

Consideraciones para el diseño de acumuladores de aire de uso industrial

AUTOR:

Miguel Camus.
Departamento de Salud Ocupacional

PALABRAS CLAVES:

Sistemas de compresión de aire

¿QUÉ SON LOS ACUMULADORES DE AIRE?

Un sistema de compresión de aire está formado por un conjunto de mecanismos que permiten aumentar la energía cinética de un fluido (sistema de compresión de aire), y un recipiente metálico que actúa como depósito de energía neumática (recipiente sometido a presión), almacenándose en éste el aire ya comprimido. Este depósito, que llamaremos acumulador de aire, debe cumplir rigurosamente con normas y/o códigos nacionales o internacionales reconocidos para garantizar la seguridad y la integridad estructural, dado que operan bajo presión, por lo que un desperfecto en su estructura podría tener graves consecuencias con pérdidas materiales y daños personales, inclusive muertes.

En base a lo anterior, es que la presente nota técnica desarrolla una serie de consideraciones para el diseño de acumuladores de aire de uso industrial, abordando además aspectos de funcionamiento y seguridad asociada a éstos, para un adecuado dimensionamiento estructural de un recipiente sometido a presión interna como son los acumuladores de aire de uso industrial.

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE COMPRESIÓN DE AIRE

En general, el sistema de compresión de aire es accionado por un motor eléctrico o motor de combustión interna, que a su vez pone en movimiento una serie de elementos que van a comprimir el aire. Existen diferentes modelos de sistemas de compresión de aire destacando los sistemas de compresión de aire con cabezales de diafragma, de tornillos y de cilindros siendo estos dos últimos los más utilizados en la industria. Todos los elementos y mecanismos de estos sistemas de compresión son lubricados con aceites que permiten disminuir el roce entre ellos, pero también se produce un aumento de la temperatura del fluido por efecto del rozamiento. Independientemente, en cualquier proceso de compresión de un fluido su temperatura aumenta y viceversa, cuando el fluido se expande la temperatura disminuye. Existen también, sistemas de compresión libres de lubricación por aceite los que entregan una mejor calidad de aire comprimido.

Todo el proceso de compresión de aire es vigilado por un dispositivo que utiliza el parámetro de la presión para su control. Este es un dispositivo electro-mecánico cuya función es interrumpir el suministro de energía y detener el sistema de compresión (cuando se alcanza la presión máxima), o suministrar energía al sistema de compresión (cuando la presión es mínima). De este proceso se obtiene un aire comprimido que contiene diferentes tipos de impurezas, tales como agua (producto de la condensación de la humedad ambiental), aceites (producto del proceso de lubricación de los mecanismos), partículas y gases disueltos, entre otros.

En relación con lo mencionado en el párrafo anterior, es importante señalar que para algunos procesos industriales no es relevante que el aire contenga algunas impurezas, como por ejemplo para el accionamiento de elementos neumáticos, herramientas neumáticas, limpieza superficial, etc. Sin embargo, para otros tipos de procesos sí es de mayor importancia la calidad del aire comprimido, como por ejemplo, en la industria de la electrónica u otros procesos donde se requiere un aire comprimido de la más alta calidad (como es el caso del aire que se utiliza para la respiración de personas en faenas de buceo), ámbito hospitalario (aire que es utilizado en una amplia gama de aplicaciones que van desde el soporte vital directo hasta el funcionamiento de instrumental quirúrgico y equipos de diagnóstico), y en el ámbito de la industria farmacéutica. Dada esta criticidad, la calidad del aire suministrado es de gran relevancia por lo que se requiere retirar todas la impurezas y contaminantes al aire comprimido.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUMULADORES DE AIRE

El aire obtenido desde un sistema de compresión, es acumulado en un recipiente metálico denominado “acumulador de aire”, cuyas principales funciones son las siguientes:

