



**CARACTERIZACIÓN DE RIESGOS RELACIONADOS CON EL
MANTENIMIENTO DE TANQUES CRIOGÉNICOS DE OXÍGENO LÍQUIDO
MEDICINAL**

LEIDY KATHERINE NARANJO BARRERO

LUCY RODRÍGUEZ CEPEDA

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍAS
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C.**

2021

**CLASIFICACIÓN DE RIESGOS RELACIONADOS CON EL MANTENIMIENTO
DE TANQUES CRIOGÉNICOS DE OXÍGENO LÍQUIDO MEDICINAL**

LEIDY KATHERINE NARANJO BARRERO

56905

LUCY RODRÍGUEZ CEPEDA

55512

ASESOR

Msc (c)MARÍA TERESA OREJUELA PARRA

Ingeniera Biomédica

UNIVERSIDAD ECCI

FACULTAD DE INGENIERÍAS

COORDINACIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

BOGOTÁ D.C.

2021

Agradecimientos

Agradecemos a la ingeniera María Teresa Orejuela Parra por su paciencia, tiempo, conocimiento y dedicación en su trabajo, fue la guía en el transcurso de este proyecto.

También a nuestras familias por toda la ayuda que nos brindaron durante la creación de este proyecto de investigación.

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Resumen | 8 |
| Introducción | 9 |
| Planteamiento del problema | 11 |
| Justificación | 13 |
| Hipótesis | 15 |
| Objetivos | 16 |
| Objetivo general | 16 |
| Objetivos específicos | 16 |
| Marco teórico | 17 |
| Antecedentes | 17 |
| Marco conceptual | 20 |
| <i>Oxígeno líquido</i> | 20 |
| <i>Tanque criogénico</i> | 20 |
| <i>Mantenimiento</i> | 24 |
| <i>Riesgo</i> | 25 |
| <i>Evento adverso</i> | 25 |
| <i>Revisión de la Literatura</i> | 26 |
| Marco legal | 27 |
| <i>Normas Internacionales:</i> | 27 |
| <i>Normas Colombianas:</i> | 28 |
| Metodología | 31 |
| Revisión de literatura | 31 |
| Análisis de la información | 32 |
| Clasificación y priorización de riesgos | 33 |
| Descripción del procesamiento estadístico de los datos | 33 |
| Resultados | 34 |
| Revisión de literatura | 34 |
| Análisis de la información | 34 |
| Clasificación y priorización de riesgos | 37 |

| | |
|---|----|
| Procesamiento de los datos | 42 |
| Conclusiones | 46 |
| Bibliografía | 48 |
| Anexos | 53 |

Lista de Figuras

| | |
|------------------------|----|
| Figura 1. | 21 |
| Figura 2. | 23 |
| Figura 3. | 36 |
| Figura 4. | 43 |

Lista de Tablas

| | |
|----------------------|----|
| Tabla 1. | 22 |
| Tabla 2. | 24 |
| Tabla 3. | 26 |
| Tabla 4. | 34 |
| Tabla 5. | 36 |
| Tabla 6. | 40 |
| Tabla 7. | 41 |
| Tabla 8. | 42 |

Resumen

Este trabajo de investigación está basado en una revisión de literatura de artículos y documentos que contienen información sobre los riesgos asociados a las actividades, métodos y/o procedimientos de mantenimiento de tanques criogénicos, con el fin de realizar una clasificación y priorización de riesgos, teniendo en cuenta la frecuencia con la que se presentan, para evitar posibles incidentes o eventos adversos. Se realizó una breve descripción de los conceptos y normas relacionados con el tema. Se consideró una metodología cualitativa dado que el análisis de la literatura fue de forma interpretativa, la información se filtró por medio de criterios de inclusión y exclusión, con el objetivo de estudiar y analizar la documentación más acorde. De la revisión de la literatura se deduce que los riesgos más frecuentes van desde escape del producto almacenado hasta la muerte por asfixia o frío. Se concluyó que la caracterización de riesgos asociados a las actividades de mantenimiento y los métodos de manipulación de tanques criogénicos, son importantes para prevenir o evitar los accidentes relacionados.

Introducción

Los riesgos asociados con la manipulación de tanques criogénicos de oxígeno líquido, son de gran relevancia, debido a que, si estos recipientes no se almacenan, transportan o se les realiza actividades, métodos o procedimientos de mantenimiento correctamente puede repercutir en incidentes tan graves como lesiones corporales importantes, por contacto directo con el oxígeno a temperaturas muy bajas, hasta la muerte por incendio y/o explosión (Gómez, 2008).

El oxígeno líquido es un elemento indispensable para los seres vivos en general, debido a su importante papel como gas respiratorio (Arévalo et al., 2018). Es un elemento de especial cuidado, requiere ciertas precauciones, ya que a pesar de que el oxígeno no es inflamable si es comburente y oxidante, puede provocar o agravar un incendio, también reacciona violentamente con grasa y aceites (Ovalle et al., 2017). El mayor uso del oxígeno es en la industria y en la medicina, en esta última es utilizado como un medicamento para tratar problemas respiratorios, en oxigenoterapia, anestesia, cámaras hiperbáricas, entre otros (Instituto de Evaluación de Tecnologías en Salud e Investigación-IETSI, 2017). Es almacenado principalmente en tanques criogénicos, donde se mantiene a temperaturas muy bajas (menores a -100°C) (Alfaro, 2013).

