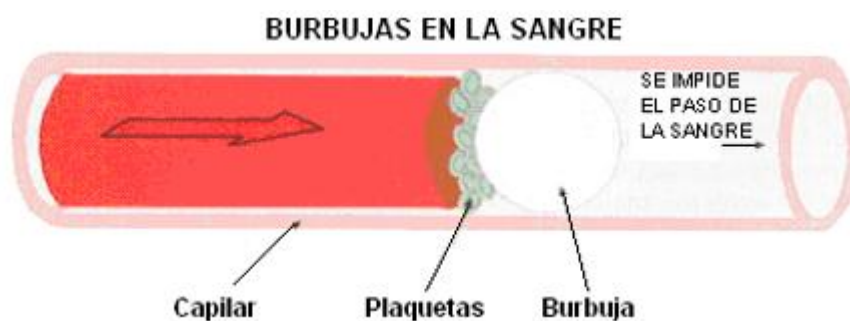


Ilustración 1- 5: burbuja de nitrógeno obstruyendo el paso de la sangre.

Fuente: manual práctico del submarinismo, 1999.

Estas burbujas de nitrógeno que viajan por los vasos sanguíneos se adaptan a las paredes adoptando forma cilíndrica. Si una burbuja se detiene, impide el riego en esa zona y aparecen fenómenos isquémicos en los tejidos tributarios de ese vaso. Además, la sangre se coagula en presencia del aire, así que se coagula por delante y por detrás de la burbuja intravascular. Si no se actúa rápidamente para eliminar la burbuja, el accidente se agrava al formarse un tapón de coágulo y no de aire.

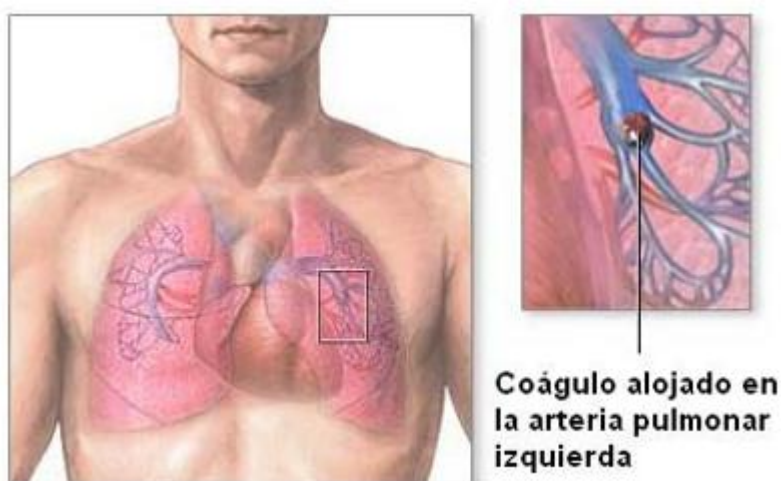


Ilustración 1- 6: Coágulo formado en el sistema circulatorio.

Fuente: UHMS.

1.3.3 Clasificación de los accidentes por enfermedad descompresiva

La ED se clasifica comúnmente en **Tipo I** (leve, principalmente dolores articulares y cutáneos) y **Tipo II** (grave, con compromiso neurológico, cardiopulmonar o riesgo vital), dependiendo de las manifestaciones clínicas. Una forma particularmente severa es la embolia gaseosa arterial (EGA), que suele ocurrir por expansión de gases en los pulmones durante un ascenso sin exhalar (baro trauma pulmonar), enviando burbujas directamente al sistema arterial con consecuencias potencialmente fatales.

Los síntomas de un accidente disbárico pueden incluir dolor articular intenso, fatiga extrema, dificultades respiratorias, mareos, parálisis, pérdida de conciencia y, en casos extremos, la muerte. Dado que las burbujas en tejido y sangre son la causa subyacente, el tratamiento primordial para todas estas enfermedades (ED Tipo I, Tipo II y EGA) es la recompresión terapéutica inmediata en Cámara hiperbárica (instituto de salud pública, resolución exenta N.º 001956, 03 agosto 2018).

Al volver a incrementar la presión ambiental alrededor del paciente, las burbujas de gas reducen su volumen (según la ley de Boyle) y pueden re-disolverse en los tejidos, aliviando la obstrucción o daño tisular. Simultáneamente, la administración de oxígeno al 100% a alta presión (oxigenoterapia hiperbárica, abreviada OHB) aumenta drásticamente la presión parcial de oxígeno en sangre y tejidos, lo que ayuda a revertir la hipoxia en zonas afectadas y acelera la eliminación del nitrógeno remanente por el gradiente de difusión elevado.

La OHB además tiene efectos beneficiosos adicionales: promueve la circulación en tejidos dañados, reduce edema por vasoconstricción (efecto Robin Hood), potencia la función inmunológica y ayuda a la recuperación de tejidos por estimular la angiogénesis y la síntesis de colágeno. En otras palabras, la recompresión en una Cámara hiperbárica con oxígeno es un tratamiento integral que destaca tanto el factor mecánico del gas (reduciendo y eliminando las burbujas) como las consecuencias fisiopatológicas de la descompresión descontrolada. (revista sanitaria de investigación)

Es importante destacar que no existe un sustituto idéntico o similar en características a la cámara hiperbárica para tratar eficazmente un accidente de descompresión. Si bien es cierto que los primeros auxilios (administrar oxígeno al 100% en superficie, hidratar, mantener al paciente acostado) pueden ayudar mientras se traslada al buzo accidentado, la verdadera resolución del cuadro requiere recomprimir al buzo lo antes posible.

NOTA: Además, hay que señalar que después de un tratamiento exitoso en la cámara hiperbárica, la víctima debe abstenerse de bucear durante 7 días si sus síntomas fueron de tipo I, y durante 1 mes si sus síntomas fueron tipo II.



Ilustración 1- 7: Descompresión en Cámara hiperbárica

Fuente: Manual de buceo de la Marina E.U, Rev. 6 traducida.

Por esta razón, los protocolos internacionales y nacionales de seguridad en buceo enfatizan que, ante síntomas de mal de presión o embolia gaseosa, el buzo sea trasladado sin demora a la instalación hiperbárica más cercana. Cada minuto cuenta: una recompresión temprana mejora el pronóstico y reduce el riesgo de secuelas permanentes. En Chile, históricamente la Armada ha prestado servicios de cámaras hiperbáricas para buzos accidentados (por ejemplo, en el hospital Naval de Talcahuano, o cámaras en bases navales del sur), y más recientemente se han implementado centros médicos locales equipados con cámaras para atender buzos, como la cámara hiperbárica multiplaza instalada en el hospital de Ancud, Chiloé, inaugurada en 2016 (Fuente: Salmonexpert, 2025).

No obstante, la dispersión geográfica de los centros de cultivo en el sur de Chile y las dificultades logísticas (distancias, clima, accesibilidad por mar) pueden impedir que un buzo accidentado llegue a tiempo a un hospital con cámara.

1.4 CÁMARA HIPERBÁRICA

Una cámara hiperbárica es un recipiente estanco, metálico, generalmente de forma cilíndrica, con sus extremos abombados, uno cerrado y el otro abierto con una puerta hermética de acceso, en la cual pueden controlarse e incrementarse su presión interna hasta límites establecidos por el diseño. El buzo puede ser recomprimido, por lo tanto, hasta una presión equivalente a una profundidad dada, y descomprimirlo mediante la reducción controlada de la presión, efectuando las paradas requeridas como en la descompresión en agua. (bloque instalaciones y sistemas, curso pequeña profundidad, escuela océanos, Barcelona).

Básicamente, el mecanismo con que funciona un tratamiento en una cámara hiperbárica consiste en recomprimir al accidentado utilizando unas tablas con tres variables: profundidad, tiempo y gases respirables. Es como si volviera a sumergirse (lo que está totalmente desaconsejado), pero sin los riesgos de hacerlo bajo los síntomas de la enfermedad descompresiva. (Gallardo 1992).

A la vez que se recomprime al paciente, se le suministra oxígeno por periodos cortos, mediante una mascarilla perfectamente ajustada a su cara, para que no aumente la concentración de oxígeno en el interior de la cámara. En ningún caso debe superar una concentración del 25% de oxígeno en el interior de la cámara, por el riesgo de incendio o explosión (Llamas, 1999).

Con el suministro de oxígeno por medio de la mascarilla se consigue eliminar más rápido el nitrógeno al aumentar la presión parcial del oxígeno y disminuir la del nitrógeno, oxigenando todos los tejidos del paciente; así se disminuye el tiempo de tratamiento al no volver a saturar el organismo de nitrógeno, como ocurriría respirando aire comprimido. (Gallardo, 1995).

La oxigenoterapia hiperbárica es el procedimiento esencial para tratar la enfermedad de descompresión o “mal de presión”, y otras lesiones de buceo, ya que consiste en reintroducir al accidentado a una Cámara presurizada con oxígeno al 100%, simulando una descompresión controlada. Está documentado que mientras más pronto se inicie el tratamiento en la cámara de descompresión, mejores son los resultados en la recuperación del buzo (sigma healthcare, “lesiones por presión en el buceo”, 2024-2025 Ignite Healthwise, LLC.)

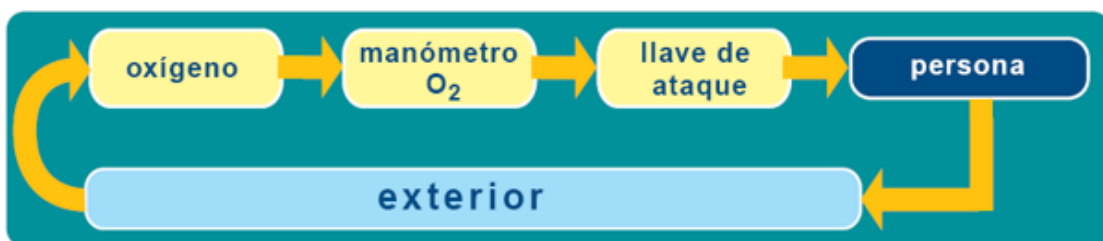


Ilustración 1- 8: Flujo de respiración de oxígeno.

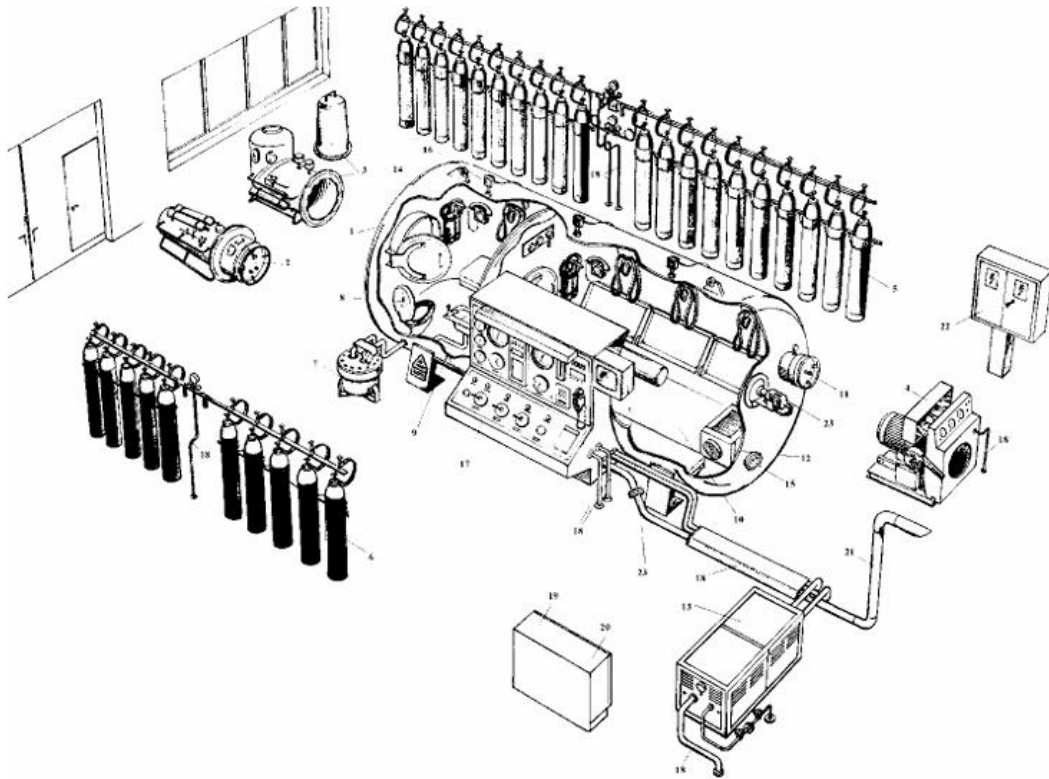
Fuente: Guía para un buceo seguro, 2003.

1.4.1. Definiciones de Cámaras.

Son utilizadas las cámaras de doble compartimento porque permiten la entrada y salida a la cámara al personal que atiende y los suministros durante el tratamiento. Donde es dicho:

- **Cámara en la estación:** Es definida como una cámara certificada y lista en el sitio de buceo.

- **Cámara en el sitio:** Es definida como una cámara certificada y lista, accesible a 30 minutos del sitio de buceo por la transportación disponible.
- **Cámara de emergencia:** Es definida como la cámara de recompresión más cercana disponible cuando una cámara no es requerida en la estación o en el sitio. Puede utilizarse una cámara no certificada si el Supervisor de Buceo es de la opinión de que es segura de usar. (Capítulo 21, Operación de cámaras de recompresión, Manual de Buceo de la Marina de E.U, Rev.6)



- | | | |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1. Casco de presión. | 8 y 9. Sanitarios. | 16. Alumbrado. |
| 2. Cámara monoplaza. | 10. Piso. | 17. Cuadro de control. |
| 3. Cámara biplaza. | 11. Exclusa. | 18. Línea de gases. |
| 4. Compresor. | 12. Climatizador. | 19 y 20. Armario herramientas. |
| 5. Batería de aire. | 13. Aire acondicionado. | 21. Exahustación. |
| 6. Batería de oxígeno. | 14. Extintor. | 22. Armario fuerza eléctrica. |
| 7. Exclusa sanitarios. | 15. Prensa. | 23. Cámara y T.V. |

Ilustración 1- 9: Cámara hiperbárica.

Fuente: bloque de instalaciones y sistemas escuela de buceo OCEANOS, Barcelona.

1.4.2. Empleo de cámaras hiperbáricas

Los principales usos de las cámaras son:

- Buceos simulados.
- Test de selección de futuros buzos.

- c.- Efectuar descompresiones en superficie para evitar que el buzo pase prolongados períodos en el agua durante el ascenso.
- d.- En sistemas de buceo a gran profundidad.
- e.- Tratamiento del personal afectado por alguna enfermedad propia del buceo.
- f.- En Medicina hiperbárica.
- g.- Experimentación animal y de material.
- j.- Investigación. (Simuladores Hiperbáricos).

1.4.3 Tipos de cámaras.

Hay muchos tipos de cámaras en uso, recibiendo distintos nombres dependiendo su empleo, todas son idénticas en su principio, pero difieren en sus medidas, formas y número de compartimentos. Actualmente el material empleado es el acero y el aluminio, este último material permite disminuir el peso y por ser amagnético es especialmente indicado para su uso en Cazaminas, por consiguiente, mayor facilidad para el transporte.

1.4.4 Clasificación de cámaras hiperbáricas.

Las cámaras se clasifican atendiendo a su capacidad, situación, construcción y empleo.

a) Capacidad:

- Monoplaza
- Biplaza
- Multiplaza

b) situación:

- Fijas o estacionarias
- Móviles

c) Construcción:

- Modulares
- Portátiles
- De acero

De aleación ligera (Aluminio, Titanio, etc.)

d) Empleo: Dentro de esta clasificación encontramos dos grupos:

1.- Empleo de medicina hiperbárica

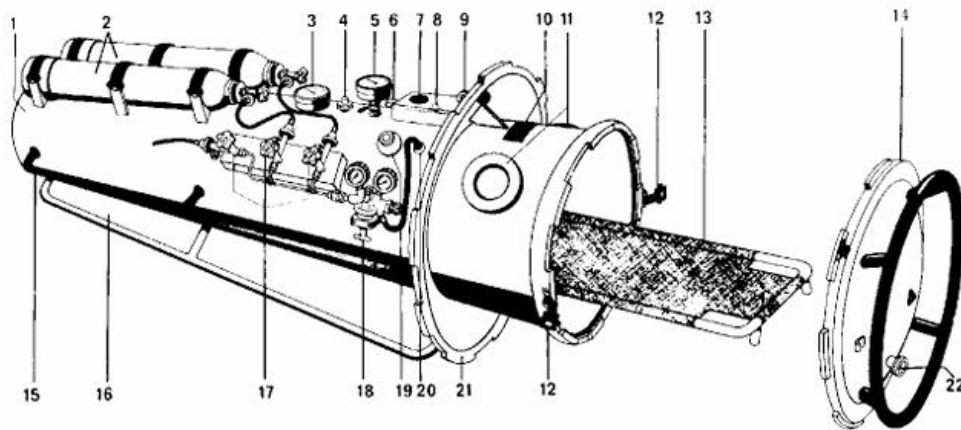
- a) Tratamientos accidentes disbáricos
- b) Test tolerancias gases (o₂, n₂,etc)
- c) Medicina (terapias con o₂)
- d) Investigación

2.- Empleo en intervenciones de buceo

- e) Descompresiones en superficie
- f) Inmersiones simuladas
- g) Buceo a saturación
- h) sistemas de buceo a gran profundidad (TUP)

1.4.4.1 Cámara monoplaza

Son cilindros metálicos, o de materiales resistentes a la presión, provistas de mirillas para poder ver en su interior, que tienen capacidad para una sola persona y son presurizadas con oxígeno puro, respirando el paciente libremente el ambiente interior de la cámara. Tienen la desventaja de que no se puede asistir al paciente en caso de una intolerancia al oxígeno o cualquier otro tipo de complicación, y la posible claustrofobia del paciente.



- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1.- Casco de presión. | 12.- Correa de sujeción. |
| 2.- Botellas de aire comprimido. | 13.- Camilla. |
| 3.- Manómetro entre 0-100 metros. | 14.- Tapa compuerta. |
| 4.- Válvula de seguridad. | 15.- Asas de transporte. |
| 5.- Manómetro entre 0-30 metros. | 16.- Skid. |
| 6.- Cáncamo. | 17.- Válvula. |
| 7.- Comunicaciones. | 18.- Regulador de presión. |
| 8.- Conexión del oxígeno. | 19.- Válvula de ventilación |
| 9.- Cáncamo. | 20.- Entrada del aire comprimido. |
| 10.- Placa de datos. | 21.- Anillo para encastrar a bayoneta. |
| 11.- Portillo. | 22.- Válvula de equilibrar presiones. |

Ilustración 1- 10: Cámara monoplaza rígida con anillo de acoplamiento estandarizado por la OTAN.

Fuente: bloque instalaciones y sistemas, curso pequeña profundidad, escuela océanos, Barcelona.

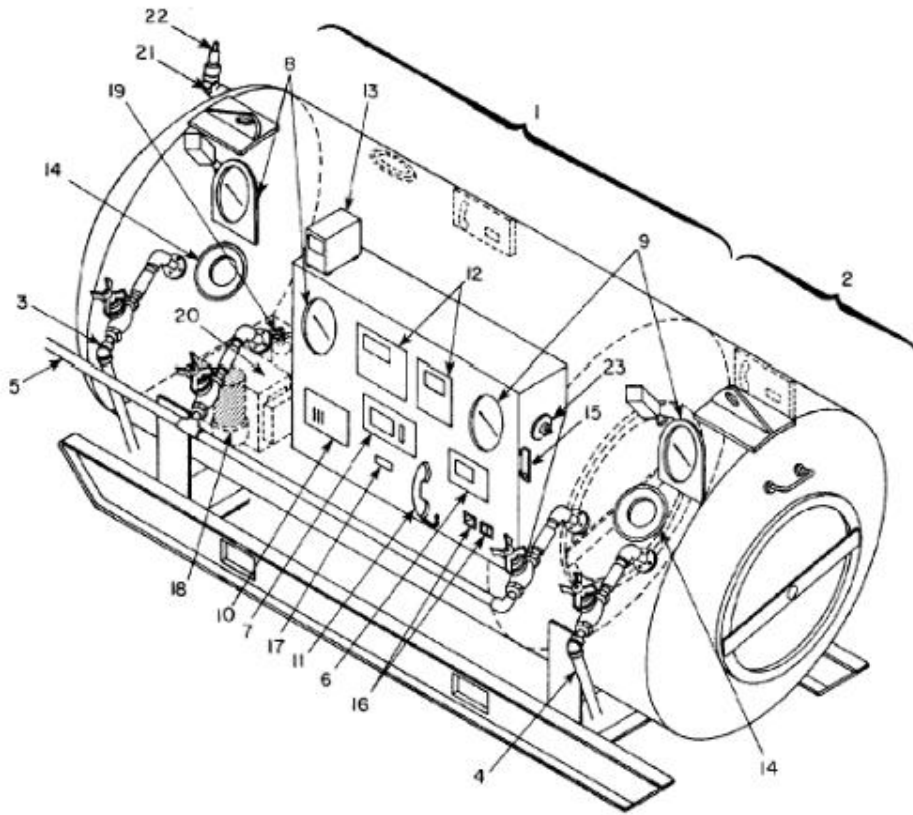
1.4.4.2 Cámara biplaza

Son cilindros metálicos que albergan a dos o más personas, pueden o no estar provistas de antecámara, poseen mirillas para el control visual de los ocupantes, son presurizadas con aire comprimido para una mayor seguridad y los pacientes respiran oxígeno a través de una máscara o un dispositivo cefálico. El oxígeno es evacuado al exterior de la cámara mediante válvulas especiales de exhaustación.

Estas cámaras tienen importantes ventajas comparadas con las cámaras monoplaza; en la multiplaza él o los pacientes son acompañados durante su tratamiento por un médico o un asistente entrenado para ese efecto, disminuyendo en forma notable la probabilidad de claustrofobia. Al ser presurizadas con aire disminuye el riesgo de incendio y además existe un mayor control ante la aparición de síntomas de intoxicación por oxígeno, permite el control del paciente a través de monitores externos y el tratamiento simultáneo de varios pacientes. En caso de enfermos en estado crítico es posible asistirlos desde el interior de la misma. (Gallardo, 1987)

Además, todas las cámaras pueden tener sistemas de acoplamiento estandarizados. Sin embargo, lo preferible para el tratamiento de accidentes de buceo profesional y recreativo son las multiplaza de dos compartimentos (cámara-antecámara), por la facilidad para la entrada y salida de personal médico durante los tratamientos. (Llamas, 1987).

Cámara de Recompresión Modernizada de Doble Compartimiento



- | | |
|---|---|
| 1. Compartimiento Interno | 13. Interruptor de Falla a Tierra |
| 2. Compartimiento Externo | 14. Mirillas (5) |
| 3. Suministro de Gas - Compartimiento Interno | 15. Flujoímetro |
| 4. Suministro de Gas - Compartimiento Externo | 16. Reloj/Cronómetro |
| 5. Escape de Gas | 17. Tele-termómetro |
| 6. Analizador de Oxígeno | 18. Depurador de CO ₂ |
| 7. Analizador de Bióxido de Carbono | 19. Extintor de Fuego |
| 8. Profundímetro - Compartimiento Interno (2) | 20. Unidad de Enfriamiento |
| 9. Profundímetro - Compartimiento Externo (2) | 21. Válvula de Cierre |
| 10. Panel de Comunicaciones | 22. Válvula de Alivio - 110 psig |
| 11. Teléfono Auto-generador | 23. Regulador de Salida del SIRI - C. Externo |
| 12. Panel de Control de Luz de Tubo | |

Ilustración 1-11: Cámara de recompresión modernizada biplaza,

Fuente: capítulo 21. Operación de cámaras de recompresión, manual de buceo de la Marina E.U, Rev.6

1.4.5 Requisitos de una cámara estándar.

Los mínimos requisitos para una cámara de descompresión estándar son:

- a) Tener por lo menos dos compartimentos.
- b) Tener suficiente espacio, por lo menos en uno de los compartimentos para que los buzos puedan estar acostados, o uno sentado y el otro acostado. En caso de que la permanencia pueda prologarse más de doce horas, deberá permitir a los buzos estar de pie.

- c) Permitir el control de la profundidad tanto desde el interior como del exterior de la cámara. Poseer un buen y suficiente suministro de aire y de oxígeno.
- d) Tener una pequeña cámara de transferencia (esclusa), para la introducción de alimentos y medicamentos.
- e) Poseer instalaciones de control de ambiente y sistemas de sostenimiento de vida (life support) con el mínimo riesgo de incendio, bajo nivel de ruidos, sistema de comunicaciones e instalaciones sanitarias.

En las cámaras, el compartimento más alejado a la entrada se le denomina Cámara principal y el otro Antecámara, entre ambos hay una puerta similar a la de entrada.

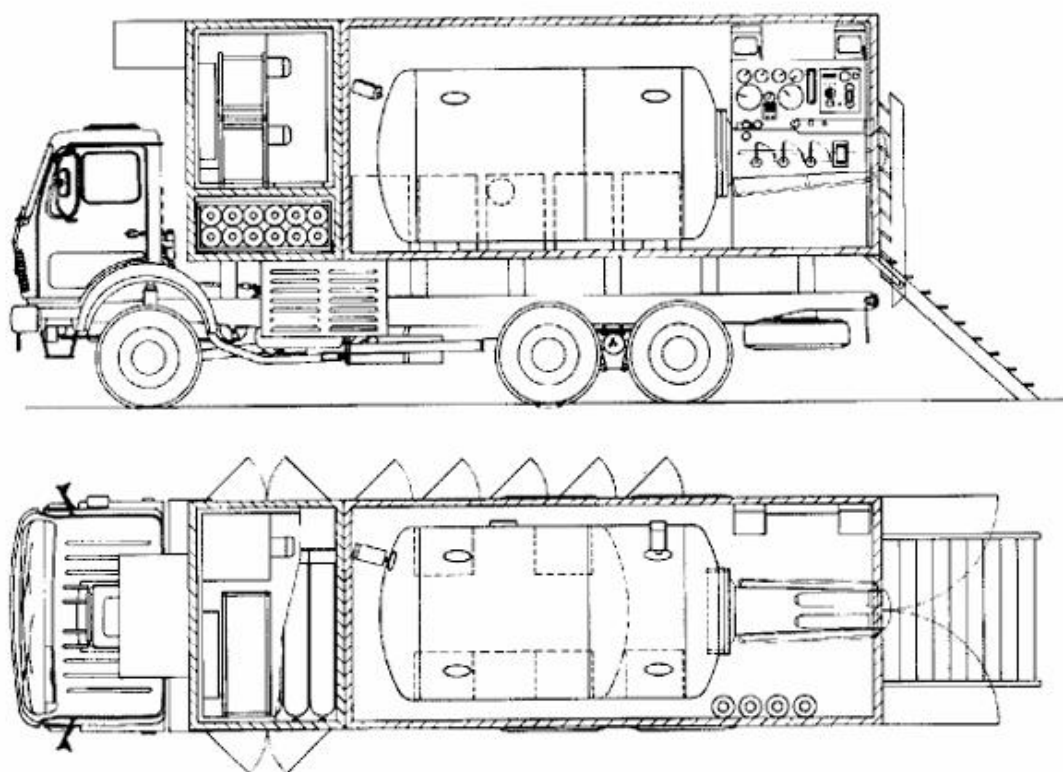


Ilustración 1- 12: Cámara móvil con acoplamiento a una Cámara monoplaza.

Fuente: bloque instalaciones y sistemas, curso pequeña profundidad, escuela océanos, Barcelona.

1.4.6 Flujo de operación de una cámara hiperbárica

El flujo de operación de una instalación hiperbárica consiste en pocas palabras en; captar aire, comprimirlo en botellas, inyectarlo al interior de la cámara y evacuarlo constantemente. Dicho flujo puede ser representado en el siguiente esquema, detallando e indicando la secuencia de operación del sistema.

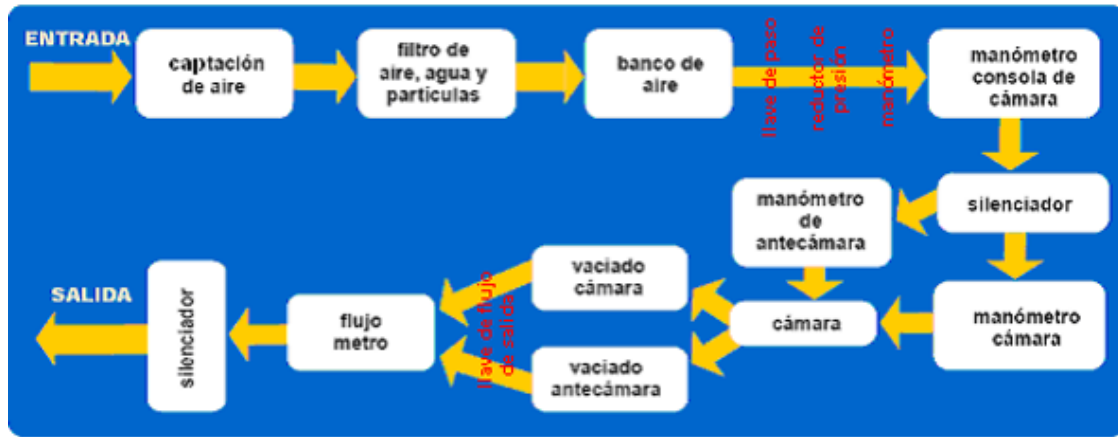


Ilustración 1- 13: Esquema de flujo de operación cámara hiperbárica.

Fuente: Guía para un buceo seguro, 2003.

1.4.7 Principales Partes de una Cámara Hiperbárica (bloque instalaciones y sistemas, curso pequeña profundidad, escuela océanos, Barcelona)

1.4.7.1 La cámara o zona principal.

Es la parte más grande. Puede tener distintas formas. Tiene una escotilla de acceso. En su interior suele haber asientos y una camilla para el paciente y los médicos que le atienden. Tiene varias mascarillas para suministro de oxígeno, iluminación y mandos interiores para manejarla desde dentro y válvulas de vaciado de seguridad. Suele haber alguna esclusa presurizada, para introducir alimentos o medicamentos desde el exterior sin despresurizar la cámara. Poseen sistemas de calefacción y antincendios. Tiene también cámaras de video de circuito cerrado y mirillas (pequeñas ventanas que soportan grandes presiones) para observar al paciente.



Ilustración 1- 14: interior cámara biplaza POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

1.4.7.2 Antecámara o Precámara

Casi todas tienen un compartimiento separado por una escotilla de la zona principal. Esta antecámara puede presurizarse nivelando la presión a la que se encuentra la zona principal, permitiendo el acceso o salida de personal médico sin detener el tratamiento del accidentado. De esta manera es factible llegar hasta el interior de la zona principal sin haber modificado la presión interna de la misma, o sin haber interrumpido el tratamiento.



Ilustración 1- 15: antecámara. POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

1.4.7.3 Panel de Control.

Lugar exterior desde donde se opera la cámara. Tiene un panel donde recibe información y puede regular los siguientes aspectos:

- Presurización y despresurización de la cámara y sus partes mediante válvulas. Regula la mezcla de gases que se respira en el interior.
- El sistema de provisión de aire suele estar duplicado, dada su vital importancia, con lo que encontramos un sistema principal (equipo de compresores, depósito de aire y filtros) y uno de reserva (batería de botellas).
- Presión en cada compartimiento con manómetros de precisión.
- Medición del tiempo de recompresión y tratamiento a través de cronómetros.
- Ventilación de la cámara. Es muy importante cuando se trabaja con oxígeno, la concentración de este gas no debe superar el 25%, por el peligro de inflamación y explosión.

- Tienen alarmas visuales y auditivas que avisan cuando se supera este porcentaje. Se controla con caudalímetros y medidores de oxígeno. Se regula con válvulas de ventilación.
- Sistemas de comunicación y observación del interior.
- Temperatura del interior.
- Medidores de CO2. Se regula con absorbentes de soda cáustica para eliminar el anhídrido carbónico.
- Regulación de la humedad interior con deshumidificadores.
- Decantadores, secadores frigoríficos y filtros que garantizan la calidad del aire.
- Parte intermedia, válvulas de suministro de aire y oxígeno, interruptores luces, etc.
- Parte inferior, valvulería en general, ataques y exhaustaciones de aire, exhaustación respiración, ventilación cámara con control por flujómetro.



Ilustración 1- 16: Panel de control cámara multiplaza. POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

1.4.8 Equipamiento básico de una cámara hiperbárica.

En su modelo más sencillo, una cámara hiperbárica debe contar con el siguiente equipamiento para lograr un tratamiento eficiente y seguro al buzo accidentado: (según ASME PVHO -1)

1.4.8.1 Equipos al interior de la cámara:

- Dos literas con sus respectivas colchonetas de material ignífugo.
- Dos mascarillas hiperbáricas para oxígeno, con sus correspondientes válvulas de regulación.
- Dos puntos de luz (mirillas).

- Un intercomunicador, conexionado con el panel de control.
- Un silenciador / amortiguador de ruido en las tuberías de presurización.
- Un sistema de exhaustación al exterior del oxígeno de mascarillas, con válvula de regulación.
- Una válvula interna en cada servicio, de corte.

1.4.8.2 Equipos al interior de la antecámara:

- Un asiento abatible con cojín de material ignífugo.
- Una mascarilla hiperbárica para oxígeno, con válvula de regulación.
- Un punto de luz (mirilla).
- Un intercomunicador, conexionado con el panel de control.
- Un silenciador / amortiguador de ruido en las tuberías de presurización.
- Una válvula de compensación para apertura rápida de la puerta de la cámara.

1.4.8.3 Panel de control:

Adosado a la cámara está el panel de control o cuadro de mandos de diseño compacto, agrupando los servicios por compartimientos (cámara - antecámara), su distribución debe ser la siguiente:

- Parte superior, reservada para manómetros y demás instrumentos (termómetro, flujómetro, analizador de oxígeno, etc.)
- Parte intermedia, válvulas de suministro de aire y oxígeno, interruptores luces, etc.
- Parte inferior, valvulería en general, ataques y exhaustaciones aire, exhaustación respiración, ventilación cámara con control por flujómetro.

1.4.8.4 Equipos opcionales:

- Analizador de CO₂, para control de la atmósfera interior.
- Calefacción eléctrica
- Aire acondicionado por agua fría y/o caliente.
- Sistema de eliminación de CO₂ con cal sodada.
- Manómetro de presión interior, instalado en cámara.
- Circuito cerrado de TV para visión del interior cámara, en B/N o color.
- Sistema de filtración (Prefiltros + Partículas + Carbón activo) con manómetro diferencial.
- Cuadro de ataque de aire alta / baja presión, con reductoras.
- Batería de 12 v / 45 Ah.

1.5 NORMATIVAS CHILENAS APLICABLES AL BUCEO Y CÁMARAS HIPERBÁRICAS

En Chile, el buceo profesional y el uso de cámaras hiperbáricas están regulados por la autoridad marítima y la autoridad sanitaria. La DIRECTEMAR exige cámaras de descompresión en faenas de buceo que superen los 40 metros de profundidad (CIRCULAR D.G.T.M. Y M.M. ORDINARIO N° A-42/002), y fiscaliza que el equipo cuente con certificación técnica, inspecciones anuales y cumplimiento de estándares como ASME PVHO-1. Las cámaras destinadas al buceo quedan bajo supervisión marítima, mientras que las de uso hospitalario no.