- a) Estabilización de la Presión:** Amortiguan las fluctuaciones de presión en la red de distribución, asegurando un suministro más constante a los puntos de uso.
- b) Variaciones de la Demanda:** Permiten satisfacer demandas puntuales de aire que exceden la capacidad instantánea del compresor, evitando caídas de presión en el sistema.

c) Reducción de Ciclos del Compresor: Almacenan un volumen de aire que permite al compresor operar en ciclos de carga/descarga más largos y menos frecuentes, lo que reduce el desgaste del equipo, mejora la eficiencia energética y prolonga su vida útil.

d) Enfriamiento Inicial y Separación de Condensado: El acumulador de aire proporciona un volumen y un tiempo de residencia que facilitan un enfriamiento inicial del aire comprimido caliente proveniente del sistema de compresión, lo que puede ayudar a condensar una porción de la humedad y el aceite (si se utilizan compresores lubricados con aceite).

Cabe señalar que el aire comprimido es un gas compresible, lo que permite almacenar grandes cantidades del fluido en un volumen reducido, por lo que se debe tener especial cuidado en disminuir aquellas variables que puedan originar una explosión. Un accidente de este tipo, puede producirse por diferentes causas, explicitándose como principales la disminución del espesor debido a la corrosión interna del acumulador de aire, fallas de fabricación por procesos de soldadura inadecuadas y fallas de los elementos de control del proceso de compresión, lo que se traduciría en un aumento de la presión interna del acumulador mayor que la presión máxima de trabajo para el cual fue diseñado.

RELACIÓN DE PRESIÓN, MASA Y VOLUMEN EN ACUMULADOR DE AIRE

En cualquier proceso de compresión de un gas, para un volumen definido, el aumento de la masa (cantidad de aire) contenido en este recipiente es proporcional al aumento de la presión. A modo de ejemplificar lo indicado, supongamos que se dispone un acumulador de aire de un volumen definido de 1 m³ (1000 litros), cuya temperatura es constante de 30 °C. Utilizando la Ley General de los Gases, se tiene:

$$P * V = n * R * T$$

Donde:

P = Presión expresada en Pa.

V = Volumen igual a 1 m³ (1.000 litros).

n = Número de moles.

R = Constante de los gases ideales = 8,314462618 J·mol⁻¹·K⁻¹

T = Temperatura expresada en grados Kelvin (K) = 303,15 K (30 °C)

Conversión: 1 atm = 101325 Pa

En condiciones ideales y para diferentes presiones la masa molar de aire seco estándar M = 28,965 g·mol⁻¹ = 0,028965 kg·mol⁻¹.

A una temperatura de 30 °C y V = 1 m³, el factor constante es: m (kg) ≈ 1,164389787 × P (Pa), por lo que, para diferentes presiones en condiciones ideales, se obtendrían los siguientes resultados:

Presión (atm)	Presión (Pa)	n (mol)	Masa ideal (Kg)
1,0	101325	40,199	1,1643
2,0	202650	80,399	2,3288
3,0	303975	120,599	3,4932
4,0	405300	160,799	4,6575
5,0	506625	200,999	5,8219
6,0	607950	241,199	6,9863
7,0	709275	281,399	8,1507
8,0	810600	321,599	9,3151
9,0	911925	361,799	10,4795
10,0	1013250	401,998	11,6439

De esta tabla se puede concluir que la presión interna del acumulador aumenta proporcionalmente con la cantidad de aire que se puede almacenar en un volumen fijo de un 1 m³ (1.000 litros), obteniéndose para este ejemplo que, para una presión de 10,0 atm., la cantidad de aire que se puede almacenar en este recipiente es de 11,64 Kg. (con proporcionalidad estrictamente lineal en régimen ideal).

Es necesario indicar que en este ejemplo sólo se consideraron condiciones ideales¹, las cuales pueden verse afectadas según lo siguiente:

- Que la temperatura no es constante debido a que, en cualquier proceso de compresión de un gas, la temperatura aumenta.
- efectos de la humedad ambiental posteriores a un proceso de compresión (el aire comprimido que sale del compresor está saturado de humedad y contiene agua líquida, lo que se conoce como condensado).