La manipulación de fluidos en tanques criogénicos requiere de algunas precauciones, en elementos como el argón, hidrógeno y oxígeno, los riesgos principales para la salud humana son: Riesgo de quemaduras por congelamiento en la piel o en los ojos, riesgo de asfixias o intoxicación y riesgo de incendio o explosión (Marcoulaki et al., 2018). De acuerdo a lo anterior, es importante manipular, transportar, almacenar y sobretodo realizar procedimiento de mantenimiento de tanques o sistemas de almacenamiento de fluidos criogénicos correctamente,

con periodicidad y con base en las normas y códigos que rigen estas actividades (Witkowski et al., 2017).

El objetivo principal de este proyecto es caracterizar los riesgos asociados a los procedimientos y métodos de mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido medicinal, mediante una revisión de literatura con el fin de proponer una clasificación y priorización de los riesgos.

A continuación, se describe el problema de la investigación y su respectiva justificación, se plantea un marco teórico donde se especifican los conceptos relacionados con el tema, como mantenimiento, riesgos, eventos adversos, revisión de literatura, entre otros. La metodología usada es de tipo cualitativa, se detallan y describen los pasos utilizados para realizar la revisión literaria y posteriormente responder el objetivo general por medio de los resultados obtenidos con la caracterización de riesgos encontrados en el análisis de la información.

Planteamiento del problema

El uso de gases para consumo humano, en especial en tratamientos médicos ha tenido un gran incremento en los últimos años (Cruz, 2017) su relevancia es debido a los múltiples usos en medicina, para prevenir, diagnosticar, tratar, aliviar, curar procesos patológicos, anestesia, cirugía, esterilización, calibración de aparatos médicos, entre otros (Roa, et al, 2017) . Los gases más utilizados en el área son: el oxígeno, el aire medicinal, el nitrógeno, óxido nitroso, vacío medicinal y dióxido de carbono (Muñoz G., 2019), todos tienen gran importancia, pero, el oxígeno medicinal es uno de los más relevantes en el área hospitalaria (Gómez C. et al, 2018), ya que su uso es fundamental para el cuerpo humano y en general para los seres vivos (Arévalo et al., 2018), es utilizado en oxigenoterapia, cámaras hiperbáricas, anestesia, mezclas especiales, terapia respiratoria, entre otros (Ovalle & Pedraza, 2017). El oxígeno puede almacenarse en tanques criogénicos principalmente, aunque existen otros contenedores como termos o manifolds, esto depende de las necesidades del usuario (Botney et al, 2020).

Los tanques criogénicos de acuerdo al tipo de materiales de fabricación cuentan con normas y códigos reconocidos de manejo, mantenimiento y conservación (Sundén & Fu, 2017).

Sin embargo, en los tanques criogénicos se presentan riesgos con cierta frecuencia en la manipulación, el almacenamiento y/o mantenimiento de gases medicinales, que involucran tanto al personal de mantenimiento como a los usuarios (Yar, 2016); el contacto directo con el oxígeno criogénico y/o con el tanque causa daños críticos, principalmente en la piel y en los ojos, puede tener consecuencias graves como una quemadura por congelamiento, necrosis o gangrena, también desprendimiento de la piel y dolores muy fuertes (Reason 2017) o hasta la muerte.

Se ha evidenciado que se presentan errores frecuentes con el manejo de gases medicinales, incidentes fundamentalmente en aspectos relacionados con el almacenamiento en tanques criogénicos, y con la capacitación del personal de mantenimiento (García, 2018). Siendo esta última de gran importancia, porque al realizar un mantenimiento inadecuado en los tanques o no manipularlos correctamente, existe la posibilidad que se presente algún incidente, accidente o evento, por ejemplo, fuga o escape del producto que puede ser causado por deterioro del tanque, omisión de las actividades de mantenimientos, inconvenientes con el uso o desconocimiento de las herramientas y la inadecuada o falta de capacitación por parte del operario (Bradley et al., 2016).

Teniendo en cuenta la descripción anterior, este trabajo de investigación se centra en una revisión de literatura (overview) de artículos y/o documentos, que mencionen directa o indirectamente cuales son los riesgos asociados al mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido, para así proponer una clasificación y priorización, teniendo en cuenta la frecuencia de cada riesgo encontrado.

Justificación

El oxígeno es un elemento muy utilizado en la industria en actividades de metalurgia y corte de metales y en la medicina como un medicamento para tratar diferentes patologías (IETSI, 2017). Cuando el gas está almacenado en tanques criogénicos el cuidado es más estricto y la manipulación es más riesgosa, debido a que el compuesto se encuentra a temperaturas muy bajas y en el caso de existir un escape de esta sustancia, las consecuencias; que pueden ser letales (Gómez, 2008), se ven reflejadas, tanto para la empresa, hospital o lugar o establecimiento que lo use; como en la salud de los operarios de mantenimiento o personal que se encuentre cerca de estas áreas (Sánchez, 2011).