En cuanto a las normativas de autoridad sanitaria (Ministerio de Salud e ISP), por el lado de la salud ocupacional, Chile avanza recientemente en normar los requisitos técnicos de las cámaras hiperbáricas destinadas al tratamiento de buzos. Hasta hace pocos años, no existían exigencias técnicas mínimas a nivel nacional para la construcción o instalación de estas cámaras. Este cambio con la publicación de la Resolución Exenta N.º 861 del ISP en 2015, posteriormente actualizada por la Resolución Exenta N.º 1956 del 3 de agosto de 2018 del Instituto de Salud Pública (ISP). Mediante estas resoluciones, el Ministerio de Salud aprobó una “Guía para la fabricación, Instalación y mantenimiento de cámaras hiperbáricas multiplaza asociadas al buceo profesional”. Dicha guía establece los requerimientos técnicos mínimos para las cámaras multiplaza (donde se incluyen las biplaza por ser de más de una persona) empleadas en la recompresión terapéutica de buzos accidentados.

Entre los puntos centrales de la guía del ISP, destacan los siguientes objetivos y contenidos:

- **Requisitos de diseño y fabricación:** La cámara hiperbárica debe construirse con materiales adecuados para recipientes a presión (ej.: acero al carbono certificado ASTM A516 Grado 70 o similares, con tratamientos térmicos de alivio de tensiones). Las soldaduras de la estructura deben ser ejecutadas por soldadores calificados bajo normas reconocidas (ASME sección IX u estándar equivalente) y con procedimientos certificados. Se debe exigir al fabricante entregar memorias de cálculo, planos y certificados de calidad de materiales y soldaduras, asegurando trazabilidad de la construcción. Adicionalmente, la guía referencia el cumplimiento de códigos internacionales como ASME (Boiler & Pressure Vessel Code) para varios aspectos del diseño y pruebas.
- **Instalación y emplazamiento:** La cámara, una vez fabricada o importada, debe ser instalada cumpliendo la normativa general de instalaciones en Chile.

Por ejemplo, se menciona que el lugar donde opere la cámara debe respetar la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) en lo pertinente, incluyendo contar con las vías de escape adecuadas (se requiere al menos dos puertas de salidas de emergencia en direcciones distintas, que abran hacia afuera y sin obstrucciones) para el recinto que alberga la cámara. También se debe prever sistemas de ventilación, extintores especiales para atmosferas enriquecidas con oxígeno, alarmas, etc., según normas de seguridad industrial.

- **Mantenimiento y pruebas periódicas:** La guía enfatiza la necesidad de establecer planes de mantenimiento preventiva de las cámaras hiperbáricas. Esto incluye inspecciones regulares de válvulas, manómetros, sistemas de respiración y comunicación, así como calibraciones de instrumentos. Se indican ensayos mínimos obligatorios como parte del aseguramiento de calidad, por ejemplo: pruebas de presión periódicas, testeo de válvulas de seguridad, y verificación de la hermeticidad de puertas y empaquetaduras. Todo esto con el fin de garantizar un funcionamiento seguro y adecuado en todo momento, dado que un desperfecto durante una sesión hiperbárica podría tener consecuencias graves.
- **Documentación y autorización:** Aunque la guía en sí misma no constituye una “ley” estricta, sirve como referente técnico. El ISP, como organismo técnico, requiere que quienes fabriquen, importen o instalen cámaras multiplaza para buceo en Chile sigan esta guía. Adicionalmente, es esperable que en el futuro se integren estos requerimientos en reglamentos oficiales. Cabe señalar que la autoridad sanitaria (Seremi de Salud Regional) podría solicitar el cumplimiento de estos estándares antes de autorizar la operación de una cámara hiperbárica con fines terapéuticos en un centro de trabajo.

1.6 CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACION Y MANTENCIÓN DE LA CÁMARA

Dado que esta investigación tiene como objetivo principal la evaluación de costos de implementación y mantenimiento de una cámara hiperbárica biplaza, es importante resaltar los aspectos técnicos teóricos relacionados con dichos costos y consideraciones prácticas:

- **Implementación (instalación inicial):** Involucra la compra del equipo hiperbárico (cuyo costo puede variar ampliamente según fabricante, tamaño y equipamiento adicional), así como las adecuaciones del sitio. Esto incluye preparar un espacio adecuado en el centro de cultivo: puede ser una sala

dedicada o un contenedor modificado que albergue la cámara. Hay que contemplar obras civiles menores (ej.: base nivelada y reforzada para la cámara, conexiones de electricidad, instalación de compresores de aire, tanques de oxígeno, sistemas de ventilación y extinción de incendios especiales para oxígeno). Asimismo, se deben tener las autorizaciones y certificaciones iniciales: por ejemplo, la certificación de la cámara por una entidad reconocida (como exige la DIRECTEMAR), y eventualmente la autorización sanitaria para su uso terapéutico. Todos estos pasos suman al costo inicial y requieren planificación temporal (tiempo de entrega del equipo, instalación, inspecciones).

- **Costo de mantenimiento:** Una cámara hiperbárica requiere mantenimiento preventiva periódica para asegurar su disponibilidad operativa. En la práctica, esto implica rutinas diarias, mensuales y anuales. Diariamente se debe verificar el estado de válvulas, niveles de oxígeno y aire comprimido, sistema de comunicaciones y que no haya daños visibles. De forma periódica, se cambian filtros, se recargan o reemplazan los absorbentes de CO₂, se calibra el panel de control, y se inspeccionan las válvulas de seguridad (alivio de presión) para garantizar que abran al umbral diseñado. Al menos una vez al año o según indique el fabricante, es aconsejable realizar una prueba de presión (sobre presurización controlada) para verificar la integridad estructural, además de pintura si hay corrosión. También se deben considerar los costos de recalibración de cilindros de oxígeno/aire (que por normativa se prueban hidrostáticamente cada cierto tiempo). La guía Chilena sugiere llevar registros de todas las actividades de mantenimiento y reparación efectuadas, en concordancia con estándares de calidad. Económicamente, la mantención implica gastos en insumos (sellos, lubricantes especiales, químicos absorbentes, repuestos), en servicios de técnicos especializados, y en eventuales contratos de mantenimiento con el proveedor o empresas certificadas.
- **Operación y personal:** Para operar una cámara de descompresión en un centro acuícola se requiere personal capacitado. Esto típicamente incluye al menos un operador de cámara hiperbárica, que debería contar con entrenamientos en el manejo del panel de control, protocolos de emergencia y primeros auxilios hiperbáricos. Idealmente, también se necesita la supervisión o disponibilidad de un médico especialista en medicina subacuática e hiperbárica, o al menos un convenio con alguna institución médica, para situaciones críticas. En cuanto a costos, esto puede significar capacitación de personal existente (cursos de operador de cámara) o incluso

la contratación de especialistas. Durante las operaciones de buceo rutinarias, la cámara debe estar lista y el operador disponible por si ocurre un accidente; esto tiene un costo en términos de horas-hombres dedicadas. Adicionalmente, la operación conlleva consumo e insumos: **Oxígeno medicinal** (que se gasta cuando se hacen tratamientos; se debe contemplar la provisión continua de cilindros o un generador de oxígeno, si aplica) y **energía eléctrica** (para compresores de aire, iluminación, climatización de la cámara, etc.). estos gastos operativos, aunque menores comparados al costo capital, se acumulan en el tiempo y deben incluirse en un análisis costo-operacional.

1.6.1 Mantenimiento industrial aplicado a equipos hiperbáricos

En la ingeniería en mantenimiento industrial, los equipos que operan bajo condiciones extremas, como las cámaras hiperbáricas biplaza utilizadas para la descompresión de buzos en centros acuícolas, representan activos críticos cuya confiabilidad es esencial tanto para la continuidad operacional como para la seguridad de los trabajadores. La cámara hiperbárica, al ser un recipiente a presión para ocupación humana, requiere un enfoque de mantenimiento altamente especializado que garantice su disponibilidad en todo momento, ya que una falla en su operación puede significar la diferencia entre la vida y la muerte de un buzo accidentado.

El mantenimiento industrial aplicado a este tipo de equipos debe basarse en estrategias preventivas y predictivas, alineadas con metodologías como el uso de técnicas de Análisis de Modos de Falla (FMECA) posibilita jerarquizar los riesgos, priorizando el monitoreo y mantención de los componentes cuya falla puede comprometer la integridad estructural o la seguridad del tratamiento hiperbárico.

En el contexto de un centro de cultivo acuícola, donde los buzos realizan labores rutinarias de alto riesgo, la disponibilidad operativa de la cámara hiperbárica debe ser cercana al 100%. Esto implica implementar un programa sistemático de:

- **Inspecciones diarias de integridad física**, niveles de oxígeno y estado de válvulas.
- **Calibraciones periódicas de manómetros**, sensores y sistemas de control.
- **Ensayos de presión** regulares que validen la hermeticidad y resistencia estructural.
- **Protocolos de recambio de componentes críticos** (filtros de CO₂, empaquetaduras, válvulas de alivio) bajo intervalos definidos por el fabricante y la normativa nacional (ISP, DIRECTEMAR).
- **Registro documental digitalizado**, que permita demostrar el cumplimiento normativo y trazabilidad frente a inspecciones de la autoridad marítima o sanitaria.

La filosofía de mantenimiento aplicada a una cámara hiperbárica debe considerarse no solo como un activo productivo, sino como un activo de seguridad de misión crítica, cuyo fallo puede comprometer vidas humanas. Por ello, la gestión de su mantenimiento debe insertarse dentro de los sistemas de gestión de activos basados en normas como la ISO 55001, y en coherencia con las exigencias regulatorias nacionales.

1.6.2 Metodologías de análisis de costos de ciclo de vida (LCC)

La decisión de adquirir una cámara de descompresión biplaza para un centro de cultivo no puede evaluarse únicamente bajo el costo inicial de compra, sino que debe analizarse bajo un enfoque integral de Costos de Ciclo de Vida (Life Cycle Cost, LCC). Esta metodología permite estimar de manera cuantitativa el costo total de propiedad y operación del equipo durante toda su vida útil, integrando tanto los costos directos como los indirectos asociados a su implementación. El análisis LCC aplicado a una cámara de descompresión en el sector acuícola contempla las siguientes etapas:

1. **Costos de adquisición e implementación:** Incluye el precio de compra del equipo, transporte, adecuación del sitio (sala técnica o contenedor adaptado), sistemas auxiliares (compresores, tanques de oxígeno panel de control), certificaciones y permisos iniciales exigidos por DIRECTEMAR y el ISP.
2. **Costos de operación:** Abarcan el consumo de oxígeno medicinal, energía eléctrica para sistemas de compresión y climatización, horas-hombres del operador de cámara, y capacitación del personal en medicina hiperbárica y seguridad operacional.
3. **Costos de mantenimiento:** Comprenden los gastos en programas de inspección preventiva, ensayos no destructivos, repuestos, calibraciones, renovación periódica de válvulas y manómetros, recertificación de cilindros de oxígeno y eventuales contratos de mantenimiento externo.
4. **Costos de indisponibilidad (costos de falla):** Aunque difíciles de cuantificar, estos presentan las pérdidas operacionales, riesgos legales, traslados médicos y potencial impacto en la vida de los buzos.
5. **Costos de disposición final:** Incluyen el retiro de la cámara al término de su vida útil, su venta como activo residual o su disposición segura como residuo industrial.

Al integrar todos estos componentes en un modelo de análisis económico, el LCC permite demostrar que, si bien la inversión inicial en una cámara biplaza puede ser elevada, su costo se justifica en el tiempo al evitar pérdidas humanas, sanciones legales y costos operativos mayores derivados de accidentes.

CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Los accidentes de buceo en la industria salmonera continúan siendo una preocupación latente, donde la falta de acceso oportuno a cámaras hiperbáricas puede significar la diferencia de la vida y la muerte de un trabajador.

Actualmente, muchas empresas dependen de centros de atención lejanos o servicios externos, lo que incrementa los tiempos de respuesta y la gravedad de los accidentes.

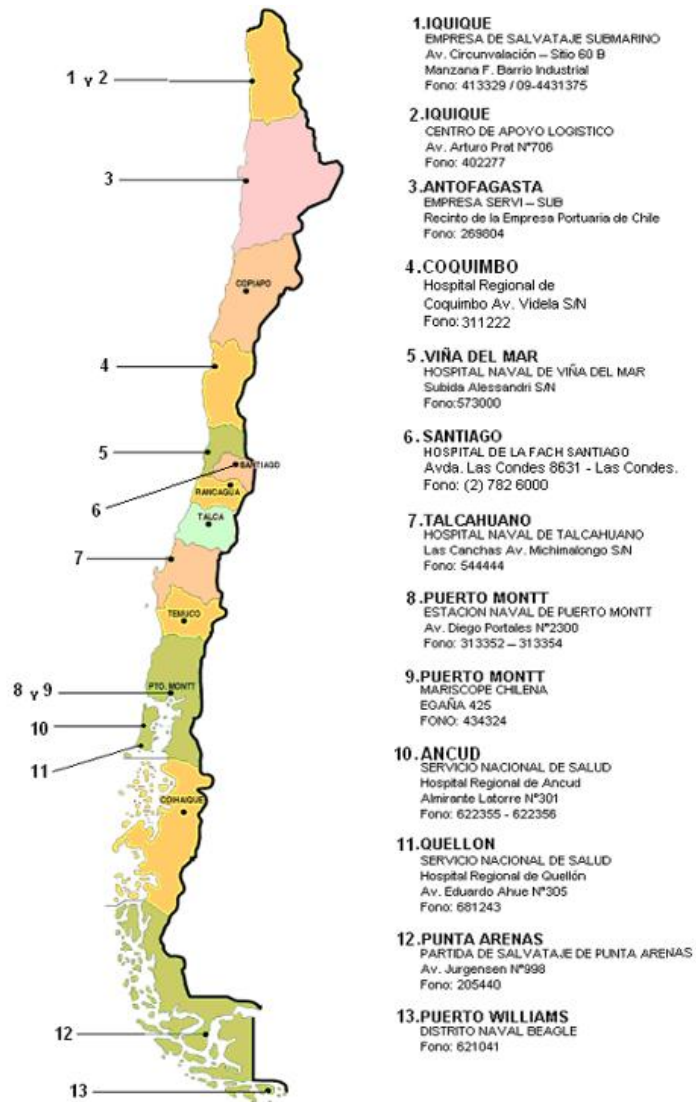


Ilustración 2- 17: Catastro de cámaras hiperbáricas oficiales consideradas por Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante en Chile.

Fuente: DIRECTEMAR

Tabla 2-1: Catastro actualizado de cámaras hiperbáricas en la región de Los Lagos y Aysén.

Región de Los Lagos			
Camaras de Alta presión			
Nombre	Ubicación	Página Web	Característica
Clini Alviva	Av. Juan Soler Manfredini N°11, Piso 9 Oficia 903, Puerto Montt	www.clinicaalviva.com/servicios-medico-esteticos/	Monoplaza
Puerto OXXEAN Pto. Montt	Bahía Chincui a 13,5 km de Pto. Montt	WWW.OXXEAN.CL	Multiplaza
Puerto OXXEAN Chiquihue	Puerto OXXEAN Camino Chiquihue Km 13,5 Puerto Montt	WWW.OXXEAN.CL	Multiplaza
Marina OXXEAN	Puerto Deportivo V-805 70, Puerto Montt	WWW.OXXEAN.CL	Multiplaza
Aqua. Acuicultura + Pesca		WWW.AQUA.CL	Multiplaza
Hospital de Quellón	Dr. Ahues 305, Quellón, Chiloé		Multiplaza
Hospital San Carlos Ancud	Almirante Latorre N°301, Ancud	WWW.HOSPITALANCUD.GOV.CL/	Multiplaza
Región de Aysén			
Camara de Alta Presión			
Nombre	Ubicación	Página Web	Característica
Asociación Chilena de Seguridad (ACHS) en Puerto Aysén	Av. Josef Laibe N° 175, Puerto Aysén, Aysén		Multiplaza

. Fuente: en colaboración con personal operador de Cámara hiperbárica Hospital Naval de Talcahuano, Enfermero de Buceo y Buzo comercial Andrés Rettamal Betancourt, 2025.

Debemos considerar que la entidad que regula, fiscaliza y se encarga de toda actividad marítima en el territorio nacional es “La Armada de Chile” que registra y acredita en estas dos regiones alrededor de 4.000 buzos ligados a trabajos en el sector acuícola, cifra que aumentó a aproximadamente 7.000 buzos a nivel nacional. Paralelo a esto, los riesgos asociados al buceo industrial se han vuelto más evidentes conforme pasa el tiempo.

Según la DIRECTEMAR, entre el 2004 y 2022 se registraron 245 accidente de buzos en faenas salmoneras en Chile, de los cuales 44 tuvieron resultado fatal. Tan solo el 2022 ocurrieron 20 siniestros en buceo en salmoneras (11 leves, 6 graves y 3 mortales), siendo esa cifra anual la más alta de la última década (mundo acuícola, 25 julio 2025).

Además, muchos síntomas asociados a esta enfermedad de descompresión pueden no manifestarse inmediatamente, pero si no se tratan oportunamente pueden derivar en un daño neurológico permanente, parálisis o la muerte. Es por esto que contar con una cámara hiperbárica cercana a la zona de operaciones de buceo es una medida crítica para atender los accidentes de forma rápida y efectiva, evitando las secuelas graves.