En función de este análisis, queda demostrado, además, la importancia del adecuado dimensionamiento estructural del recipiente sometido a presión; siendo de especial relevancia, la determinación de su espesor. En este ámbito, no existen

¹ Es necesario establecer que este análisis es solo para ejemplificar el necesario aumento de la presión para el almacenamiento del aire en un volumen definido, en condiciones teóricas, ideales y considerando que el aire está compuesto básicamente por 21% de O₂ y 79% de N₂ (no considerando otros elementos presentes en el aire como la humedad, CO₂, CH₄, H₂, O₃, Ar, He, etc.)

normas nacionales, pero sí se cuenta con diversos códigos y normas internacionales al respecto, las cuales se indican a continuación:

País	Normas o Códigos
Estados Unidos	ASME VIII; División 1: Reglas para la Construcción de Recipientes de Presión
Reino Unido	PD 5500 Unfired Fusion Welded Pressure Vessel (Especificación británica para recipientes a presión no sometidos a llama). Diseño, fabricación, inspección y ensayo de recipientes a presión soldados
Alemania	AD2000 – Merkblätter AD (Especificaciones técnicas alemanas para recipientes a presión”).
Italia	ANCC: Código Italiano de Recipientes de Presión
Australia	AS 1210: Norma Australiana par Recipientes de Presión
Japón	JIS B 8265 (Norma japonesa para la construcción de recipientes a presión).
Francia	CODAP/ SNCT Código Diseño y Construcción de Recipientes de presión sin Llama
China	GB 150 SAC (Norma China para diseño y fabricación de recipientes sometidos a presión).
Unión Europea	Directiva de Equipos de Presión (PED) 2014/68/EU (y sus normas armonizadas como la EN – 13445 entre otras)
India	IS 2825 BIS: Código para Recipientes de Presión sin Fuego (BIS: Bureau of Indian Standards).

1. NORMAS Y CÓDIGOS INTERNACIONALES MÁS UTILIZADOS.

- a) Código ASME Sección VIII, División 1: Reglas para la Construcción de Recipientes de Presión: Dentro de sus principales aspectos esta norma considera:
- Diseño: proporciona fórmulas detalladas y tablas para calcular espesores de pared, tensiones máximas admisibles, etc.
 - Fabricación: establece requisitos para métodos de construcción como los procesos de soldadura
 - Materiales: cubre una amplia gama de materiales para la construcción de recipientes de presión, incluyendo aceros al carbono, aceros inoxidables y aleaciones no ferrosas.
 - Procesos de Soldadura: requiere la calificación de soldadores y procedimientos de soldadura.
- Inspección: define requisitos para inspecciones visuales, radiográficas, ultrasónicas y otras pruebas no destructivas.
- Pruebas y Ensayos: exige pruebas hidrostáticas y, en algunos casos, neumáticas.
- b) Directiva de Equipos de Presión (PED) 2014/68/EU: Directiva de la Unión Europea que establece los requisitos esenciales de seguridad para equipos a presión, incluyendo acumuladores de aire. Dentro de sus principales aspectos, se considera lo siguiente:
- Define requisitos esenciales de seguridad, pero no señala métodos de diseño específicos. Los fabricantes pueden elegir cómo cumplir estos requisitos, generalmente utilizando normas armonizadas (la norma EN 13445 es la principal norma armonizada para recipientes a presión no sometidos a llama).
 - Norma EN 13445. Es una norma que proporciona reglas detalladas para el diseño, fabricación, inspección y prueba de recipientes a presión. Es similar en alcance a ASME VIII Div. 1, pero con algunas diferencias en las metodologías de cálculo y los requisitos.
 - Mercado CE: los equipos que cumplen con la PED deben llevar el marcado CE, que indica su conformidad y permite su libre circulación en la Comunidad Europea.

Aspectos a considerar para el Diseño y Construcción de un Acumulador de Aire.