Algunas normas en el contexto internacional rigen el proceso, tratamiento, manipulación y uso del oxígeno líquido describen los procedimientos requeridos para manipular gases comprimidos, también aspectos relacionados con el almacenamiento y la infraestructura del lugar de acopio, la protección para el personal de mantenimiento y especificaciones de materiales para tanques de almacenaje de gases (García, 2018). Así mismo, existen normas para el mantenimiento de los tanques que contienen el oxígeno líquido en la fábrica o en el lugar donde se consume (NFPA, 2018)

En Colombia, según la Resolución N° 4410/09 y la norma NTC 5198, para realizar el adecuado mantenimiento se debe tener en cuenta desde el protocolo, las herramientas, los elementos de protección personal (Ministerio de Protección Social, 2009), así como también que el lugar esté muy ventilado para que se pueda evaporar rápidamente el compuesto en caso de escape del tanque de almacenamiento; de esta manera minimizar posibles daños a operadores y visitantes (Ministerio de Transporte, 2013). Cabe aclarar que las normas citadas para el

mantenimiento en plantas de gases medicinales, en donde se incluyen los tanques criogénicos, no categorizan y estandarizan el procedimiento que se debe realizar.

Con la realización de esta investigación sobre la revisión de la documentación, en cuanto a los métodos, protocolos y normas que rigen el mantenimiento de tanques criogénicos, específicamente de oxígeno líquido, se pretende hacer una comparación de la información recopilada, para identificar y clasificar los riesgos asociados a la ejecución del mantenimiento.

Hipótesis

Clasificar y priorizar los riesgos asociados con la realización de procedimientos y métodos de mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido medicinal, teniendo en cuenta las normas vigentes y la literatura seleccionada, como una estrategia para mitigar o disminuir posibles accidentes y/o eventos adversos que puede sufrir el personal técnico en la realización de estas actividades de mantenimiento.

Objetivos

Objetivo general

Caracterizar los riesgos asociados a los procedimientos y métodos que se desarrollan en el mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido medicinal, mediante una revisión de literatura con el fin de proponer una clasificación y priorización de los riesgos acorde a las normas.

Objetivos específicos

- Realizar la revisión de la literatura de forma estándar que permita determinar el nivel de aporte científico de las referencias bibliográficas consultadas.
- Analizar la literatura e identificar los riesgos asociados a posibles fallas en las actividades de mantenimiento del tanque criogénico, teniendo en cuenta las normas y protocolos existentes a nivel internacional y nacional.
- Proponer una clasificación y priorización de los riesgos asociados a la ejecución de los métodos encontrados para realizar un mantenimiento eficaz y efectivo a los tanques de oxígeno líquido.

Marco teórico

En este apartado se describen los conceptos que se consideran son relevantes para entender el tema de investigación, también se presentan algunos estudios posteriores sobre temas relacionados. Así mismo,

Antecedentes

El mantenimiento de tanques criogénicos es una actividad que se realiza para mantener en buen estado tanto del tanque como el producto almacenado, también permite realizar una modificación o corrección; para que el contenedor cumpla su función de forma adecuada y buscando que no se presenten accidentes con el producto almacenado (Carbonari, 2018). Cabe aclarar que la información encontrada sobre investigaciones previas a la descrita en este proyecto no es específica de riesgos en el mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido, por ejemplo, hay investigaciones que describen, estudian y/o se basan en riesgos en el mantenimiento de tanques criogénicos, pero de gases como el argón y el hidrógeno,

Hasta la fecha se han encontrado investigaciones como la realizada por Imbaquingo (2016), sobre la *Planificación del mantenimiento para tanques criogénicos de gases atmosféricos y dióxido de carbono para la empresa Hidrocobre Cía. Ltda.*; donde se concluyó que desarrollar un plan de mantenimiento permite establecer una alternativa para garantizar el correcto estado y operación de los tanques criogénicos; lo cual se debe al planteamiento de estándares de mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, periodos de inspección de componentes y ejecución segura de trabajos (Imbaquingo, 2016)

El libro “Gestión de errores de mantenimiento: una guía práctica”, de James Jason y Alan Hobbs, describe claramente la importancia de realizar un mantenimiento correcto y cuáles

son las posibles consecuencias de no hacerlo así, el escrito está basado en cuatro encuestas, tres de ellas realizadas en una central nuclear de EE. UU y la otra en una central nuclear de Japón. De acuerdo a estos estudios se evidenció que las proporciones de los problemas de desempeño humano asociados con las actividades relacionadas con el mantenimiento excedieron con creces los relacionados con otros tipos de desempeño humano (Reason & Hobbs, 2017).

La Asociación Británica de Gases Comprimidos (BCGA) en el informe *“La probabilidad de muerte en atmósferas enriquecidas con oxígeno debido al derrame de oxígeno líquido”* donde presenta un caso de esparcimiento de oxígeno líquido, donde realizaron un análisis y estudio de los riesgos que conlleva el uso, manipulación y almacenamiento de oxígeno líquido y cuáles fueron las afectaciones en la salud de las personas involucradas en el accidente (BCGA, 2018).