Históricamente, ha existido un déficit de cámaras hiperbáricas en Chile, esencialmente en las regiones australes donde se concentra la actividad acuícola. En la zona sur (que abarca desde la región de Los Lagos hasta Magallanes), durante años solo operaron 3 cámaras hiperbáricas disponibles para emergencias de buceo: ubicadas en Ancud, Puerto Montt (ambas en la región de Los Lagos) y Punta Arenas (región de Magallanes) (SalmonExpert, Marco Cabrera, jefe de Prevención de Riesgos de Mutual de Seguridad-Agencia Castro, nota de Alex Vidal, Publicado 14.01.2021).

hasta el 2023 la región de Aysén carecía de una cámara hiperbárica en funcionamiento, situación preocupante dada la expansión de centros de cultivo en dicha región. En efecto, la primera cámara hiperbárica de Aysén, instalada en 2016 por una iniciativa público-privada, debió cerrar sus puertas en 2017 por falta de financiamiento. Esto dejó a los buzos de Aysén nuevamente sin acceso local a tratamiento de recompresión, dependiendo de evacuaciones hacia Puerto Montt u otras ciudades distantes (Subacuática Magazine, Tulio Pérez, gerente de Diver Chile Ltda., 18 octubre 2017).

Las autoridades y gremios han catalogado esta situación como insostenible y peligrosa. Por ejemplo, en 2021 representantes de la Mutual de Seguridad advirtieron que tener tan solo 3 cámaras hiperbáricas para alrededor de 7.000 buzos acuícolas en el sur de Chile es totalmente ineficiente. El presidente del Sindicato Nacional de Buzos de Chile señaló esa ocasión que tres cámaras de descompresión desde los lagos a magallanes no cubren ni un tercio de la necesidad real, calificándola de vitales para atender rápidamente a un buzo con mal de presión. Del 2004 a la fecha han fallecido 144 buzos en el país (de los cuales 38 pertenecían a la salmonicultura), y se estima que muchas de esas muertes y secuelas severas podrían haberse evitado con acceso oportuno a cámaras hiperbáricas, especialmente en lugares extremos de difícil acceso (SalmonExpert, nota de Alex Vidal, Publicado 14.01.2021).

2.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1 Problemática central

Existe un déficit crítico de cámaras hiperbáricas operativas y a disposición de buzos accidentados en la zona que debemos analizar. No se cuenta con cámaras de descompresión adecuadamente distribuidas en estas regiones, lo cual impide una atención rápida y efectiva aumentando el riesgo de secuelas graves y muertes en este rubro.

Debemos considerar que la infraestructura actual de medicina hiperbárica en el sur de Chile es insuficiente en número, cobertura geográfica y disponibilidad inmediata.

Antes del 2023, Los Lagos contaba solo con dos cámaras hiperbáricas para emergencias (en Puerto Montt y Ancud) y la región de Aysén no poseía ninguna activa (SalmonExpert, nota de Alex Vidal, Publicado 14.01.2021). esto demuestra que cientos de buzos en faenas remotas debían ser trasladados largas distancias ante un accidente, generalmente contraindicando el transporte aéreo (por los cambios de presión) y requiriendo viajes marítimos/terrestres de muchas horas.

El problema identificado, entonces es tangible, ya que buzos con accidentes de descompresión, no pueden acceder a un tratamiento hiperbárico a tiempo debido a la escasez y mala distribución de cámaras en las regiones australes.

Esto ha llevado a consecuencias directas como muertes que pudieron haberse evitado, e indirectas como altos grados de discapacidad permanente en buzos que sobrevivieron, pero sin recibir terapia oportuna.

Tabla 2- 3: Tablas estadísticas de elaboración propia con información recopilada de Armada de Chile.

Accidentes de buceo por descompresión inadecuada										
1.-	Por Matrícula	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	B. Mariscador Básico	13	44	28	36	33	29	20	13	10
	B. Intermedio	1	8	3	3	1	3	7	4	2
	B. Especialista	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B. Comercial	3	3	4	1	2	4	3	3	0
	B. Deportivo Autónomo	1	0	1	1	0	0	1	0	0
	Sin Matrícula	3	5	5	8	5	4	8	5	1
	Total	40	60	41	49	41	40	39	25	13
2.-	Por Gobernación Marítima	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	Puerto Montt	10	5	2	5	2	6	8	1	3
	Castro	5	7	5	10	7	5	2	2	4
	Aysén	8	6	7	6	7	6	7	6	4
	Total	23	18	14	21	16	17	17	9	11
3.-	Por Gravedad	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	Leves	14	1	3	10	16	14	11	6	2
	Graves	22	53	29	32	17	14	23	18	7
	Muertes	4	6	9	7	8	11	5	1	4
	Total	40	60	41	49	41	40	39	25	13

Actualizado al 16 de Julio de 2025 FUENTE: AUTORIDADES MARÍTIMAS LOCALES, JUNTO A SERVICIOS DE SALUD DEL PAÍS

Detalle Específico de Accidentes en Salmonicultura										
1.-	Tipo de Lesión	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	Leves	4	2	2	3	5	11	3	1	0
	Graves	4	10	8	10	6	6	9	5	2
	Muertes	1	1	3	1	3	3	1	0	2
	Total	9	13	13	14	14	20	13	6	4
2.-	Por Matrícula	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	B. Mariscador Básico	8	4	10	10	11	14	9	2	2
	B. Intermedio	1	8	2	3	1	3	4	4	2
	B. Especialista	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B. Comercial	0	1	1	1	2	3	0	0	0
	Asistente de Buzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sin Matrícula	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	9	13	13	14	14	20	13	6	4

Actualizado al 16 de Julio de 2025 FUENTE: AUTORIDADES MARÍTIMAS LOCALES, JUNTO A SERVICIOS DE SALUD DEL PAÍS

Fuente: DIRECTEMAR, Estadísticas de Accidentes de Buceo Profesional, actualización 16 de Julio de 2025.

Por lo tanto, surge la interrogante: ¿Es económica y operativamente viable la adquisición e implementación de una cámara hiperbárica en la zona acuícola en las regiones de Los Lagos y Aysén, como medida para reducir la tasa de accidentes y muertes de los buzos en la industria salmonera?

Se realizó una encuesta (Anexo 4), a buzos profesionales, instructores, personal médico de medicina hiperbárica, contratistas y empresarios del rubo. Las respuestas obtenidas evidencian un alto nivel de consenso respecto a la necesidad de contar con más cámaras hiperbáricas en la zona acuícola. La mayoría de los encuestados considera que la ausencia de cámaras cercanas incrementa significativamente el riesgo de muerte o secuelas graves ante un accidente de descompresión.

Entre los principales beneficios señalados se encuentran la reducción de los tiempos de respuesta ante emergencias, el aumento de la seguridad laboral y la mejora del pronóstico de los buzos accidentados. Asimismo, se destaca que una atención oportuna mediante recompresión podría evitar incapacidades permanentes y fallecimientos que hoy ocurren por demoras en el traslado.

Como principales limitaciones actuales, los encuestados identifican la lejanía de los centros hiperbáricos existentes, la dificultad de acceso desde zonas aisladas y la falta de infraestructura especializada en las regiones australes. En conjunto, las respuestas justifican de manera clara la necesidad de aumentar la disponibilidad de cámaras de descompresión en el sector acuícola, como una medida clave para proteger la vida y la salud de los buzos profesionales.

2.3. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA

Luego de haber obtenido los antecedentes que se relacionan con la actividad que realizan los buzos en las faenas acuícolas, se puede afirmar que la problemática actual se debe a la alta tasa de accidentes por enfermedad descompresiva, la cual se manifiesta con números importantes conforme pasan los años y en contraste con el número reducido de cámaras de descompresión en el sector acuícola, para que de esta forma se pueda realizar un tratamiento oportuno, disminuyendo los efectos negativos que causa este fenómeno en las víctimas.

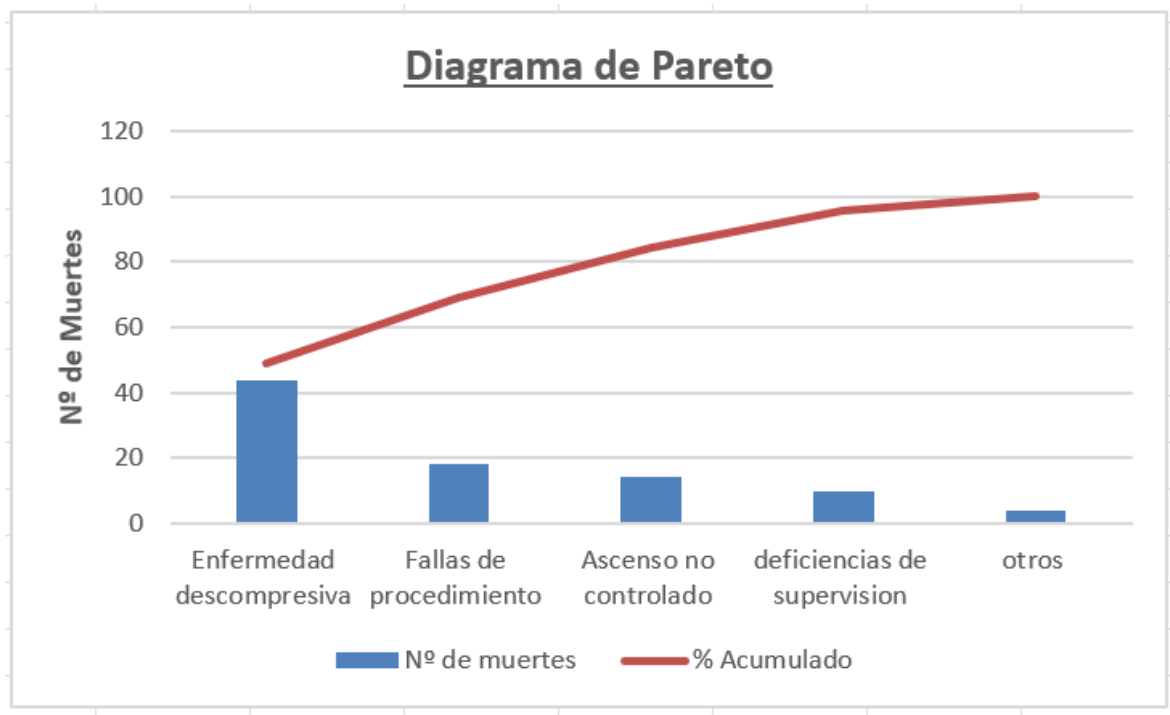


Ilustración 2- 18: Diagrama de Pareto construido a partir de los datos estadísticos de muertes en buceo profesional.

Fuente: Elaboración propia.

El Diagrama de Pareto está construido a partir de las estadísticas oficiales sobre accidentes fatales en el buceo profesional Chileno. Corresponden a cifras recopiladas por la Autoridad Marítima y otros organismos, que detallan las causas de muertes de los buzos laborales en Chile. Para la elaboración se tomaron dichas causas y se ordenaron de mayor a menor frecuencia de ocurrencia, representándolas en barras junto a una curva de porcentaje acumulado.

El Diagrama de Pareto evidencia que la mayor proporción de muertes de buzos se concentra en un número reducido de causas. La línea de porcentaje acumulado muestra que, si consideramos la Enfermedad descompresiva y un grupo acotado de factores asociados, se explica cerca del 80% de los fallecimientos registrados.

Este comportamiento nos confirma el principio de Pareto, donde pocas causas críticas generan la mayor parte del impacto.

Esto seguirá siendo un problema importante en el sector debido a la cantidad de buzos que se encuentra desempeñando trabajos a una profundidad considerable (35 a 40 metros) lo que aumenta el riesgo de sufrir accidentes por descompresión.

Esto se trata de un problema de brecha entre oferta y demanda: la demanda de atención hiperbárica de urgencia (que deriva del número de buzos trabajando y de la incidencia de accidentes de buceo), supera con creces la oferta actual de infraestructura disponible en el territorio sur-austral. El problema está acotado “geográficamente” a las regiones de Los

Lagos y Aysén y acotado “sectorialmente” al ámbito del buceo profesional (principalmente buceo comercial en salmonicultura, buceo de recolección de mariscos y otras actividades). Sin embargo, sus efectos trascienden al involucrar factores de salud pública, seguridad laboral y desarrollo industrial (Mundo acuícola, palabras de Carmen Monsalve, SEREMI de Salud de la Región de Aysén, 4 mayo 2023).

2.3.1. Problemática asociada

Cuando el buzo ya ha sufrido un accidente por descompresión y no es tratado a tiempo en una cámara por distintos factores ambientales o logísticos, tan solo por el hecho de llegar demasiado tarde, las secuelas que se producen debido a la falta oportuna del tratamiento son daños irreversibles como una incapacidad física total, un daño cerebral severo y en casos más graves incluso la muerte. Sin embargo, alguna de las secuelas más comunes que puede sufrir un buzo afectado por enfermedades descompresiva y que no es tratado a tiempo en una cámara de descompresión, son:

Tabla 2- 4: Clasificación de enfermedades o accidentes en el buceo.

Clasificación		Mecanismo de producción	Tipo de enfermedad o accidente
Superficie			Traumatismos: Golpes contra rocas, golpe contra estructuras (por oleaje y resacas), heridas por hélices de embarcaciones. Fatiga, pérdida de conciencia, ahogamiento e hipotermia
Compresión (Descenso)	Primario o Mecánico	Efectos directos de la presión ambiental sobre espacios aéreos del cuerpo Disminución de volumen del aire intra cavitario (Ley de Boyle)	Barotrauma · Oído: Baro-otitis, hemorragia de oído medio, ruptura timpánica, trauma del oído interno. · Senos paranasales: Squeeze, rupturas vasculares por falta de compensación · Pulmonar: Barotrauma pulmonar (BTP) en apneas profundas, o fallas en el regulador o suministro de aire (válvula anti retorno), hemorragias intra pulmonares. Asfixia
	Secundario o Fisiopatológicos	Aumento de las Presiones Parciales (Ley de Dalton) Aumento de la solubilidad (Ley de Henry)	Intoxicación por oxígeno (O ₂) Intoxicación por monóxido de carbono (CO) Intoxicación anhídrido carbónico (CO ₂) Intoxicación por nitrógeno (Narcosis) Narcosis (N) Acumulación progresiva de Nitrógeno disuelto en sangre y tejidos
Descompresión (Ascenso)	Primarios o Mecánicos	Debidos al Aire Expansión de aire intra cavitario o intra pulmonar (Ley de Boyle)	Disbarismos del Oído y Senos Paranasales Perforación Timpánica (explosiva) Vértigo Alternobárico Barotrauma Gastrointestinal Síndrome de Hiperpresión Intratorácica: (SHPIT) Ruptura Pulmonar (Enfisema subcutáneo, Enfisema del Mediastino, Neumotórax, Embolismo Gaseoso Arterial, EGA)
	Secundarios o Físico - Fisiológicos	Debido a burbujas tisulares o intravasculares de nitrógeno	Enfermedad por Descompresión Inadecuada (EDI) · Tipo I: a (Cutáneo), b (Osteomuscular) · Tipo II: a (Neurológico de compromiso cerebromedular), b (Cardiopulmonar), c (Neurológico de oído interno)

Fuente: ACHS: (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile | Asesoría Técnica Parlamentaria, autor: Leonardo Arancibia Jeraldo).

Además de estas secuelas o daños irreversibles que sufren los buzos, a raíz de la ausencia de un tratamiento oportuno; se le debe sumar el posterior problema familiar y social que enfrentara el accidentado y del que serán partícipes; producto de la incapacidad física que les impedirá a estos que sigan ejerciendo alguna otra actividad por las limitaciones con las que contarán.

2.3.2. Causas del déficit de cámaras hiperbáricas (Análisis causa-raíz):

- **Limitaciones presupuestarias y de inversión:** la instalación y operación de una cámara hiperbárica de un estándar clínico requiere una alta inversión (equipos, infraestructura) y costos permanentes que perduraran en el tiempo (energía, mantención, personal especializado).

Testimonio empresarial: Cultivos YADRAN S.A

Como parte del proceso investigativo, se realizó una consulta directa a la empresa Cultivos YADRAN S.A., una de las principales compañías dedicadas a la producción y cultivo de salmones en el sur de Chile.

Dicha gestión fue posible gracias a la intermediación del Profesor Yarek Chocano, quien facilitó el contacto con el Gerente de Operaciones de la empresa, SR. Leopoldo Strika Robles, permitiendo obtener información relevante respecto a la política de seguridad y al manejo de riesgos asociados a las labores de buceo en los centros de cultivo.

Durante la conversación, se abordó específicamente la razón por la cual la empresa no ha implementado una cámara hiperbárica en sus instalaciones, considerando los riesgos que enfrentan los buzos durante las faenas submarinas. El representante de la compañía indicó que, si bien existe plena conciencia sobre la importancia de contar con este tipo de equipamiento para la seguridad y salvaguardar la vida de los trabajadores, la principal limitante para su adquisición y operación se relaciona con los altos costos asociados a la remuneración del personal especializado requerido para su funcionamiento.

- **Escasez de personal especializado:** incluso cuando ya se cuenta con la cámara física, es indispensable contar con profesionales capacitados en medicina hiperbárica (médicos hiperbáricos, enfermeros de cámara, operadores técnicos).
- **Distribución geográfica y accesibilidad:** la geografía del sur de nuestro país se caracteriza por las islas, los fiordos y las localidades aisladas, lo que dificulta la centralización de los servicios de salud. Tener cámaras disponibles

solo en las capitales regionales deja grandes extensiones fuera del radio de una respuesta rápida y efectiva.

- Falta de regulación específica y coordinación institucional:** históricamente, no ha existido una obligación legal explícita para las empresas o mutualidades de mantener cámaras hiperbáricas cercanas a todos los centros de buceo laboral. La responsabilidad ha recaído sobre las mutuales de seguridad (como la ACHS, Mutua de Seguridad, etc.). En palabras de los buzos “finalmente todos se desligaron del tema del buceo, y hoy en día quedamos a la deriva” (Subacuática Magazine, palabras de José Mansilla, presidente del Sindicato de Buzos de Aysén, 18 octubre 2017). Esta falta de coordinación entre el sector público, mutualidades y empresas privadas dejó un vacío.