Independiente de la norma o código que se utilice para el diseño y construcción de un acumulador de aire (recipiente sometido a presión), todas ellas consideran los siguientes aspectos:

- a) Presión de Diseño: Corresponde a la presión a considerar para el diseño del acumulador de aire.
- b) Presión máxima de trabajo: Corresponde a la presión máxima a la que el acumulador puede operar de forma segura.
- c) Temperatura de Diseño: Corresponde a la temperatura máxima y mínima a la que el acumulador puede estar expuesto.
- d) Tipo de Materiales: Selección de materiales compatibles con el aire comprimido (aceros al carbono, aceros inoxidables), y las condiciones de operación (presión, temperatura, condiciones ambientales, fractura frágil, entre otros).
- e) Determinación de Espesor de Pared del Acumulador de Aire: Para la determinación del espesor, en general las normas y códigos consideran dentro de los parámetros más importantes los siguientes: la presión de diseño, la presión máxima de trabajo, temperatura de

trabajo, características geométricas, la tensión máxima admisible del material seleccionado, la eficiencia de las uniones soldadas, coeficientes de seguridad, condiciones ambientales (corrosión externa), entre otras. Para recipientes de geometrías complejas o condiciones de carga especiales se podrá utilizar análisis por elementos finitos donde las fórmulas simplificadas no son las más adecuadas.

- f) Aberturas y Conexiones: Diseño adecuado de aberturas y otras conexiones para resistir las cargas y evitar concentraciones de tensiones (provenientes de los procesos de corte, plegado de los materiales y de las uniones soldadas).
- g) Soportes: Diseño de soportes para resistir el peso del acumulador lleno de aire y otras cargas (viento, sismo).
- h) Corrosión: Considerar un sobre espesor por corrosión si se espera corrosión interna o externa.

Con el objeto de ejemplificar un método de cálculo del espesor de las paredes de un acumulador de aire, considerando las recomendaciones del Código ASME Sección VIII división 1, se deberá tener en cuenta que un acumulador está formado básicamente por una sección cilíndrica y 2 tapas laterales (inferior y superior), que constituyen los segmentos estructurales más importantes del recipiente de presión:

- Para la sección cilíndrica, el espesor se determina mediante la siguiente expresión:

Para uniones longitudinales (esfuerzos circunferenciales)

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0,6 * P}$$

Para uniones circunferenciales (esfuerzos longitudinales)

$$t = \frac{P * R}{2S * E + 0,4 * P}$$

Donde:

P: Presión de diseño

R: Radio interno en condición corroída

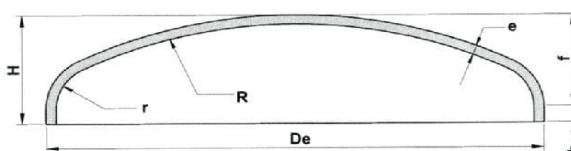
S: Esfuerzo máximo máxima admisible

E: Eficiencia de las uniones soldadas (que varía entre 0,45 a 1,00 dependiendo del tipo de unión y el N° de radiografías de la unión soldada). Las uniones soldadas pueden ser 100% radiografiadas, radiografiadas por puntos o sin radiografiar)

Para el caso de la sección cilíndrica de un acumulador de aire los esfuerzos circunferenciales siempre serán mayores a los esfuerzos longitudinales por lo que se debe elegir esta la ecuación para su diseño.

- Para la tapas superior e inferior (tapas toriéféricas), el espesor se determina mediante la siguiente expresión:

$$t = \frac{0,885 * P * L}{S * E - 0,1 * P}$$



Estos cálculos aseguran que el espesor del material sea suficiente para mantener los esfuerzos dentro de los límites seguros definidos por este código. Además de los espesores, el código especifica requisitos para aberturas (como conexiones de tuberías y puertos de inspección), refuerzos alrededor de las aberturas y detalles de los procesos soldadura, diseño de silletas, diseño de orejas de izaje, entre otros.