En este documento la BCGA presenta algunos casos de accidentes con oxígeno líquido desde 1985 hasta el año 1997, en países como Estados Unidos, Canadá, Filipinas y Alemania. Aunque en la mayoría se presentaron pocos o cero heridos, las causas de estos accidentes fueron por errores humanos, material y componentes del tanque defectuosos o de mala calidad, prácticas inadecuadas, mantenimientos insuficientes, entre otros (BCGA, 2018).

En el artículo *“Evaluación cuantitativa de la seguridad de los fallos de control de la presión en una instalación criogénica subterránea a gran escala”* se realiza el análisis de seguridad y la evaluación cuantitativa de un tanque de argón criogénico y los procesos asociados a su funcionamiento normal. En una parte del estudio identifican diferentes riesgos asociados al almacenamiento de gran cantidad de argón, por ejemplo, si se libera la contención del gas en un espacio reducido, esto puede ocasionar que el lugar llegue a temperaturas muy bajas y si hay

personal en la zona se pueden efectuar daños tan graves en la salud como la muerte por asfixia o frío. Así mismo, la liberación de argón criogénico puede ocasionar daños críticos en la infraestructura del lugar. También existen riesgos por sobrepresión, que tiene diferentes causas, una de ellas es el fallo de algunos sistemas de la instalación criogénica (Marcoulaki et al., 2018).

Una de sus conclusiones es que es importante realizar el análisis de las frecuencias de los fallos que se presenten, ya que esto puede verse reflejado en mejoras en los procesos de manipulación de fluidos criogénicos y en la fiabilidad de los tanques.

Por último, (Botney et al., 2020) describen en el artículo “Fallas en el suministro de oxígeno” las falencias o problemas que se han evidenciado en el suministro de oxígeno a pacientes en medicina, lo que puede representar la muerte para el usuario. También describen las precauciones que se debe de tener según la norma NFPA 99 con el almacenamiento de oxígeno en cilindros, ya que este gas aunque no es tóxico si es comburente y con el contacto con otros materiales puede generar incendio y/o explosiones, es por esto que el área de almacenamiento y los contenedores deben estar fabricados con materiales incombustibles o combustibles limitados, así mismo los cilindros o contenedores de oxígeno deben estar separados de los que almacenen otras sustancias, no sean de uso médico o estén vacíos. Es importante también el control de temperatura del área de almacenamiento, el personal que manipule y realice actividades de mantenimiento tenga el conocimiento y capacitaciones requeridas para realizar dichas acciones.

Marco conceptual

Oxígeno líquido

El oxígeno es un gas inodoro, incoloro, insípido y muy reactivo, esencial para el proceso de oxidación y combustión (Alfaro, 2013), es un elemento esencial en la vida de los seres vivos, debido a su importante papel como gas respiratorio (Arévalo et al., 2018). El oxígeno puede suministrarse tanto en estado gaseoso a alta presión, como en estado líquido a baja temperatura. Según la hoja de seguridad del oxígeno se debe tener ciertas precauciones, ya que a pesar de que el oxígeno no es inflamable si es comburente y oxidante, puede provocar o agravar un incendio, también reacciona violentamente con grasa y aceites (Larrañaga, 2019). En condiciones de enfriamiento, se pueden presentar quemaduras o lesiones criogénicas, si se presenta alguna fuga. (Indura S.A, 2015).

El uso recomendado de este elemento es industrial y medicinal, puede ser utilizado en siderurgia y metalurgia, también en combinación con gas combustible para corte y soldadura oxiacetilénica (Air Liquide, 2021). En medicina es utilizado en diversos casos de deficiencia respiratoria, resucitación, en anestesia, en creación de atmósferas artificiales, terapia hiperbárica, tratamiento de quemaduras respiratorias, etc. (AEMPS, 2020).

El oxígeno líquido puede ser almacenado en termos y en tanques criogénicos de diferentes tamaños, esto depende de las necesidades del usuario (Botney et al., 2020).

Tanque criogénico

Un tanque criogénico, es un recipiente cilíndrico aislado térmicamente destinado para contener fluidos criogénicos, tales como nitrógeno, oxígeno, argón y dióxido de carbono (Fospibay, 2020). Los recipientes criogénicos se han utilizado por más de 40 años para el

almacenamiento y transporte de gases industriales y médicos (Barthelemy et al., 2016). Por lo general, consta de un recipiente interior de acero inoxidable para soportar bajas temperaturas, y uno exterior de acero al carbono (Figura 1), aislados entre sí por una combinación de alto vacío y un aislamiento de perlita o poliuretano (Gómez C, 2008), también están equipados con válvulas de alivio y discos estallantes, para dejar escapar el gas si hay un aumento excesivo de presión a causa de algún imprevisto (Kandoliya et al., 2017)

Figura 1.