Podemos observar las causas de estos déficits en el siguiente esquema de “Ishikawa” (causa-efecto) centrándonos en 6 categorías principales:

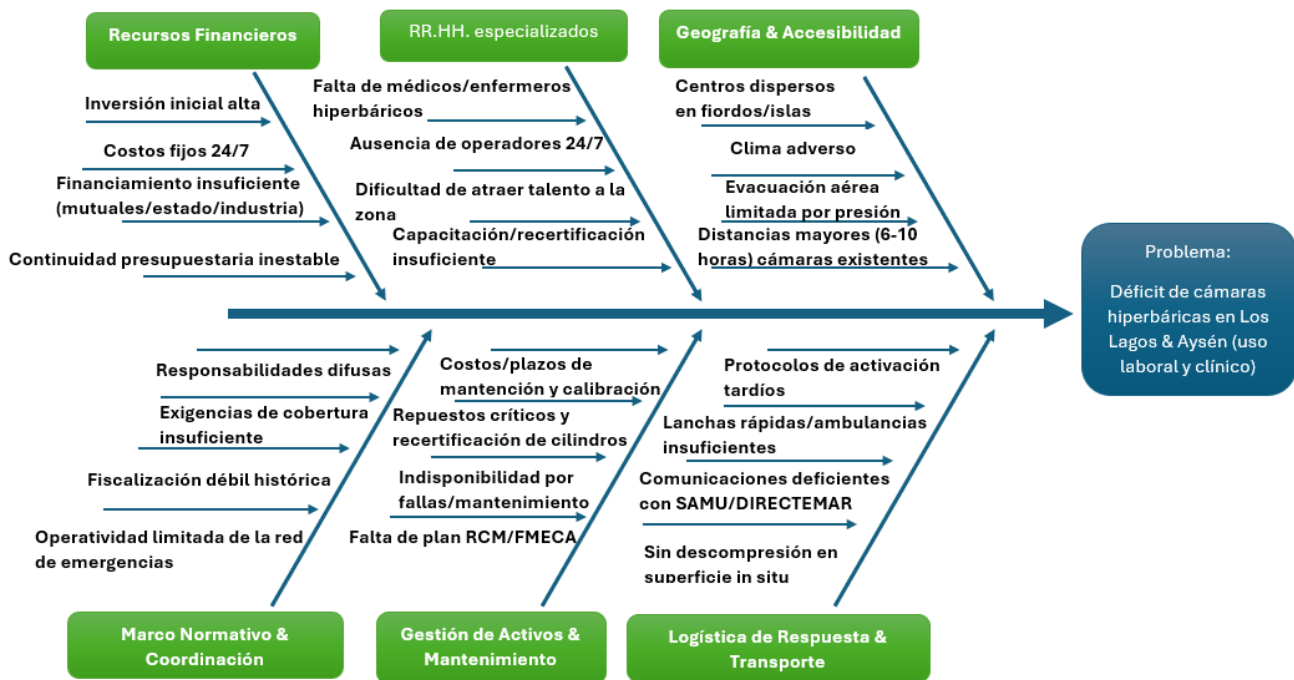


Ilustración 2- 19: Diagrama de Ishikawa.

Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Ishikawa (causa-efecto), con su característica forma de “Espina de Pescado”, permite identificar y analizar las causas que explican el déficit de cámaras hiperbáricas en las regiones de Los Lagos y Aysén.

Este esquema organiza el problema central en distintas categorías causales, entre las que destacan factores económicos, operativos, geográficos, normativos y humanos.

Entre las principales causas se identifican el alto costo de adquisición, operación y mantenimiento de las cámaras; la falta de personal especializado para su operación continua; la compleja geografía de la zona sur austral, que dificulta el acceso oportuno a centros médicos; la ausencia histórica de exigencias normativas claras que obliguen a disponer de cámaras cercanas a las faenas de buceo.

El análisis del diagrama permite concluir que la escasez de cámaras hiperbáricas no responde a una única causa, sino a una combinación de factores estructurales. Por lo tanto, su solución requiere un enfoque integral que considere inversión, regulación, formación de personal y planificación territorial de la seguridad en el buceo profesional.

2.3.3. Consecuencias y problemas derivados:

- **Riesgo elevado de mortalidad y discapacidad:** Siendo evidente la más grave, los buzos que sufren accidentes y no reciben tratamiento oportuno, ven comprometida su vida y salud. Las probabilidades de sobrevivir a un síndrome de descompresión severo disminuyen drásticamente sin acceso rápido a una cámara de descompresión.

Muchos buzos que podrían haberse recuperado terminan con secuelas neurológicas permanentes e incapacidades del 45% al 100% (SalmonExpert, nota de Alex Vidal, Publicado 14.01.2021).

- **Impacto en la seguridad laboral y la industria:** La falta de infraestructura de emergencia afecta a la “cultura de seguridad” en la industria acuícola. Ya que, por un lado, los trabajadores pueden sentirse desprotegidos y expuestos; por otro, algunas empresas podrían haber relajado estándares confiando en que “no ocurrirá lo peor”.

Las investigaciones y testimonios revelan que persisten las condiciones en operaciones subcontratadas, donde a veces se omitieron medidas básicas, agravando accidentes. Por ejemplo, en 2021 un buzo de Salmones Austral descendió a mayor profundidad que la permitida por su equipo y debió ser trasladado de urgencia a una Cámara hiperbárica, evidenciándose además que hubo demora en notificar el accidente y falta de equipos adecuados en el lugar (Mundo Acuícola 25 julio 2025).

En otro caso de 2023, un buzo subcontratado sufrió enfermedad de descompresión tras un ascenso abrupto y la empresa salmonera fue sancionada por no garantizar medidas de seguridad básicas con sus contratistas (Mundo Acuícola 25 julio 2025).

- **Costos económicos y sociales:** Estas consecuencias no son menores, cada buzo que queda con una invalidez o fallece, representa pérdidas humanas y productivas difíciles de cuantificar, y genera costos en términos de indemnizaciones, pensiones por invalidez, gastos médicos de largo plazo, entre otros. Para las empresas, un accidente grave implica costos operacionales (detención de actividades, investigaciones, posibles multas) y costos reputacionales. Para el sistema público de salud y seguridad social, la falta de atención inmediata significa tratamientos más prolongados y caros. Además, a nivel comunitario, la muerte o discapacidad de un buzo (a menudo el sustento familiar) trae impactos sociales importantes en localidades pequeñas.

2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto propuesto consiste en la adquisición de una cámara de descompresión biplaza de uso dual (laboral y clínico) en centros de cultivo al sur de nuestro país, específicamente orientada a cubrir las regiones de Los Lagos y Aysén. A continuación, se detallan los aspectos centrales de este proyecto:

- **Ubicación y cobertura:** Se seleccionará una ubicación estratégica que permita maximizar la cobertura geográfica en los centros de buceo más alejados. Idealmente emplazarse en la zona limítrofe ya que ambas regiones concentran gran cantidad de centros acuícolas.

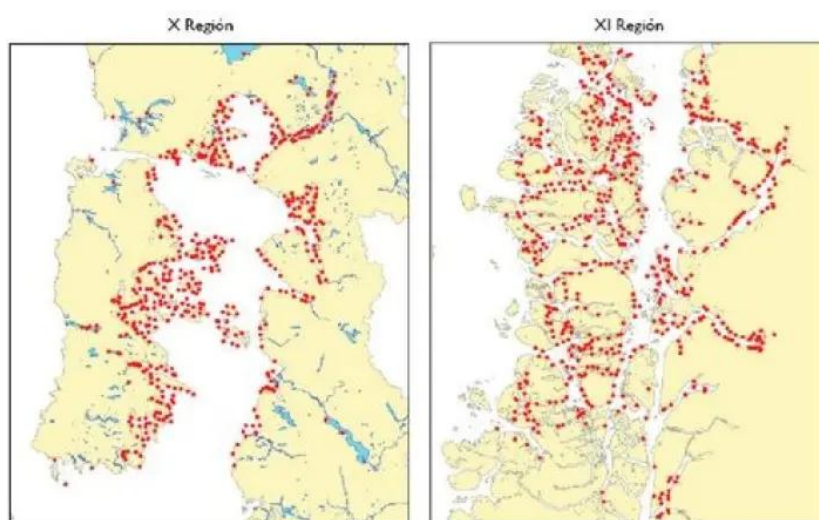


Ilustración 2-20: centros distribuidos entre las regiones de Los Lagos y Aysén..

Fuente: Salmonexpert.cl, Normativa Sanitaria de la Acuicultura en Chile.

- **Características técnicas de la cámara:** Se propone adquirir una cámara hiperbárica biplaza de última generación (mencionada en el capítulo anterior, Página 19), con capacidad de atender a más de un paciente simultáneamente en caso de emergencia colectiva (considerando tratar a un buzo accidentado acompañado de personal médico, o incluso a varios buzos a la vez si ocurriera un accidente múltiple).
- **Infraestructura e instalaciones complementarias:** El proyecto implicara tener una infraestructura óptima para todos los componentes y su operación. Es por esto, que se requiere que sea contemplado en la inversión.
- **Operación y personal:** Se conformará un equipo especializado para operar la cámara hiperbárica, incluyendo al menos: un médico especializado en medicina hiperbárica de atención remota, enfermeros o paramédicos con entrenamiento en cuidados hiperbáricos, operadores/técnicos de cámara (encargados de los controles de presión y sistemas), personal de apoyo logístico. Esta dotación debe asegurar disponibilidad 24/7 para cubrir emergencias, dado que los accidentes pueden ocurrir en cualquier momento. Esto implicara roles de turno y quizás guardias pasivas localizadas (personal de turno disponible rápidamente ante un llamado).
- **Integración con la red de emergencias:** Este proyecto debe establecer convenios y protocolos con los organismos de emergencia locales: capitanías de puerto (autoridad marítima), SAMU (Servicio de Atención Medica de Urgencia), hospitales regionales y las propias empresas de buceo. Con el objetivo de agilizar la derivación de un buzo accidentado a la cámara.
- **Uso dual: laboral y medico general:** Si bien el objetivo principal es atender las emergencias de buceo laboral, la cámara también se aprovechará para fines médicos asistenciales más amplios en la región. Esto incluye tratamientos electivos de oxigenoterapia hiperbárica para patologías no relacionadas con el buceo, pero clínicamente beneficiadas por esta terapia (lesiones por aplastamiento, intoxicación por monóxido de carbono, heridas crónicas de difícil cicatrización, infecciones necrotizantes, injertos comprometidos, etc.). de esta forma el equipo tendrá un uso constante y mayor rentabilidad social y así no solo se esperar a las emergencias de buceo.

2.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La justificación de este proyecto se sustenta en múltiples direcciones:

Seguridad de los trabajadores, el cumplimiento legal y la responsabilidad social

- **Salvaguardar la vida y salud de los buzos:** La motivación radica en “proteger la integridad de los trabajadores”. Cada buzo que desciende a realizar labores productivas se enfrenta a riesgos específicos propios de esta actividad, por ello es totalmente necesario dotarlos de un colchón de seguridad que les permita recibir tratamiento oportuno en caso de un accidente.

En diversas fuentes se ha enfatizado en que “disponer de medicina hiperbárica en lugares extremos evitaría muerte e incapacidades en un alto porcentaje de los casos (SalmonExpert, nota de Alex Vidal, Publicado 14.01.2021).

actualmente, la ausencia de esta capacidad en Aysén y la insuficiencia en Los Lagos dejan a los buzos “más cerca de la muerte” ante un accidente (Subacuática Magazine, palabras de Juan Paillaman, quien vivió en primera persona el síndrome de descompresión, 18 octubre 2017), situación ética y humanamente inaceptable.

Este proyecto se justifica entonces como una “medida concreta para salvar vidas y reducir el sufrimiento humano, alineado con el principio fundamental de cualquier gestión de riesgos “proteger la vida de las personas”.

- **Reducción de secuelas y costos de salud:** No solo se trata de evitar muertes, sino también de prevenir las secuelas graves que actualmente sufren muchos sobrevivientes de accidentes de buceo. Un tratamiento hiperbárico administrado en las primeras horas puede marcar la diferencia entre una recuperación completa o quedar con parálisis/incapacidad permanente (SalmonExpert, nota de Alex Vidal, Publicado 14.01.2021).

Cada buzo que logra recuperarse en su totalidad es un trabajador que puede reintegrarse a sus labores y una persona que mantiene su calidad de vida, evitando además los costos a largo plazo de una discapacidad (tanto para la familia como para el sistema de salud). En términos de salud pública, es más eficiente invertir en la capacidad de respuesta local que asumir luego años de tratamientos rehabilitadores o pensiones de invalidez. Este argumento económico-sanitario justifica la

implementación del proyecto como una forma de ahorro de costos futuros y mejora en los indicadores de salud ocupacional de las regiones comprometidas.

- **Responsabilidad social empresarial e imagen de la industria:** Para las empresas salmoneras y las mutualidades involucradas, apoyar este proyecto se alinea con sus objetivos de responsabilidad social y compromiso con la seguridad. La industria salmonera ha estado bajo el ojo público por sus condiciones laborales luego de sucesos trágicos, y ha reconocido la necesidad de mejoras. Impulsar una nueva cámara hiperbárica demuestra un compromiso concreto con el cuidado de sus trabajadores y con la sustentabilidad de la actividad.
- **Apoyo al marco legal y normativo emergente:** En el Congreso Nacional se tramita un proyecto de ley para mejorar las condiciones de los buzos en materia de contratos, seguridad y salud (página Senado de la República de Chile, “Aprueban entregar mayor protección al trabajo de buzos”, 29 mayo 2025). La instalación de esta cámara anticipa y facilita el cumplimiento de eventuales nuevas exigencias legales en la industria. Esto quiere decir, si la ley llegase a requerir disponibilidad de atención hiperbárica para buzos en cierto radio o tiempo de respuesta, estaríamos adelantándonos a esa obligación.
- **Viabilidad técnica comprobada:** Otra justificación importante es que técnicamente el proyecto es perfectamente factible con la tecnología actual, no es un experimento. Las cámaras hiperbáricas modernas, como la inaugurada por la ACHS en 2023, han demostrado ser implementables en regiones como Aysén (Mundo Acuícola, “La ACHS inaugura cámara hiperbárica en la Región de Aysén, 13 octubre 2025). Existe experiencia local reciente de la que se puede aprender. La disponibilidad de profesionales capacitados, si bien es un desafío, puede abordarse mediante convenios de capacitación y contratación competitiva, aprovechando incluso las oportunidades de atraer talento joven a esta zona austral. Sumando estos factores, no hay barrera técnica insalvable: los equipos se pueden adquirir, instalar y operar con éxito. La principal barrera de él “financiamiento”, puede ser superada presentando el caso solido de costo-beneficio social.
- **Beneficios multiplicadores (Spillover):** La justificación se fortalece al considerar los beneficios adicionales o colaterales. La cámara hiperbárica no solo beneficiara a los buzos, sino también a otros pacientes tales como: pescadores artesanales con accidentes de buceo, pacientes con pie diabético u otras condiciones clínicas tratables con oxigenoterapia, turistas que buceen en la zona de forma recreativa o con fines científicos (Mundo Acuícola, “La ACHS inaugura cámara hiperbárica en la Región de Aysén, 13 octubre 2025).

2.6. **BENEFICIOS DEL PROYECTO**

La materialización de este proyecto traerá numerosos beneficios, los cuales podemos clasificarlos en dos niveles: los beneficios a nivel operativo (la gestión diaria y la seguridad de las operaciones de buceo) y los beneficios a nivel económico (en términos de costos, productividad y desarrollo regional)

2.6.1. Beneficios a nivel operativo (seguridad y eficiencia)

- **Respuesta inmediata a emergencias:** Con una cámara hiperbárica instalada en la zona en que se realizan las operaciones de buceo, los tiempos de respuesta ante un accidente de buceo se reducirán drásticamente. Actualmente un buzo con enfermedad de descompresión en Aysén podría tardar entre 6 a 10 horas, o más en iniciar un tratamiento; con el proyecto, ese lapso podría disminuir a menos de 1 hora.
- **Reducción de accidentes fatales y graves:** Aunque el objetivo principal sea el de atender los accidentes una vez ocurridos, la sola presencia de la cámara hiperbárica y el enfoque preventivo que la acompaña, contribuirían a reducir la tasa de accidentes graves. Esto porque normalmente la instalación de una cámara se acompaña de “programas de entrenamiento y concientización” en las empresas (como ya lo realiza la Mutual de Seguridad con capacitaciones preventivas en buceo) (SalmonExpert, palabras Marco Cabrera, jefe de Prevención de Riesgos de Mutual de Seguridad-Agencia Castro, nota de Alex Vidal, Publicado 14.01.2021).
- **Mejora en la moral y confianza de los trabajadores:** Saber que se cuenta con una cámara en cada operación de buceo, genera en los buzos una mayor confianza y tranquilidad para desempeñar su trabajo. La profesión de buceo ya es suficientemente estresante; eliminar la preocupación de estar desprotegidos en caso de un accidente hará que los buzos puedan enfocarse mejor en sus tareas, potencialmente mejorando su desempeño.
- **Capacidad, atención múltiple y continuidad operacional:** Con una cámara de descompresión biplaza para al menos 4 personas, las regiones comprometidas podrán afrontar incluso situaciones de accidentes múltiples (por ejemplo, dos buzos accidentados simultáneamente, o un equipo entero afectado por una descompresión rápida debido a una emergencia).