Tal como se mencionó anteriormente, el mayor riesgo de accidente en un acumulador de aire corresponde a una explosión (teniendo presente que se trata de un gas compresible). No obstante, independiente que el acumulador de aire fuese diseñado y construido bajo alguna norma referencial, este de todas maneras podrá estar expuesto a: corrosión interior, corrosión exterior (con la consecuencia de la disminución del espesor), aumento de la presión interior por falta o falla de elementos o accesorios de control y esfuerzos mecánicos imprevistos, por lo que es necesario que cuente con algunos accesorios y mecanismos tanto de control, tanto de seguridad como de observación, los cuales se detallan en el próximo punto.

Dispositivos de observación, control y seguridad de un Acumulador de Aire

- a) Dispositivos de Observación: Como elemento de observación, el acumulador de aire debe considerar la instalación de un medidor que indique la presión interna, que puede ser de un manómetro tipo Bourdon y/o medidor electrónico (tipo transductor de presión con su respectivo lector de presión). Este elemento también permite mantener un control sobre la presión del sistema.

En caso que se disponga de un manómetro tipo Bourdon, se recomienda que cumpla con las siguientes características: diámetro de 100 mm., poseer un rango superior a un tercio por sobre la presión máxima de trabajo, resolución mínima adecuada y entre el manómetro y el acumulador de contar con una válvula de corte que permita el reemplazo de este en caso de rotura.

- b) **Dispositivos de Control:** Tanto el compresor de aire, así como también el acumulador, deben contar con algún elemento que controle el proceso de compresión de aire cuando se llegue a la presión máxima o mínima de trabajo. En general, el elemento que realiza esta función se denomina “presostato”. Este presostato, es regulado para la detención cuando el equipo llega a la presión máxima de trabajo y para la puesta en marcha cuando el equipo llega a su presión mínima.
- c) **Dispositivos de Seguridad:** Como elemento de seguridad, el acumulador de aire debe contar con una válvula de seguridad. Una válvula de seguridad es un accesorio que cumple el objetivo de liberar un fluido (en este caso aire comprimido), en forma automáticamente cuando la presión interna supera la presión máxima de trabajo. Esta válvula de seguridad debe cumplir con las siguientes características:
- Debe estar conectada directamente al acumulador de aire. No debe poseer ninguna interrupción entre el acumulador y ella.
 - Debe poseer una capacidad de evacuación de aire igual o superior a la cantidad de aire que ingresa al acumulador. En ningún caso la presión interna deberá ser superior a la presión máxima de trabajo aumentada en un 10% una vez accionada la válvula de seguridad.
 - Debe ser del tipo de resorte y contar con una manilla de accionamiento manual para comprobar su normal funcionamiento.
 - Su mecanismo de regulación debe estar sellado y con el objeto de evitar su manipulación
- d) **Otros Dispositivos Complementarios:**
- Válvulas de retención que evita retorno de presión desde el acumulador hacia el compresor
 - Placa de identificación que deba contener la siguiente información: nombre del fabricante, N° de serie o de fabricación, Año fabricación y Presión máxima de trabajo
 - Válvula de descarga rápida instalada en el punto más bajo del acumulador de aire que permita la evacuación de toda la presión de aire para caso de emergencias, y permite, además la descarga del agua condensada y aceites provenientes de la lubricación del sistema de compresión.

- Tapa o compuerta de registro de mano (handholes) y de hombre (manholes), que permita realizar la revisión interna con el objeto de determinar el estado de corrosión de las paredes internas del acumulador de aire².
- Sistemas de control más avanzados como Controladores Lógicos Programables (PLC) que permiten una mejor gestión del funcionamiento tanto del compresor como del acumulador aire (encendido, apagado, control sobre la presión y temperatura, alarmas, paradas de emergencia, entre otros).
- Transductores de presión que permiten controlar de manera más precisa y exacta la presión interna del acumulador de aire.
- Instalación de mecanismos de control redundantes como presostatos y/o transductores de presión primarios y secundarios.
- Drenajes de condensados controlado por mecanismos temporizadores o PLC

Revisiones, Pruebas y Ensayos.