Recipientes externo e interno de un tanque criogénico. (Carbonari, 2018)



Todos los tanques se diseñan, fabrican e inspeccionan de acuerdo con normas y códigos reconocidos (Gómez C, 2008), tales como:

- ISO.
- ASME (USA)
- CODAP (Francia)
- AD-MERKBLATT (Alemania)

- Código Sueco de Recipientes a Presión (Suecia)
- British Standard (Inglaterra).

Los tanques criogénicos de almacenamiento de oxígeno líquido pueden estar constituidos por un depósito interior de acero inoxidable, formado normalmente por un cilindro con dos fondos, adecuado para las bajas temperaturas (hasta - 196° C) (Algarra, 2020); protegido por una capa envolvente construida con acero suave al carbono. El recipiente irá dotado de diversas tuberías, manómetros, válvula de maniobra, regulador de presión, válvula de seguridad, disco de ruptura (para puesta al aire en caso de no responder las válvulas de seguridad), filtros, calentador y demás elementos para su normal funcionamiento (Osakidetza, 2016)

Los tanques criogénicos en su mayoría están formados por sistemas o circuitos fundamentales (Figura 2) (Oxicar, s.f.), se describe su función y componentes en la tabla 1.

Tabla 1.

Descripción de la función y componentes de los sistemas de un tanque criogénico. (Oxicar, s.f.)

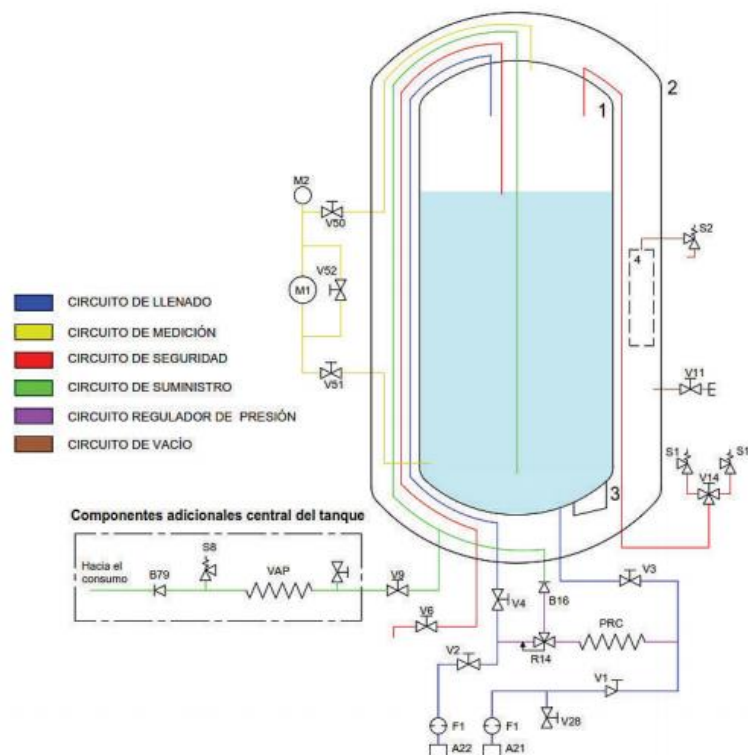
| Sistema o circuito | Función | Componentes |
|----------------------|---|---|
| Llenado | Efectuar el llenado del tanque, puede ser por el fondo, por encima o por ambos en conjunto. | Toma de llenado, filtro y válvulas criogénicas. |
| Regulador de presión | Elevar o disminuir la presión. | Vaporizador, filtro, válvula check, válvula criogénica de compuerta, válvula de seguridad y disco de ruptura. |
| Economizador | Permitir la salida de gas por el tubo de líquido (aprovecha el exceso de gas en el tanque) | Regulador economizador, válvula check y válvula de |
| Medición | Medir el volumen de líquido existente en el tanque | Válvula de distribución de cuatro vías, indicador de nivel |

| | | |
|-----------|--|---|
| | | y manómetro de presión |
| Seguridad | Dejar escapar el gas si hay un aumento excesivo de presión a causa de algún imprevisto | Válvula de seguridad, regulador PER, válvula de nivel máximo, válvula de medición de vacío y válvula de seguridad vacío |
| Vacío | Medir y efectuar el vacío al tanque | Válvula para hacer vacío y válvula de medición |

Figura 2.

Partes y sistemas de un tanque criogénico para gases atmosféricos (Argón y Oxígeno).

(European Industrial Gases Association [EIGA], 2013, como se citó en Imbaquingo, 2016)



Se especifican los componentes de un tanque criogénico para gases atmosféricos en la tabla 2, a continuación

Tabla 2.