2.6.2. Beneficios a nivel económico (costo-beneficio y desarrollo)

- **Disminución de costos por accidente:** Cada accidente de buzo evitado o mitigado representa ahorros económicos significativos. El costo de la atención de un buzo con daño neurológico severo y tratamiento en Santiago, sumando la rehabilitación y la indemnización o pensión vitalicia, puede ascender a cientos de millones de pesos a lo largo de los años. En cambio, si ese buzo es tratado a tiempo y queda sin secuelas, esos costos futuros prácticamente desaparecen.
- **Mayor productividad y sostenibilidad de la industria:** Una industria con menores interrupciones por accidentes y con personal sano y confiado en que recibirá una atención médica de primer nivel, es una industria más productiva y sostenible. Si los buzos saben que cuenta con respaldo médico, posiblemente estén dispuestos a realizar jornadas y labores con confianza, lo que podría incrementar la eficiencia de las faenas (siempre manteniendo la seguridad). Además, en caso de un accidente, la posibilidad de que un buzo se recupere totalmente permite que ese capital humano especializado no se pierda; muchos buzos con años de experiencia terminan fuera del rubro tras un accidente no tratado a tiempo, lo que implica pérdida de expertise.
- **Impulso económico local y empleo :**La implementación de la cámara hiperbárica entre las regiones ya mencionadas conlleva una inversión en infraestructura y servicios que beneficiara la economía local. Durante la fase de instalación y acondicionamiento, se generará empleo para contratistas, técnicos e incluso mano de obra local. Una vez operativa, la cámara requerirá personal permanente y de apoyo, creando puestos de trabajo calificados (médicos, enfermeros y técnicos) en la región, y posiblemente sumando roles administrativos o de mantenimiento.
- **Valoración económica de la vida humana (VSL):** Desde la perspectiva socioeconómica, las metodologías de evaluación social de proyectos consideran la valoración de la “vida estadística”. Salvar la vida de los trabajadores jóvenes y productivos (como suelen ser los buzos) tiene un alto valor para la sociedad. Cada vida preservada es de un alto valor intangible enorme, aunque no se refleje en la contabilidad financiera; por lo tanto, invertir en seguridad es invertir en capital humano, de esta forma la rentabilidad social del proyecto es alta, al evitar pérdidas irreparables para familias y comunidades.

CAPITULO 3: PROPUESTA DE MEJORA

3. PROPUESTA DE MEJORA

Para abrir este capítulo, luego de haber estudiado, investigado y evaluado las diferentes cámaras, sus capacidades, y sus características se ha determinado la implementación de una cámara de descompresión hiperbárica POMMEC DDC-1600, ya que esta cumple con las necesidades técnicas y los resultados propuestos que se esperan obtener.

3.1. ENFOQUE Y ALCANCE DE LA PROPUESTA

3.1.1 Enfoque General de la Propuesta

Proponer la implementación de una cámara de descompresión hiperbárica biplaza POMMEC DDC-1600 containerizada, como solución técnica y operativa para reducir la mortalidad, las secuelas graves y los tiempos de respuesta ante los accidentes de buceo en la industria acuícola de las regiones de Los Lagos y Aysén.

Como antecedente, esta cámara de descompresión actualmente se encuentra operativa y disponible por la empresa “UnderDeep Solutions” en un trabajo en conjunto con la Armada de Chile, en la ciudad de Puerto Montt en la Región de Los Lagos. Esta, cuenta con referencias previas realizadas por personal de la Armada, con una data de aproximadamente 2 años, en el cual no ha presentado fallas críticas.



Ilustración 3- 20: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

3.1.2. Alcance de la Propuesta

- Mejorar la disponibilidad del tratamiento hiperbárico en zonas de alta actividad de buceo.
- Elevar el estándar de seguridad operacional mediante infraestructura crítica cercana a la faena.
- Asegurar la continuidad operativa del sistema mediante un plan de mantenimiento basado en criticidad (FMECA).
- Optimizar la gestión del mantenimiento respecto del plan básico indicado por el fabricante.

3.2. FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

Tal como se evidencio en el capítulo 2, la enfermedad descompresiva concentra la mayor proporción de muertes en el buceo profesional. La evidencia estadística y el análisis de Pareto demostraron que la falta de acceso oportuno a cámaras hiperbáricas es un factor crítico que agrava los desenlaces fatales.

En este contexto, la propuesta se orienta a atacar directamente la causa principal del problema mediante una solución técnica probada, normativamente aceptada y adaptable en las condiciones geográficas del sur de Chile.

3.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

La propuesta consiste en la adquisición e implementación de una cámara de descompresión hiperbárica POMMEC DDC-1600, instalada dentro de un contenedor ISO de 20 pies, diseñada para operar en condiciones industriales y climáticas adversas.



Ilustración 3- 21: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

La selección de este modelo de cámara de descompresión responde a criterios técnicos, operativos y económicos acordes a la realidad de los centros de cultivo acuícola. Frente a la cámara monoplaza, este modelo ofrece mayor seguridad, ya que permite el acompañamiento del paciente por personal capacitado durante el tratamiento y posibilita la atención simultánea de más de un buzo si fuese necesario.

En comparación con una cámara multiplaza de mayor tamaño (para tratar a más de 6 pacientes), la POMMEC DDC-1600 presenta ventajas significativas en términos de costos, facilidad de instalación y requerimientos operacionales, sin sacrificar la seguridad ni funcionalidad. Su tamaño intermedio resulta adecuado para emergencias típicas del buceo acuícola, evitando la sobredimensión de equipos que implican altos costos y mayor complejidad logística.

La solución considera:

- Uso principal en emergencias de buceo laboral.
- Disponibilidad operativa 24/7.
- Integración con la red de emergencias marítimas y sanitarias.
- Una gestión de mantenimiento estructurada.

3.4. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MODELO POMMEC DDC-1600

La selección del modelo POMMEC DDC-1600 se justifica por los siguientes criterios técnicos extraídos del documento del fabricante:

- Doble esclusa (double lock): Permite tratar pacientes sin interrumpir ciclos de presurización, aumentando la seguridad y continuidad del tratamiento.
- Presión de trabajo hasta 10 bar (configuración airdive 5 bar), compatible con protocolos clínicos y de buceo profesional.
- Construcción certificada: bajo supervisión de Lloyd's Register y conformidad CE.
- Sistema de comunicación redundante: monitoreo por video y control externo.
- Compatible con BIBS (Built-in Breathing System) y suministro de oxígeno Seguro.
- Banco de Aire HP de 12 cilindros (50 L – 300 bar), lo que otorga autonomía operacional.

3.5. CONFIGURACIÓN CONTAINERIZADA Y VENTAJAS OPERATIVAS

La cámara se instala dentro de un contenedor de 20 pies certificado ISO o DNV 2.7-1/EN 12079, lo que aporta ventajas clave:

- Protección estructural frente a condiciones ambientales extremas.

- Reducción de obras civiles.
- Facilidad de transporte y relocalización estratégica.
- Aislamiento termico y control de clima integrado.
- Mayor rapidez de puesta en marcha en comparación con soluciones hospitalarias fijas.

3.6. IDENTIFICACIÓN DE SUBSISTEMAS CRÍTICOS DE LA CÁMARA

A partir del documento técnico (Anexo), la cámara puede descomponerse en los siguientes subsistemas funcionales, base del análisis FMECA:

1.- Estructura de la cámara y esclusas.



Ilustración 3- 22: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

2.- Sistema de presurización y control de presión.

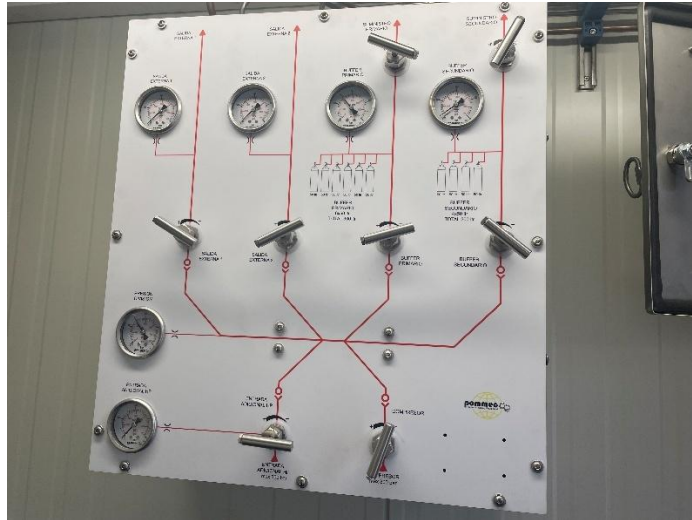


Ilustración 3- 23: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

3.- Sistema de suministro de aire y oxígeno.



Ilustración 3- 24: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

4.- Sistema eléctrico y de control



Ilustración 3- 25: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

5.- Sistema de comunicaciones y monitoreo.



Ilustración 3- 26: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

6.- Sistema de seguridad (válvulas de alivio, extintores, detección).



Ilustración 3- 27: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

7.- Sistemas auxiliares (climatización, registro de datos).

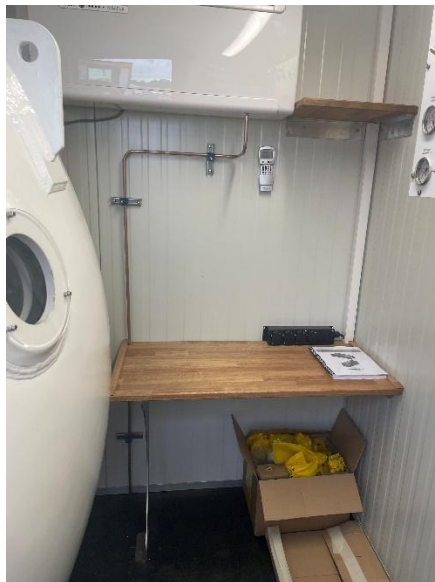


Ilustración 3- 28: Cámara Hiperbárica containerizada POMMEC DDC-1600.

Fuente: puesta en marcha de cámara por empresa UNDERDEEP SOLUTIONS.

3.7. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA)

El análisis FMECA se aplica considerando:

- Modo de falla (que pueda posiblemente fallar).
- Efecto (impacto en la seguridad, operación o paciente).
- Severidad.
- Probabilidad de ocurrencia.
- Capacidad de detección.

Tabla 3- 5: tabla de componentes críticos por prioridad.

Subsistema	Componente	Modo de Falla	Causa	S	O	D	RPN
Estructura / Casco de cámara	Casco de acero	Corrosión externa/interna progresiva	Ambiente marino, pintura dañada, humedad, mantenimiento insuficiente	9	4	6	216
	Casco de acero	Fisura en soldadura / fatiga	Ciclos de presión, defecto de soldadura, corrosión bajo tensión	10	2	7	140
Accesos y sellos	Puerta y cierre (lock)	Fuga en sello de puerta (O-ring/junta)	Desgaste, contaminantes, lubricante no compatible O2, mal cierre	8	5	4	160
	Bisagras y pestillos	Pestillo no asegura / desalineación	Desgaste, impacto, falta de lubricación, corrosión	9	3	6	162
Control de presión	Profundímetro/m anómetro	Deriva / lectura incorrecta	Descalibración, vibración, envejecimiento	10	3	6	180
	Válvulas de control	Válvula trabada (abre/cierra)	Partículas, corrosión, lubricación inadecuada	10	4	6	240
	Regulador de presión	Regulación inestable / falla	Desgaste, contaminación, daño por sobrepresión	10	3	6	180
Seguridad (sobrepresión)	Válvula(s) de alivio	Miscalibración / no abre	Falta de prueba, corrosión interna, bloqueo por partículas	10	2	8	160
	Válvula(s) de alivio	Fuga / abre antes de tiempo	Asiento dañado, suciedad	8	3	6	144
Sistema de gas (aire)	Banco aire HP (12 cil.)	Fuga en cilindro/válvula	Daño mecánico, sello defectuoso, corrosión	9	3	6	162
	Colector / manifold	Fuga en colector/conexiones	Vibración, torque inadecuado, juntas envejecidas	8	4	6	192
Sistema de gas (O2)	Línea O2 y panel	Fuga en línea de oxígeno	Junta dañada, conexión floja	10	2	7	140
	Analizador de oxígeno	Lectura errónea / sensor agotado	Sensor envejecido, falta de calibración	9	4	6	216
BIBS	Válvula aguja O2 emergencia	No abre / abre parcial	Suciedad, corrosión, daño	9	3	6	162
	Mascarillas/man gueras	Fuga / ruptura / acople falla	Desgaste, tirones, material degradado	8	4	5	160

Comunicaciones	Amcom II	Falla total de comunicación	Fuente, cableado, humedad	9	3	4	108
	Teléfonos (backup x3)	No funciona / audio deficiente	Batería, daño, humedad	7	3	5	105
Monitoreo	Cámaras de vigilancia	Pérdida de imagen	Fuente, cable, lente sucio, humedad	6	4	5	120
Registro de datos	CDRS (PC+UPS)	PC se cuelga / no registra	Software, SSD, fallo de energía	5	4	6	120
	CDRS (transductores presión)	Sensor de presión falla	Descalibración, daño eléctrico	7	3	5	105
	CDRS (sensores T/H)	Sensor fuera de rango	Condensación, envejecimiento	4	4	6	96
Eléctrico	Alimentación 240V AC	Corte de energía externa	Falla red, generador no disponible	8	3	6	144
	Luces emergencia	No encienden	Batería agotada, falla luminaria	6	3	6	108
Climatización	Split unit / clima dual	No enfría/calienta	Fuga refrigerante, filtro sucio, falla compresor	5	5	5	125
	Calefactor cámara	No calienta / queda encendido	Falla control, relé, resistencia	6	3	6	108
Seguridad incendio	Extintores hiperbáricos	Extintor descargado/expirado	Falta de inspección, uso previo	10	2	5	100
	Aspersores contenedor	No descarga / obstrucción	Corrosión, obstrucción, válvula cerrada	9	2	7	126
Seguridad operador	Respiración autónoma operador	Sin carga / falla máscara	Cilindro vacío, mangueras dañadas	8	2	6	96
Contenedor	Panel penetración	Fuga en penetración / sellado	Sello degradado, vibración	6	4	6	144
	Puerta emergencia	No abre / se traba	Corrosión, desalineación	8	2	6	96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3- 6: tabla de criterios para calculo RPN

Criterio	escala 1-10 para calculo de Numero de Prioridad de riesgo (RPN)
Severidad (S)	1= efecto menor; 5= interrupcion/lesion leve o fallo mayor; 10=catastrofico (muerte/incendio/ruptura)
Ocurrencia (O)	1= muy raro; 3= ocasional; 5= moderado; 8= frecuente; 10= muy frecuente
Detección (D)	1= se detecta casi siempre; 5= a veces; 8= dificil; 10 = casi no detectable

Fuente: Elaboración propia.

Cada modo de falla fue evaluado mediante tres criterios:

- Severidad (S): Impacto del modo de falla sobre la seguridad, la salud del paciente y la integridad del sistema.
- Ocurrencia (O): probabilidad de que el modo de falla se materialice durante la operación.
- Detección (D): capacidad de los controles existentes para detectar el modo de falla antes de que genere consecuencias.

A partir de estos criterios se calculó el Numero de Prioridad de riesgo (RPN), definido como:

$$\text{RPN} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D}$$

Los modos de falla críticos identificados fueron:

- Fallas en las válvulas de alivio al estar expuestas a bruscos cambios de presión, a la temperatura ambiental, y humedad tanto exterior como interior del sistema.
- Error en la medición de presión por falla en manómetros (des calibración).
- Interrupción del suministro de oxígeno.
- Fallas eléctricas durante el ciclo del tratamiento.
- Perdidas de comunicación operador – paciente.

Estos modos presentan alta severidad, ya que pueden comprometer la vida del buzo accidentado o generar eventos no deseados dentro de un entorno hiperbárico por lo que requieren estrategias de mantenimiento reforzadas.

3.8. ANÁLISIS DE CRITICIDAD MEDIANTE DIAGRAMA DE PARETO (ENFOQUE EN EL MANTENIMIENTO)

A diferencia del primer diagrama presentado en el capítulo 2, aquí se aplica un Diagrama de Pareto de Criticidad de Fallas, con la finalidad de identificar que subsistemas concentran el mayor riesgo para la seguridad del paciente y la disponibilidad de la Cámara.

Tabla 3- 7: tabla de componentes críticos por prioridad.