Los acumuladores de aire, como cualquier recipiente sometidos a presión, deben ser sometidos periódicamente a revisiones, pruebas y ensayos. La periodicidad de las revisiones pruebas y ensayos se determinará de acuerdo a la reglamentación específica dependiendo del tipo de recipiente, tales como calderas, autoclaves, acumuladores de aire para actividades de buceo, cámaras hiperbáricas, entre otras. Para el caso de los acumuladores de aire de uso industrial, en Chile no existe norma ni recomendación que señale la periodicidad de estas revisiones. No obstante, considerando los riesgos y peligros que puedan representar este tipo de equipamiento se recomienda someterlo periódicamente a las siguientes revisiones, pruebas y ensayos:

a) Inspección Visual:

- **Revisión Externa:** Esta revisión consiste básicamente en la búsqueda de signos de corrosión, fisuras en soldaduras, deformaciones, daños en recubrimientos superficiales, estado de soportes, existencia y estado de funcionamiento de los elementos mínimos de observación, de seguridad y de control, entre otros.
- **Revisión Interna:** Esta revisión consiste básicamente en la búsqueda de corrosión en

² El agua condensada producto de la compresión de la humedad ambiental contiene abundantes gases disueltos en ella (pequeñas burbujas de aire). El oxígeno de aire es responsable de causar la corrosión sobre las superficies internas de acumulador. Esta corrosión es localizada y se manifiesta por la generación de pequeños y profundos agujeros sobre la superficie de metálica (corrosión por pitting), con la consecuente disminución del espesor del acumulador

las paredes internas (generalizada y tipo pitting) del acumulador, estado del recubrimiento interno, acumulación de sedimentos (condensación de agua y residuos de aceite)

b) Ensayos No Destructivos: se denominan no destructivos debido a que no es necesario intervenir sobre las superficies del equipo y componentes sin dañarlos permanentemente, de esta manera se tienen los siguientes:

- **Ensayo de Radiografía y Gammagrafía**: Ensayo que utiliza algún tipo de radiación ionizante (radiografías radiación X y gammagrafía radiación gamma), que permite detectar defectos como grietas y fisuras de uniones soldadas, porosidades o variaciones de espesor y densidad.
- **Ensayo de Ultrasonido**: Ensayo que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia que se propagan a través de las paredes metálicas de acumulador analizando sus reflexiones que permiten la determinar con precisión el espesor de la pared cilíndrica y cabezales. Permite detectar pérdidas de material debido a la corrosión y, de esta manera, establecer si el equipo mantiene las condiciones estructurales originales de diseño.
- **Ensayo de Partículas Magnéticas**: Ensayo que se utiliza principalmente para la inspección de soldaduras en busca de grietas superficiales o muy cercanas a la superficie. También puede usarse en áreas de alta concentración de esfuerzos como en la vecindad de cualquier unión soldada.
- **Ensayo de Líquidos Penetrantes**: Ensayo que se utiliza para detectar defectos superficiales (fisuras y poros) sobre las superficies del acumulador de aire. Esta es una técnica que presenta algunas limitaciones en su aplicación cuando la superficie presenta alguna rugosidad.

c) Prueba de Presión Hidrostática: esta prueba es quizás la más relevante ha realizar en cualquier recipiente sometido a presión. Permite verificar su resistencia, estanqueidad y determinar si mantiene las condiciones estructurales originales de diseño. La presión de prueba varía generalmente entre 1,3 a 1,5 veces la presión de máxima de trabajo (dependiendo de la temperatura de trabajo del acumulador) y nunca debe exceder el 90% del límite elástico del material de fabricación del acumulador de aire. Una prueba hidrostática consiste básicamente en llenar completamente el acumulador con agua y presurizarlo a una presión superior que la presión máxima de trabajo durante un período de al menos 15 minutos. Durante este período de tiempo, la presión de prueba se deberá

mantener constante y se buscarán filtraciones y/o deformaciones. El propósito de esta prueba es verificar la integridad estructural y la estanqueidad del recipiente bajo una condición de sobrecarga controlada.