Componentes específicos de un tanque criogénico de gases atmosféricos. (Imbaquingo, 2016)

| Código | Componente | Código | Componente |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Tanque interno | V14 | Válvula de tres vías |
| 2 | Tanque externo | V50 | Válvula instrumental |
| 3 | Absorbente de humedad | V51 | Válvula instrumental |
| 4 | Filtro de retención de perlita | V52 | Válvula instrumental |
| A1 | Toma de llenado | R14 | Regulador PER |
| F1 | Filtro | PRC | Vaporizador |
| V1 | Válvula de llenado inferior | S ₁ , S ₁ ' | Válvula de seguridad |
| V2 | Válvula para llenado superior | B16 | Válvula de retención |
| V3 | Válvula fase líquida | V11 | Válvula de medición de vacío |
| V5 | Válvula fase gaseosa | S2 | Válvula de seguridad vacío |
| V6 | Válvula de nivel máximo | M ₁ /L ₁ | Indicador de nivel de líquido |
| V9 | Válvula de suministro | M ₂ /PI | Manómetro de presión |

Nota: La tabla 2 contiene los componentes específicos de un tanque criogénico que están indicados en la figura 1.

Mantenimiento

El Mantenimiento está definido como una disciplina cuya finalidad es mantener las máquinas y el equipo en un estado de operación, lo que incluye servicio, inspecciones, ajustes, remplazo, reinstalación, calibración, reparación y reconstrucción (Yoldi, 2019). El objetivo de las actividades de mantenimiento principalmente es, disminuir costos y aumentar los ingresos; y más allá de eso, extender el ciclo de vida de los activos físicos, la reducción de componentes que necesiten ser reemplazados y aumentar la rentabilidad y la eficiencia (Sánchez Gómez, 2017)

Principalmente hay tres tipos de mantenimiento:

Predictivo. Su objetivo es anticipar la ocurrencia de un fallo en un equipo, basándose en los datos relativos al estado de dicho equipo (Rey S.), determina el estado del equipo antes de que se

produzca una avería (Drawosky et al., 2018). Permite una programación conveniente del mantenimiento correctivo y evitar fallas inesperadas del equipo.

Preventivo. Es un tipo de mantenimiento programable que se realiza regularmente a un equipo para disminuir la probabilidad de que falle (Saraiva, 2016). Se realiza una revisión general mientras el equipo todavía está funcionando (Sánchez Gómez, 2017). Consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar la falla antes de que ocurra.

Correctivo. Es una tarea de mantenimiento realizada para identificar, aislar y rectificar una falla, de modo que el equipo, la máquina o el activo defectuoso puedan restaurarse a una condición operativa dentro de las tolerancias o límites establecidos para las operaciones en servicio (Sourget, 2020)

Riesgo

El riesgo es la posibilidad o probabilidad de que una persona sea perjudicada o experimente un efecto adverso para la salud si se expone a un peligro (Canadian Centre for Occupational Health & Safety (CCOHS), 2020). En el decreto 1072 de 2015 “Reglamento interno de trabajo” se define riesgo como la combinación de la probabilidad de que ocurra una o más exposiciones o eventos peligrosos y la severidad del daño que puede ser causada por estos (Ministerio del Trabajo, 2016), los tipos de riesgos comunes que se pueden presentar son: biológico, químico, ergonómico, físico, psicosocial y de seguridad.

Evento adverso

El Invima define evento adverso como cualquier suceso médico desafortunado que puede presentarse durante un tratamiento con un medicamento, pero no tiene necesariamente relación

causal con el mismo (Invima, 2018). Aunque principalmente se está referido a un incidente o daño a un paciente, también puede estar enfocado en un operador o en el medio ambiente (Ministerio de Protección Social, 2005)

Revisión de la Literatura

Una revisión de la literatura es una descripción completa de todo el conocimiento disponible sobre un tema específico hasta la fecha (Snyder, 2019). Examina libros, artículos académicos y cualquier otra fuente relevante para un tema particular, área de investigación o teoría, y al hacerlo, proporciona una descripción, resumen y evaluación crítica de estos trabajos en relación con el problema de investigación que se está planteando y/o investigando (Burgers et al, 2019). La revisión de la literatura es uno de los pilares en los que se apoya su idea de investigación, ya que proporciona contexto, relevancia y antecedentes del problema de investigación que está explorando (Calle, 2016)

La clasificación de revisión de la literatura se describe en la tabla 3, a continuación:

Tabla 3.

Tipos de revisión de la literatura

| Tipos de revisión | Descripción |
|--------------------------|--|
| Sistemática | Esta revisión tiene como objetivo resumir y estructurar claramente cierta información orientada a responder una pregunta clínica o científica específica (Moreno et al., 2018). También son llamadas como investigaciones síntesis o revisiones de investigación (Siddaway et al., 2019). |
| Narrativa | Una revisión de la literatura narrativa o tradicional es un análisis exhaustivo, crítico y objetivo de los conocimientos actuales sobre un tema (Baker, 2016) Son una parte esencial del proceso de investigación y ayudan a establecer un marco teórico y un enfoque o contexto para la investigación. (Grant et al. 2009, citado por Charles Sturt University, 2017) |

| | |
|---------------|---|
| Crítica | Evalúa una teoría o hipótesis mediante el examen crítico de los métodos y resultados de los estudios primarios, a menudo con una gran cantidad de antecedentes y material contextual, aunque no utiliza el enfoque formal de una revisión sistemática (Higgins & Green, 2011) |
| Argumentativa | Examina la información de forma selectiva para apoyar o contradecir un argumento (Univerity Libraries, 2019). |
| Integrativa | En este tipo de revisión revisa, critica y sintetiza la información relevante de un tema de forma integrada para crear nuevos conocimientos y perspectivas de dicho tema (Torraco, 2016) |

Marco legal

Debido a que el oxígeno es usado como gas medicinal para tratamiento de diferentes patologías existen normas y códigos nacionales e internacionales, donde están estipulados parámetros específicos para la correcta manipulación de gases medicinales, también aspectos relacionados con el almacenamiento y la infraestructura del lugar de acopio, la protección para el personal de mantenimiento y especificaciones de materiales para tanques de almacenaje de gases. Así mismo, existen normas para el mantenimiento de los tanques que contienen el oxígeno líquido en la fábrica o en el lugar donde se utiliza.