ITEM	ID	subsistema	modo de falla	RPN	% RPN	% Acumulado	80/20
1	FM-06	Control de presión	Válvula trabada (abre/cierra)	240	5,56	5,56	Prioridad 1 (≈80%)
2	FM-01	Estructura / Casco de cámara	Corrosión externa/interna progresiva	216	5,01	10,57	Prioridad 1 (≈80%)
3	FM-13	Sistema de gas (O2)	Lectura errónea / sensor agotado	216	5,01	15,57	Prioridad 1 (≈80%)
4	FM-11	Sistema de gas (aire)	Fuga en colector/conexiones	192	4,45	20,02	Prioridad 1 (≈80%)
5	FM-05	Control de presión	Deriva / lectura incorrecta	180	4,17	24,19	Prioridad 1 (≈80%)
6	FM-07	Control de presión	Regulación inestable / falla	180	4,17	28,37	Prioridad 1 (≈80%)
7	FM-04	Accesos y sellos	Pestillo no asegura / desalineación	162	3,75	32,12	Prioridad 1 (≈80%)
8	FM-10	Sistema de gas (aire)	Fuga en cilindro/válvula	162	3,75	35,87	Prioridad 1 (≈80%)
9	FM-14	BIBS	No abre / abre parcial	162	3,75	39,63	Prioridad 1
10	FM-03	Accesos y sellos	Fuga en sello de puerta (O-ring/junta)	160	3,71	43,34	Prioridad 1 (≈80%)
11	FM-08	Seguridad (sobrepresión)	Miscalibración / no abre	160	3,71	47,05	Prioridad 1 (≈80%)
12	FM-15	BIBS	Fuga / ruptura / acople falla	160	3,71	50,75	Prioridad 1 (≈80%)
13	FM-09	Seguridad (sobrepresión)	Fuga / abre antes de tiempo	144	3,34	54,09	Prioridad 1 (≈80%)
14	FM-22	Eléctrico	Corte de energía externa	144	3,34	57,43	Prioridad 1
15	FM-29	Contenedor	Fuga en penetración / sellado	144	3,34	60,76	Prioridad 1 (≈80%)

16	FM-02	Estructura / Casco de cámara	Fisura en soldadura / fatiga	140	3,24	64,01	Prioridad 1 (≈80%)
17	FM-12	Sistema de gas (O2)	Fuga en línea de oxígeno	140	3,24	67,25	Prioridad 1 (≈80%)
18	FM-27	Seguridad incendio	No descarga / obstrucción	126	2,92	70,17	Prioridad 1 (≈80%)
19	FM-24	Climatización	No enfría/calienta	125	2,9	73,07	Prioridad 1
20	FM-18	Monitoreo	Pérdida de imagen	120	2,78	75,85	Prioridad 1
21	FM-19	Registro de datos	PC se cuelga / no registra	120	2,78	78,63	Prioridad 1 (≈80%)
22	FM-16	Comunicaciones	Falla total de comunicación	108	2,5	81,14	Prioridad 2 (80-95%)
23	FM-23	Eléctrico	No encienden	108	2,5	83,64	Prioridad 2 (80-95%)
24	FM-25	Climatización	No calienta / queda encendido	108	2,5	86,14	Prioridad 2 (80-95%)
25	FM-17	Comunicaciones	No funciona / audio deficiente	105	2,43	88,57	Prioridad 2 (80-95%)
26	FM-20	Registro de datos	Sensor de presión falla	105	2,43	91,01	Prioridad 2 (80-95%)
27	FM-26	Seguridad incendio	Extintor descargado/expirado	100	2,32	93,33	Prioridad 2 (80-95%)
28	FM-21	Registro de datos	Sensor fuera de rango	96	2,22	95,55	Prioridad 3 (95-100%)
29	FM-28	Seguridad operador	Sin carga / falla máscara	96	2,22	97,78	Prioridad 3 (95-100%)
30	FM-30	Contenedor	No abre / se trava	96	2,22	100	Prioridad 3 (95-100%)

Fuente: Elaboración propia.

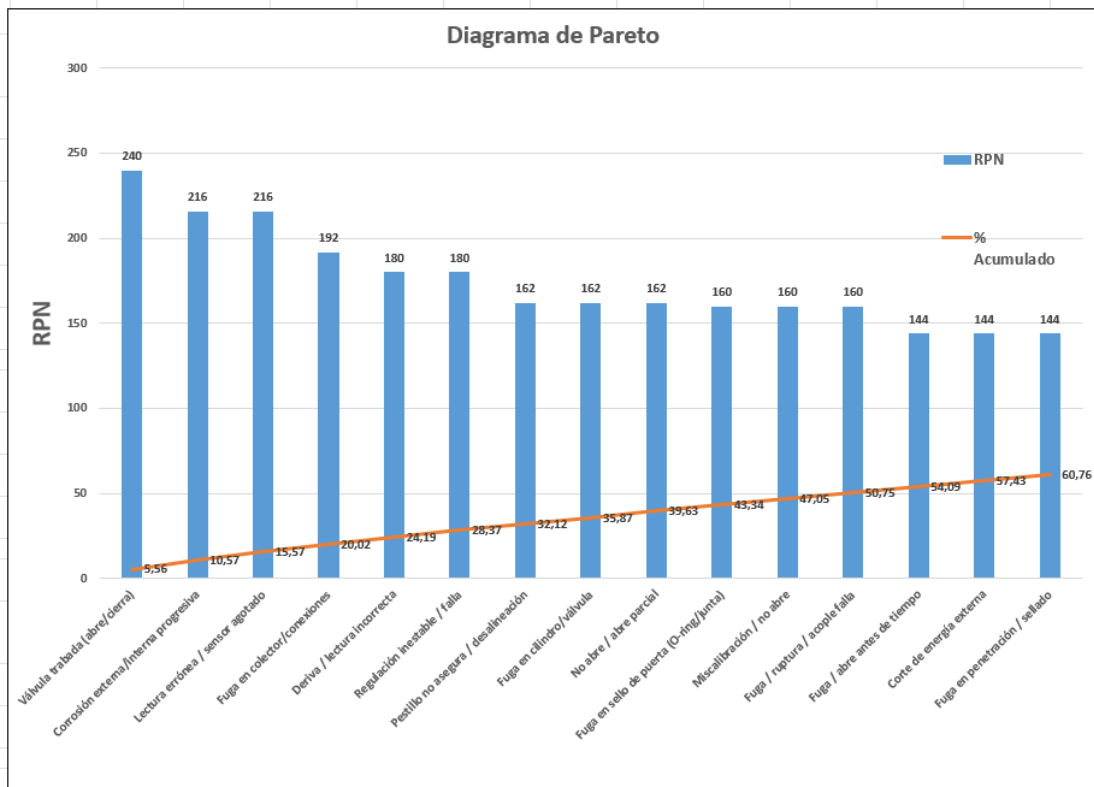


Ilustración 3- 29: Diagrama de Pareto por criticidad de componentes.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3- 8: tabla de criticidad total por subsistemas.

Subsistema	RPN total	% del total
Control de presión	600	13,9
Estructura / Casco de cámara	356	8,25
Sistema de gas (O2)	356	8,25
Sistema de gas (aire)	354	8,2
Accesos y sellos	322	7,46
BIBS	322	7,46
Registro de datos	321	7,44
Seguridad (sobrepresión)	304	7,05
Eléctrico	252	5,84
Contenedor	240	5,56
Climatización	233	5,4
Seguridad incendio	226	5,24
Comunicaciones	213	4,94
Monitoreo	120	2,78
Seguridad operador	96	2,22

Fuente: Elaboración propia.

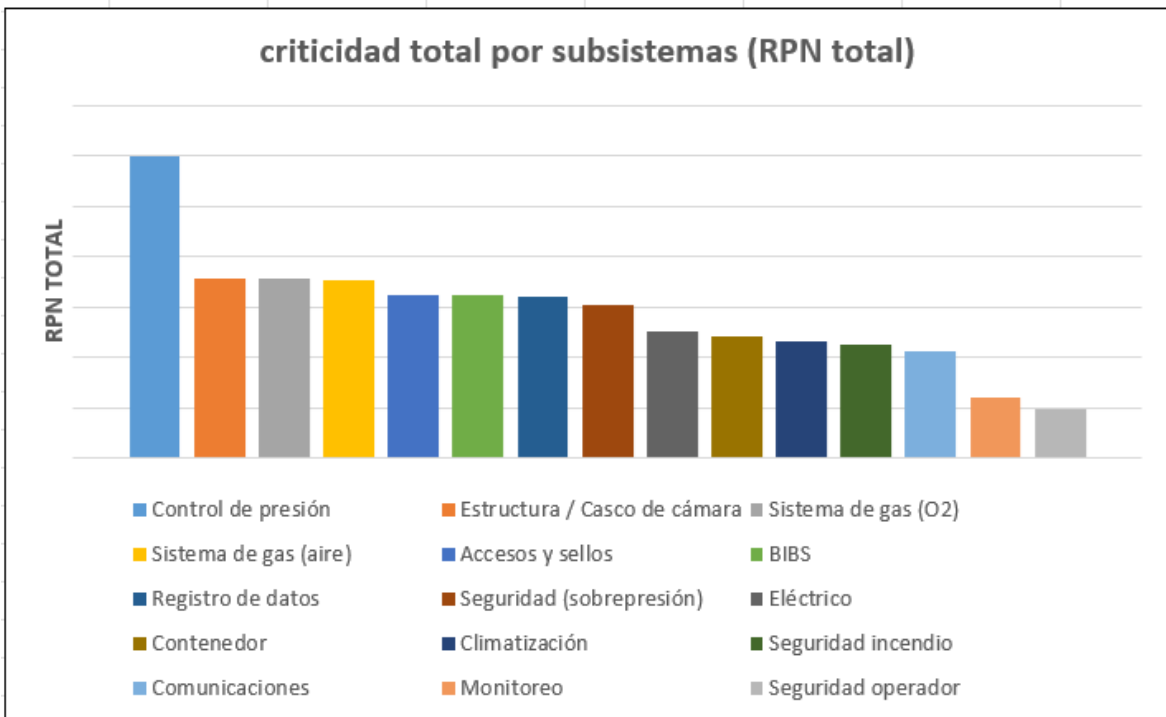


Ilustración 3- 30: Grafica de criticidad total por subsistemas.

Fuente: elaboración propia.

De este análisis obtenemos los siguientes resultados:

- Un número reducido de subsistemas (presión, oxígeno, control y seguridad) concentra la mayor parte del riesgo.
- No todos los componentes requieren el mismo nivel de mantenimiento.
- La priorización permite enfocar recursos donde el impacto es mayor.

Como resultado obtenemos que, técnicamente mediante la aplicación de un mantenimiento según criticidad, superamos el enfoque genérico del plan básico que se ofrece como servicio

3.9. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN FMECA

Limitaciones del plan básico del fabricante (anexos)

El plan incluido:

- Se basa principalmente en inspecciones periódicas y listas del chequeo.
- No prioriza por criticidad.
- No diferencia impacto en seguridad vs. Disponibilidad.
- Es reactivo en algunos aspectos.

Plan de mantenimiento propuesto

La propuesta introduce:

- Mantenimiento preventivo priorizado por criticidad.
- Mantenimiento predictivo en componentes críticos (presión, válvulas, sensores).
- Pruebas funcionales periódicas de sistemas de seguridad.
- Mantenimiento normativo alineado con DIRECTEMAR y estándares internacionales.
- Registro histórico para análisis de tendencia.

3.10. COMPARACIÓN: PLAN BÁSICO VS. PLAN PROPUESTO

Tabla 3- 9: tabla de comparación plan básico vs. Plan propuesto.

Aspecto	Plan básico fabricante	Plan propuesto
Enfoque	Genérico	Basado en criticidad
Priorización	No explícita	Pareto + FMECA
Seguridad	Implícita	Central
Disponibilidad	Reactiva	Proactiva
Gestión	Checklist	Ingeniería en mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia.

3.11. BENEFICIOS TÉCNICOS DE LA PROPUESTA

- Mayor seguridad para el paciente y el operador.
- Reducción del riesgo de fallas durante tratamientos.
- Aumento de disponibilidad operativa.
- Cumplimiento anticipado de exigencias legales.
- Optimización del costo del ciclo de vida del equipo.

3.12. CIERRE DEL CAPITULO

La implementación de la cámara POMMEC DC-1600, complementada con un plan de mantenimiento basado en FMECA, constituye una propuesta de mejora técnica, operativa y socialmente justificada, que conecta directamente la problemática detecta con una solución concreta y sostenible.

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 SUPUESTOS GENERALES DE EVALUACIÓN

La evaluación económica del proyecto se realiza bajo los siguientes supuestos:

- Horizonte de evaluación: 5 años
- Tasa de descuento: 10 % anual
- Moneda de análisis: pesos Chilenos (CLP)
- Enfoque de evaluación: costos evitados y costos operacionales
- Vida útil técnica del equipo: superior a 10 años

Este horizonte se considera conservador, dado que la vida útil esperada de una cámara hiperbárica correctamente mantenida supera ampliamente el período evaluado.

4.2 INVERSIÓN INICIAL (CAPEX)

Tabla 4- 10: Inversión inicial (CAPEX).

Concepto	Costo estimado (CLP)
Cámara hiperbárica biplaza POMMEC DDC-1600	\$380.000.000
Transporte, internación e impuestos	\$25.000.000
Infraestructura containerizada y base	\$35.000.000
Sistemas auxiliares (compresores, botellas, paneles)	\$30.000.000
Certificaciones, permisos y puesta en marcha	\$20.000.000
Inversión Inicial Total	\$490.000.000

Fuente: Elaboración Propia

4.3 COSTOS OPERACIONALES ANUALES (OPEX)

Tabla 4- 11: Costos Operacionales Anuales (OPEX).

Concepto	Costo anual (CLP)
Personal operador y turnos	\$60.000.000
Oxígeno medicinal e insumos	\$15.000.000
Energía eléctrica	\$8.000.000
Mantenimiento preventivo y repuestos	\$12.000.000
Seguros, calibraciones y recertificaciones	\$5.000.000
Costo Operacional Anual	\$100.000.000

Fuente: Elaboración Propia

4.4 COSTOS EVITADOS POR ACCIDENTES DE BUCEO

Los beneficios económicos del proyecto se estiman a partir de los costos evitados por accidentes de buceo, los cuales incluyen indemnizaciones, gastos médicos, sanciones administrativas, paralización de faenas y daños reputacionales.

De acuerdo con antecedentes del sector acuícola, el costo promedio de un accidente grave con invalidez se estima en **\$120.000.000 CLP**, mientras que un accidente fatal puede alcanzar los **\$250.000.000 CLP** (Mundo Acuícola, 2025).

Considerando un escenario conservador, se asume que la implementación de la cámara permite evitar anualmente dos accidentes graves y un accidente fatal distribuido en el período de evaluación, lo que genera un beneficio económico anual estimado de **\$290.000.000 CLP**

Beneficio económico anual estimado:

$$(2 \times 120.000.000) + (250.000.000/5) = 240.000.000 + 50.000.000 \\ = 290.000.000 \text{ CLP/año}$$

4.5 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO (5 AÑOS)

Tabla 4- 12: Flujo de caja del proyecto (5 años).

Año	Beneficios (CLP)	Costos OPEX (CLP)	Flujo Neto (CLP)
0	0	-490.000.000	-490.000.000
1	290.000.000	100.000.000	190.000.000
2	290.000.000	100.000.000	190.000.000
3	290.000.000	100.000.000	190.000.000
4	290.000.000	100.000.000	190.000.000
5	290.000.000	100.000.000	190.000.000

Fuente: Elaboración Propia.

4.6 INDICADORES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

Valor Actual Neto (VAN):

$$VAN = -490.000.000 + \sum_{t=1}^5 \frac{190.000.000}{(1 + 0,10)^t}$$

VAN \aprox +\$229.000.000

Tasa Interna de Retorno (TIR):

$$TIR \approx 27\%$$

Período de Recuperación de la Inversión (Payback):

$$490.000.000 / 190.000.000 \approx 2,6 \text{ años}$$

4.7 EVALUACIÓN SOCIAL Y ESTRATÉGICA

Desde una perspectiva social, el proyecto contribuye de manera directa a la protección de la vida y la salud de los buzos profesionales, reduciendo la probabilidad de invalidez permanente y fallecimientos laborales. Asimismo, genera impactos positivos en las comunidades locales, al disminuir la carga social y económica asociada a accidentes graves en zonas aisladas.

En términos estratégicos, la implementación de la cámara fortalece la responsabilidad social empresarial, mejora la imagen corporativa de las empresas del sector y permite anticiparse a futuras exigencias normativas en materia de seguridad laboral.

4.8 CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO

En función del análisis técnico, operativo, económico y social realizado a largo de este proyecto, se concluye que el proyecto es técnicamente viable, económicamente rentable y socialmente necesario. Los resultados obtenidos demuestran que la adquisición e implementación de una cámara de descompresión biplaza en la zona acuícola del sur de Chile, constituye una inversión justificada y sostenible en el tiempo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo permitió concluir que la implementación de una cámara de descompresión biplaza en centros de cultivo acuícola de las regiones de Los Lagos y Aysén es una solución técnica y operativamente viable frente a la actual problemática del buceo profesional. La falta de acceso oportuno a tratamiento hiperbárico ha sido un factor relevante a la ocurrencia de secuelas graves y muertes por enfermedad descompresiva, situación que justifica la necesidad de contar con este tipo de infraestructura cercana a las zonas de operación.

La selección de una cámara hiperbárica biplaza containerizada se adapta adecuadamente a las condiciones geográficas del sur de Chile, permitiendo una respuesta más rápida ante emergencias y un mejor aprovechamiento del equipo mediante su uso dual. Asimismo, el análisis FMECA y el Diagrama de Pareto evidenciaron que un número reducido de fallas concentra la mayor criticidad del sistema, lo que respalda la implementación de un plan de mantenimiento basado en criticidad para asegurar su disponibilidad y seguridad operativa.

Desde el punto de vista económico, el proyecto resulta sostenible en el tiempo, considerando los costos evitados asociados a accidentes graves y la mejora en la continuidad operacional. En consecuencia, se valida la hipótesis planteada en este trabajo.