El Código ASME Sección VIII, división 1 recomienda que la presión de la prueba hidrostática de determine de la siguiente manera:

$$PPH = 1,3 * \frac{St}{Sd}$$

Donde:

PPH: es la Presión de la prueba hidrostática, "St" el esfuerzo admisible a la temperatura de la prueba y "Sd" el esfuerzo admisible a la temperatura de diseño respectivamente.

La prueba hidrostática deberá realizarse al término de la fabricación y al término de la instalación del acumulador de aire, mientras que la periodicidad en el tiempo de esta prueba, dependerá de una evaluación de riesgos (es aquí es donde existe mayor variabilidad). Recomendaciones técnicas sugieren realizarla, además, al término de cualquier reparación que involucre una intervención de la estructura del recipiente de presión, o cada 5 años de acuerdo a buenas prácticas de ingeniería.

d) Prueba de Presión Neumática: esta prueba se debe realizar solo en casos especiales, permite verificar la resistencia, estanqueidad y determinándose si se mantienen las condiciones estructurales originales de diseño. En esta prueba se reemplaza el agua por aire o un gas inerte, pero requiere tomar precauciones adicionales considerando que el aire es un gas compresible y durante la prueba se podría generar un accidente (explosión) en caso de la existencia de una fisura o grieta en la pared del acumulador.

CONCLUSIONES.

- a) El diseño, cálculo y construcción de acumuladores de aire deben realizarse siguiendo rigurosamente algunas de las normas internacionales señaladas para garantizar la seguridad del recipiente de presión. La selección de la norma adecuada, la interpretación correcta de sus requisitos y la aplicación de buenas prácticas de ingeniería son fundamentales para evitar accidentes y asegurar la confiabilidad de estos equipos, como también la continua actualización y formación profesional en este campo por parte de los ingenieros y fabricantes.
- b) Los acumuladores de aire se encuentran sometidos a condiciones extremas de corrosión interna y externa, además de variaciones significativas de la presión interna, las cuales no aseguran que este dispositivo mantenga sus características estructurales iniciales durante transcurso del tiempo, por lo que es necesario realizar revisiones, pruebas y ensayos periódicamente, las cuales permitirán asegurar que se mantienen las condiciones estructurales para la cual fue diseñado, minimizando de esta forma, los factores de riesgo que presentan estos equipos.
- c) El uso de sistemas de control avanzados en los acumuladores de aire, tales como controladores lógicos programables y dispositivos de control redundantes, aumentan significativamente la confiabilidad y seguridad de éstos, permitiendo de esta forma operar los sistemas de aire comprimido en mayores y mejores condiciones de seguridad, reduciendo significativamente los riesgos de fallas estructurales además de la optimización de su funcionamiento.

BIBLIOGRAFIA.

- Código ASME, Sección VIII, División 1: Reglas para la Construcción de Recipientes de Presión, Edición 2021.
- Normas Internacionales de Diseño de Recipientes de Presión: Comparación de Procedimientos para Determinación de Espesor Mínimo Requerido; de Luis Alberto Laurens Arredondo; Universidad Católica del Maule; Año 2019.
- Directiva 2014/68/UE: Relativa a la armonización de las legislaciones de los estados miembros sobre la comercialización de equipos de presión; Año 2014.
- Guía de Requerimientos Técnicos Mínimos de Acumuladores de Aire de uso en Actividades de Buceo; Instituto de Salud Pública de Chile; Versión 2; Año 2018.
- Guía de Requerimientos Técnicos Mínimos de Sistema de Compresión de Aire de uso en Actividades de Buceo; Instituto de Salud Pública de Chile; Versión 2; Año 2018.
- https://www.normadoc.com/french/catalog-search/result/index/?cat=0&q=ad+2000&supplierid=4353&type_document=10