Normas Internacionales:

NFPA 55. Norma para el almacenamiento, uso y manejo de gases comprimidos y fluidos criogénicos en contenedores portátiles y estacionarios, Cilindros y Tanques (National Fire Protection Association (NFPA), 2005)

Norma OSHA. El Congreso de Estados Unidos creó la OSHA en 1970 durante el gobierno Nixon para que los hombres y las mujeres trabajaran en condiciones seguras y saludables mediante el establecimiento y la aplicación de normas y la capacitación, programas y actividades de alcance, educación y asistencia para el cumplimiento. En el marco jurídico de la OSHA, los

empleadores tienen la responsabilidad de proporcionar un lugar de trabajo seguro y saludable a sus empleados (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), 1970)).

NFPA 99. Norma norteamericana fundada en 1896 para gases medicinales de especificaciones en manejo de tanques criogénicos de gases medicinales. El Código de establecimientos de atención médica hace que los criterios de rendimiento sean más utilizables, exigibles y adoptables. Esta norma proporciona criterios de desempeño para las instalaciones de atención médica que siguen un enfoque basado en el riesgo, donde es el riesgo planteado para los pacientes y el personal, no el tipo de edificio, que define las pautas de seguridad (NFPA, 2018).

NTP 51. Almacenamiento de Oxígeno, esta norma está básicamente extractada de los códigos 50 y 51 de la National Fire Protection Association. Su aplicación queda limitada a instalaciones de oxígeno (almacenamientos y centros de distribución), con una capacidad superior a 12 m³. Para otras condiciones de seguridad tales como recipientes, válvulas, canalizaciones, etc. (Villanueva Muñoz, 2004)

Normas Colombianas:

NTC 2880 DE 2005. Transporte de Mercancías peligrosas clase 2. Condiciones de transporte terrestre, requisitos que debe cumplir el transporte y el manejo terrestre de cilindros que contengan mercancías peligrosas de la clase 2, tales como gases comprimidos, gases licuados (excepto GLP), gases disueltos bajo presión y líquidos criogénicos (Ministerio de Transporte, 2005).

Resolución 4410 de 2009. tiene por objeto establecer el reglamento técnico que contiene el Manual de Buenas Prácticas de Manufactura, a través del cual se señalan los requisitos que

deben cumplir los gases medicinales en los procesos de fabricación, control de calidad y comercialización por parte de la industria y de las instituciones prestadoras de servicios de salud, con el fin de proteger la vida y la salud humana (Ministerio de Protección Social, 2009)

Resolución 2011012580 de 25 de abril de 2011. Esta norma guía de inspección de Buenas prácticas de Manufactura BPM que deben cumplir los Gases Medicinales en los procesos de fabricación, llenado, control de calidad, distribución y comercialización, acorde con lo establecido en la resolución 4410 de 2009 (Invima, 2011).

Norma NTC 5198 de 2013. Equipo de limpieza para servicio de oxígeno, en esta norma se describe los procedimientos previstos para la limpieza de equipos usados en la producción, almacenamiento, distribución y uso de oxígeno líquido y gaseoso. Por ejemplo, tanques fijos de almacenamiento, carro-tanques, tanques criogénicos, así mismo, válvulas y componentes e instrumentación, entre otros (Icontec, 2013)

Resolución 2876 de 2013. Reglamento técnico aplicable a la información del estampe original, etiquetado y aspecto físico de cilindros transportables sin costuras o sin soldaduras, de alta presión para gases industriales y medicinales, que se importen o se fabriquen nacionalmente para su comercialización o uso en Colombia, con el fin de prevenir prácticas que puedan inducir a error a los consumidores o usuarios y a la seguridad de estos productos (Ministerio de Comercios, Industria y Turismo, 2013).

Resolución No. 1066 del 2020. Tiene como objetivo establecer requisitos sanitarios transitorios para la comercialización, distribución, dispensación, entrega no informada, almacenamiento y transporte de medicamentos, productos fitoterapéuticos, dispositivos médicos, equipos médicos y

reactivos de diagnóstico in vitro, así como para autorizar la fabricación de gases medicinales en Instituciones Prestadoras de Servicio de Salud-IPS (Ministerio de Salud, 2020).

- Artículo 5: Autorización de fabricación de gases medicinales en IPS.