Se recomienda a las empresas salmoneras evaluar la instalación de cámaras hiperbáricas en ubicaciones estratégicas, con el fin de reducir los tiempos de respuesta ante emergencias de buceo. Del mismo modo, es fundamental acompañar la implementación del equipo con un plan de mantenimiento estructurado y con personal debidamente capacitado, además de fortalecer la coordinación entre empresas, autoridad marítima y servicios de salud para una atención oportuna y eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Anebp.* (15 de Abril de 2008). Obtenido de Anebp: https://anebp.org/app/subidas/Manual_US_NAVY_rev6_espa%C3%B1ol_castellano_2008-2016-11-22.pdf
- Aqua* . (14 de marzo de 2007). Obtenido de Aqua : <https://www.aqua.cl/se-necesitan-mas-camaras-hiperbaricas-en-la-zona-sur/>
- Aqua.* (16 de Marzo de 2011). Obtenido de Aqua: <https://www.aqua.cl/ayseninos-ya-cuentan-con-su-primera-camara-hiperbarica/#:~:text=El%20gerente%20general%20de%20la,para%20hacer%20realidad%20este%20proyecto>
- DIRECTEMAR.* (6 de Enero de 2014). Obtenido de DIRECTEMAR: https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20170308/20170308093133/tm_035.pdf
- Garcés, J. (23 de Agosto de 2024). *salmonexpert*. Obtenido de salmonexpert: <https://www.salmonexpert.cl/buceo-buzo-buzos/la-tasa-de-accidentabilidad-de-los-buzos-en-la-salmonicultura-hoy-es-baja/1811577#:~:text=Si%20se%20observan%20las%20cifras%2C,presenta%20mejoras%20todav%C3%ADa%20m%C3%A1s%20auspiciosas>
- Healthwise, P. d. (29 de Septiembre de 2025). *Cigna*. Obtenido de Cigna: <https://www.cigna.com/es-us/knowledge-center/hw/temas-de-salud/lesiones-por-presin-en-el-buceo-abo0894#:~:text=El%20tratamiento%20principal%20para%20el,tan%20pronto%20como%20sea%20posible>
- Hernández , M., Hernández , L., Aragón, P., García, M., Callaved, E., & Adelantado, C. (16 de Septiembre de 2024). *Revista sanitaria de investigacion*. Obtenido de <https://revistasanitariadeinvestigacion.com/la-oxigenoterapia-hiperbarica/>
- Marinevision.* (Junio de 2025). Obtenido de Marinevision: https://marinevision.es/wp-content/uploads/2025/06/Catalogo-General-2025-V1.0-Junio_2025.pdf
- Materialpreventivo ACHS.* (s.f.). (F. K. F., Productor) Obtenido de Materialpreventivo ACHS: https://materialpreventivo.achs.cl/docs/librariesprovider16/default-document-library/faenas-de-buceo.pdf?sfvrsn=f4908039_2#:~:text=de%20salmones%2C%20se%20pudo%20concluir,excesivamente%20seguras%20que%20pueden%20ignorarse
- Miguel Camus, J. S. (3 de marzo de 2018). *Instituto de Salud Publica Chile*. Obtenido de Instituto de Salud Publica Chile: <https://www.ispch.cl/sites/default/files/resolucion/2018/08/Resoluci%C3%B3n%20Exenta%20N%C2%B01956%2003.08.2018.pdf>

Mundoacuicola. (24 de Octubre de 2023). Obtenido de *Mundoacuicola*:
[https://www.mundoacuicola.cl/new/opinion-la-tragedia-de-los-buzos-en-la-salmonicultura-](https://www.mundoacuicola.cl/new/opinion-la-tragedia-de-los-buzos-en-la-salmonicultura-chilena/#:~:text=%C2%ABTambi%C3%A9n%20han%20existido%20m%C3%BAI%20tiples%20esfuerzos,fatales%20estad%C3%ADsticas%20de%20la%20actividad%C2%BB)

[chilena/#:~:text=%C2%ABTambi%C3%A9n%20han%20existido%20m%C3%BAI%20tiples%20esfuerzos,fatales%20estad%C3%ADsticas%20de%20la%20actividad%C2%BB](https://www.mundoacuicola.cl/new/opinion-la-tragedia-de-los-buzos-en-la-salmonicultura-chilena/#:~:text=%C2%ABTambi%C3%A9n%20han%20existido%20m%C3%BAI%20tiples%20esfuerzos,fatales%20estad%C3%ADsticas%20de%20la%20actividad%C2%BB)

Mundoacuicola. (25 de Julio de 2025). Obtenido de *Mundoacuicola*:
[https://www.mundoacuicola.cl/new/mueren-dos-buzos-en-una-semana-en-labores-ligadas-a-centros-de-](https://www.mundoacuicola.cl/new/mueren-dos-buzos-en-una-semana-en-labores-ligadas-a-centros-de-cultivo/#:~:text=Entre%202004%20y%202022%20se,el%20jueves%2024%20de%20julio)

[cultivo/#:~:text=Entre%202004%20y%202022%20se,el%20jueves%2024%20de%20julio](https://www.mundoacuicola.cl/new/mueren-dos-buzos-en-una-semana-en-labores-ligadas-a-centros-de-cultivo/#:~:text=Entre%202004%20y%202022%20se,el%20jueves%2024%20de%20julio)

Oliva, P. P. (13 de mayo de 2021). *subaquaticamagazine*. Obtenido de *subaquaticamagazine*:
[https://www.subaquaticamagazine.es/las-empresas-de-buceo-comercial-luchan-](https://www.subaquaticamagazine.es/las-empresas-de-buceo-comercial-luchan-contra-la-alarante-sequia-en-chile/#:~:text=Chile%20es%20posiblemente%20el%20pa%C3%ADs,distribuidos%20en%20diferentes%20sectores%20econ%C3%B3micos)

[contra-la-alarante-sequia-en-chile/#:~:text=Chile%20es%20posiblemente%20el%20pa%C3%ADs,distribuidos%20en%20diferentes%20sectores%20econ%C3%B3micos](https://www.subaquaticamagazine.es/las-empresas-de-buceo-comercial-luchan-contra-la-alarante-sequia-en-chile/#:~:text=Chile%20es%20posiblemente%20el%20pa%C3%ADs,distribuidos%20en%20diferentes%20sectores%20econ%C3%B3micos)

Subaquaticamagazine, P. (18 de Octubre de 2017). *Subaquaticamagazine*. Obtenido de *Subaquaticamagazine*:
[https://www.subaquaticamagazine.es/cierre-la-camara-](https://www.subaquaticamagazine.es/cierre-la-camara-hiperbarica-aysen-preocupa-los-buzos-profesionales-chile/#:~:text=El%20cese%20de%20funcionamiento%20estar%C3%ADa,v%C3%ADa%20mar%C3%ADtima%20es%20casi%20imposible%E2%80%9D)

[hiperbarica-aysen-preocupa-los-buzos-profesionales-chile/#:~:text=El%20cese%20de%20funcionamiento%20estar%C3%ADa,v%C3%ADa%20mar%C3%ADtima%20es%20casi%20imposible%E2%80%9D](https://www.subaquaticamagazine.es/cierre-la-camara-hiperbarica-aysen-preocupa-los-buzos-profesionales-chile/#:~:text=El%20cese%20de%20funcionamiento%20estar%C3%ADa,v%C3%ADa%20mar%C3%ADtima%20es%20casi%20imposible%E2%80%9D)

Vidal, A. (14 de enero de 2021). *salmonexpert*. Obtenido de *salmonexpert*:
[https://www.salmonexpert.cl/acuicultura-acuicola-buceo/mutual-de-seguridad-](https://www.salmonexpert.cl/acuicultura-acuicola-buceo/mutual-de-seguridad-advierte-falta-de-profesionales-para-operar-camaras-hiperbaricas/1287350)

[advierte-falta-de-profesionales-para-operar-camaras-hiperbaricas/1287350](https://www.salmonexpert.cl/acuicultura-acuicola-buceo/mutual-de-seguridad-advierte-falta-de-profesionales-para-operar-camaras-hiperbaricas/1287350)

ANEXOS

ANEXOS 1

ASesoría JURÍDICA

RAM/TSO

1
ACTUALIZA GUÍA PARA LA FABRICACIÓN, INSTALACIÓN Y MANTENCIÓN DE CÁMARAS HIPERBÁRICAS MULTIPLAZA UTILIZADAS PARA LA RECOMPRESIÓN DE SUPERFICIE ASOCIADA AL BUCEO PROFESIONAL.

001956 03.08.2018

RESOLUCIÓN EXENTA N° _____/

SANTIAGO,

VISTOS: estos antecedentes; providencia interna N° 1663, de 17 de julio de 2018, de la Jefatura de Asesoría Jurídica; memorando N° 212, de 6 de julio de 2018, de la Jefatura del Departamento Salud Ocupacional; la Guía para la Fabricación, Instalación y Mantenimiento de Cámaras Hiperbáricas Multiplaza utilizadas para la Recompresión de Superficie asociada al Buceo Profesional; y

CONSIDERANDO:

PRIMERO: Que, mediante la Resolución Exenta N° 861, de 11 de marzo de 2015, el Instituto de Salud Pública de Chile aprobó la Guía para la Fabricación, Instalación y Mantenimiento de Cámaras Hiperbáricas Multiplaza utilizadas para el tratamiento de Lesiones y enfermedades asociadas al buceo, elaborada por el Departamento de Salud Ocupacional de este Servicio.

SEGUNDO: Que, el Departamento de Salud Ocupacional ha revisado y actualizado el documento de referencia, atendido el actual estado en la fabricación, instalación y mantenimiento de cámaras hiperbáricas multiplaza utilizada para el tratamiento de lesiones y enfermedades asociadas al buceo.

TERCERO: Que, en consecuencia, y en mérito de lo expuesto:
y

TENIENDO PRESENTE lo dispuesto en la Ley N° 19.880, que establece Bases de Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado; en los artículos 60° y 61° letra a) del Decreto con Fuerza de Ley número 1, de 2005, que fija el texto refundida, coordinado y sistematizado del Decreto Ley número 2.763, de 1979 y de las Leyes números 18.933 y 18.469; en el artículo 10° letra a) del Decreto Supremo N° 1.222 de 1996, de la misma Secretaría de Estado, que aprueba el Reglamento del Instituto de Salud Pública; y en el Decreto N° 54, de 2018, de Ministerio de Salud, dicto la siguiente

R E S O L U C I Ó N:

1.- ACTUALÍZASE y APRUÉBASE la nueva GUÍA PARA LA FABRICACIÓN, INSTALACIÓN Y MANTENCIÓN DE CÁMARAS HIPERBÁRICAS MULTIPLAZA UTILIZADAS PARA LA RECOMPRESIÓN DE SUPERFICIE ASOCIADA AL BUCEO PROFESIONAL, elaborado por el Departamento Salud Ocupacional del Instituto de Salud Pública de Chile, en el siguiente tenor:

"EDITOR RESPONSABLE:

Miguel Camus, Jefe Sección Tecnologías en el Trabajo

ANEXO 2

La accidentabilidad de los buzos en la salmonicultura:

Actualización de la estadística

Autor	Resumen
Leonardo Arancibia Jeraldo Email larancibia@bcn.cl Tel.: (56) 32 226 3197	<p>El buceo ha sido calificado por la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS) como la actividad de mayor riesgo en la salmonicultura, especialmente porque no se respetan los límites de profundidad, están expuestos a factores climáticos adversos y porque además de acuerdo a la SUSESO hay condiciones complejas de vida de los buzos con condiciones físicas inadecuadas por un nivel de sobrepeso muy elevado, llegando a ser casi el doble de la prevalencia nacional lo que es un factor de riesgo de accidentes.</p>
Comisión Documento elaborado para la Comisión Intereses Marítimos Pesca y Acuicultura del Senado.	<p>Analizando específicamente los accidentes que ocurren en la actividad de cultivo de salmónidos, la estadística de DIRECTEMAR da cuenta que la matrícula con mayor accidentabilidad sigue siendo la del buzo mariscador básico con un promedio de 9 accidentes. Hay que señalar que este promedio en los últimos 4 años es superior al del periodo total (por datos parciales no se considera 2023).</p> <p>En relación con la gravedad de los accidentes en esta actividad, en promedio los accidentes leves son 5 al año y los accidentes graves son 6 al año. En el caso de los resultados de muerte en promedio la estadística señala 2 al año.</p>
N° SUP: 138564	<p>A partir de 2021 Salmonchile y el Consejo del Salmón ha desarrollado estándares de seguridad voluntarios los cuales buscan establecer medidas y acciones concretas para la protección de los trabajadores del buceo, para prevenir accidentes y enfermedades profesionales, a través del cumplimiento voluntario de una serie de medidas complementarias a la normativa vigente en materias de seguridad, salud e higiene ocupacional en faenas de buceo en centros de producción de salmónes buscando así la estandarización de actividades, equipamiento, dotaciones y procedimientos que deberán considerar los centros, tanto para trabajadores internos como subcontratados, instaurando una base común que contribuya a mejorar el desempeño, evitar incumplimientos normativos y otorgar buenas condiciones a los buzos para realizar sus actividades.</p>

Introducción

A petición del usuario, este documento se enfoca en entregar la información disponible sobre la accidentabilidad de los buzos en la salmonicultura.

En el desarrollo de esta investigación se utilizaron las Estadísticas de la Autoridad Marítima, y para dar un marco se consideró información de la Organización Internacional del Trabajo (OIT).

ANEXO 3ORDINARIA/PERMANENTE
CIRCULAR A-42/002ARMADA DE CHILE
DIRECCIÓN GENERAL DEL TERRITORIO
MARÍTIMO Y DE MARINA MERCANTE

D.G.T.M. y M.M. ORDINARIO N° 8330/1 VRS.

REGULA MATERIAS COMPLEMENTARIAS AL
REGLAMENTO DE BUCEO PARA BUZOS
PROFESIONALES, SOBRE BUCEO EN MATERIAS DE
ACTIVIDAD SUBACUÁTICA, EMPLEANDO AIRE
COMO MEDIO RESPIRATORIO.

VALPARAÍSO, 02 de Junio del 2006.

VISTO: lo dispuesto en los artículos 201, 202, 305, 509, 602, 801 y 901 del Reglamento de Buceo para Buzos Profesionales, aprobado por D.S. (M) N° 752 de 1982; modificado por el D.S. (M) N° 11, de fecha 14 de Enero del 2005, considerando el desarrollo exponencial de la actividad del buceo profesional, el mejoramiento tecnológico de los materiales y equipamiento de buceo; las disposiciones de operación y seguridad establecidas para el buceo en el Manual de Buceo de la Marina de EEUU., la Asociación Internacional de Empresas Contratistas de Buceo Comercial (A.D.C.I.); el Código de Seguridad para Sistemas de Buceo aprobado por Resolución de la Organización Marítima Internacional (O.M.I.) A.536 (13), de fecha 17 de Noviembre de 1983 y la necesidad de actualizar y complementar las diferentes materias que regulan la actividad del buceo en Chile,

RESUELVO:

APRUÉBASE la Circular DGTM. y MM. Ord. N° A-42/002 de esta fecha, que regula las materias que se indican para actividades de Buceo Profesional:

- Anexo A: Clasificación, Descripción, Limitaciones de Profundidad, Uso e Inspección de Equipos de Buceo Profesional, que emplean aire como medio respiratorio.
- Anexo B: Personal Mínimo para realizar Trabajos de Buceo Profesional, empleando aire como medio respiratorio.
- Anexo C: Materias de Exámenes y Demostraciones Prácticas, empleando aire como medio respiratorio.
- Anexo D: Solicitud para Trabajos de Buceo Profesional, empleando aire como medio respiratorio.

ORDINARIA/PERMANENTE
CIRCULAR A-42/002

IV.- USO DE CÁMARA HIPERBÁRICA.

Para buceos sobre 40 mts., se debe disponer de una cámara hiperbárica de doble esclusa, a no más de 500 mts., del lugar de buceo, la que deberá encontrarse fiscalizada por la Autoridad Marítima, debiendo cumplir con lo dispuesto en la Guía para la Fabricación, Instalación y Mantenimiento de Cámaras Hiperbáricas y en el Protocolo de Vigilancia para Trabajadores/as Expuestos a Condiciones Hiperbáricas.

V.- TRABAJOS DE BUCEO ESPECIALES.

- A.- Los trabajos que incluyan corte y soldadura submarina, empleo de herramientas eléctricas y/o hidroneumáticas, remachadores submarinos y otros similares, no podrán ser desarrollados por Buzos Mariscadores Básicos, Intermedios y Especialistas, acorde a lo estipulado en el Art. 104, letras g) y h) del Reglamento de Buzos para Buzos Profesionales.
- B.- Los trabajos con empleo de explosivos podrán ser desarrollados exclusivamente por Buzos Comerciales los que deberán contar con la autorización de la Dirección General de Movilización Nacional, acorde a lo estipulado en los artículos 2 y 4 del D.L. (G) N° 17.798 de 1972.

IV.- INSPECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE BUCEO PROFESIONAL.

Antes de autorizar su operación, todo equipo de buceo, deberá ser sometido a un proceso de inspección, de acuerdo al siguiente procedimiento:

A.- Inspección inicial.

Antes de autorizar el funcionamiento de un equipo nuevo y/o usado que no haya sido utilizado en Chile, deberá ser inspeccionado por la Autoridad Marítima para acreditar las condiciones de calidad, estado del equipo y que cumple las especificaciones técnicas indicadas en la presente Circular, lo que podrá materializarse de la siguiente forma:

- 1.- Con un certificado emitido por el fabricante del equipo de buceo u autoridad reconocida por la Autoridad Marítima.
- 2.- Con los certificados de los fabricantes de las partes y piezas de buceo que componen el equipo.
- 3.- Con pruebas de materiales que realice la Comisión Revisora de Equipos.

Además de las exigencias mencionadas precedentemente, se efectuará una prueba sistémica de operación y funcionamiento del equipo.

ANEXO 4“Cuestionario a personal del area de buceo”

Tema: Percepción sobre la necesidad y utilidad de cámaras hiperbáricas en la industria salmonera.

Instrucciones

Estimado profesional y buzo/a, este cuestionario forma parte de una investigación académica cuyo objetivo es evaluar la necesidad, implementación y beneficios de contar con una cámara hiperbárica en la zona acuícola de las regiones de Los Lagos y Aysén. Sus respuestas son confidenciales y se utilizarán únicamente con fines académicos.

Preguntas

1. ¿Considera que la presencia de una cámara hiperbárica cercana al lugar de trabajo es necesaria para la seguridad de los buzos? ¿Por qué?

Es necesario, para incrementar la seguridad en contacto buceo y sus implicaciones.

2. ¿Qué beneficios cree usted que tendría contar con una cámara hiperbárica disponible dentro de la zona acuícola?

Para reducir $Su_{a}O_2$ y UO_2 en cámaras hiperbáricas.

3. ¿Cuáles son, en su opinión, las principales dificultades o limitaciones actuales para acceder a una cámara hiperbárica en caso de emergencia?

Distancia a los centros hiperbáricos.
Disponibilidad del personal capacitado.

4. Si se implementara una cámara hiperbárica en el área, ¿qué mejoras esperaría en términos de seguridad y respuesta frente a accidentes de buceo?

Optimización de los tiempos del uso.
Seg. en los procedimientos reales.
Atender mejor a las vidas de los buzos accidentados.