En este artículo se describe la documentación necesaria para que las IPS interesadas en fabricar gases medicinales en sitio, presenten una solicitud ante el INVIMA, para obtener autorización. Alguno de estos documentos o información solicitada es: Descripción y fotografías del sistema de obtención de gases medicinales, la prueba de fugas y gases cruzados de la red de distribución intrahospitalaria, la guía de autoevaluación del cumplimiento de los requisitos señalados suscrita por el representante legal de la IPS, entre otros.

Metodología

En este capítulo se describe el proceso metodológico utilizado para cumplir con el objetivo del proyecto, teniendo así que, la metodología para el presente trabajo es de tipo cualitativa, ya que el análisis de los datos se realizará de forma interpretativa. Por lo anterior, se plantea la siguiente secuencia de pasos para responder los planteamientos del presente documento:

Revisión de literatura

En la revisión de la literatura de forma estándar, se realizó una investigación de la información relacionada con el tema, que busca responder a la pregunta ¿Cómo determinar y describir los riesgos asociados a los procedimientos y métodos que se desarrollan en el mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido medicinal que eviten incidentes en los operadores?

En esta búsqueda se determinó usar una serie palabras claves en castellano y en inglés, para así, encontrar la información más acorde con el tema. El criterio de búsqueda fue Mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno medicinal (En inglés, Cryogenic liquid oxygen tank maintenance). Esta investigación se realizó en dos bases de datos bibliográficas especializadas ScienceDirect y Google Académico, con la finalidad de identificar la fuente primaria de las publicaciones para que la información sea coherente y tenga un aporte científico o de estudio significativo. También se incluyó literatura gris como manuales, documentos de trabajo tales como proyectos de investigación en el contexto de pregrado, maestría y doctorado, publicados entre el año 2016 al 2020.

Los criterios de exclusión de esta revisión fueron los siguientes:

- No se tuvo en cuenta páginas web, blogs, presentaciones gráficas en power point, tampoco documentos o información que no presentará referencias bibliográficas que probará la veracidad de su contenido.
- No se analizaron documentos anteriores al 1 de enero del 2016 ni posteriores al 23 de septiembre del 2020.
- En Sciencedirect se filtró y descarto la información de enciclopedias, capítulos de libros, reporte de casos, resúmenes de conferencias, comunicaciones cortas y otros. Y en Google Académico no se incluyeron patentes ni citas.

Se realizó esta discriminación con el fin de que la búsqueda y los documentos fueran específicos y lo más acorde con los planteamientos de la investigación.

Análisis de la información

Para el análisis se realizó un cuadro resumen para cada base de datos donde se ordenó y clasificó la información, los ítems fueron los siguientes: Título del documento, autor, año de publicación y descripción. A partir de lo anterior se realizó una revisión inicial, donde solo se tuvo en cuenta el título y resumen de cada documento, y de acuerdo a los criterios de búsqueda, a los criterios de inclusión y exclusión, y a un determinado análisis se procedió a descartar aquellos documentos o escritos que no contenían información concorde al tema de la investigación. Luego, se realizó una segunda revisión de los documentos resultantes, estos fueron analizados y leídos completamente, para así descartar los que por su contenido definitivamente no se relaciona con la investigación y se determinó cuáles documentos contenían información relacionada directa o indirectamente.

Clasificación y priorización de riesgos

La clasificación y priorización de riesgos se realizó con base al resultado del análisis de la información, por medio de una tabla se procedió a revisar si la información clasificada como riesgos se repetía. Los ítems analizados fueron: Tipo de documento, cantidad, tipo de riesgo, recurrencia, frecuencia, causas y consecuencias.

Se realizó la priorización de los riesgos, teniendo en cuenta los de mayor frecuencia de repetición en la información analizada. Con este hallazgo se dio paso al análisis de la clasificación y priorización y posterior caracterización de los riesgos asociados a los procedimientos y métodos que se desarrollan en el mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido medicinal.

Descripción del procesamiento estadístico de los datos

Se realizó el procesamiento estadístico de los datos utilizando estadística descriptiva, a partir de tablas de frecuencia y su correspondiente gráfica.

Resultados

Revisión de literatura

El resultado de la revisión literaria en las dos bases de datos fue el siguiente: en Google Académico se hallaron 583 referencias, en su mayoría proyectos de investigación para obtener título de pregrado, maestría o doctorado y también capítulos de libros. Por otro lado, en la base de datos de ScienceDirect se encontraron 300 referencias para artículos de investigación y 128 artículos de revisión. El criterio de búsqueda seleccionado fue: Riesgos en el mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno, en español y en inglés.

Análisis de la información

Para el análisis de la información se realizó un cuadro resumen, para cada base de datos, donde la información necesaria se clasificó con los siguientes ítems: Título del documento, autor, año de publicación, descripción, información importante y/o conclusiones. Posteriormente con base al título y resumen del artículo o proyecto de grado, se realizó una revisión inicial, donde se identificaron y descartaron los documentos que no se relacionan directamente con el criterio de búsqueda (Tabla 4). De esta primera revisión se obtuvo:

Tabla 4.

Resultados primera revisión.

| Base de datos | Total documentos | Cantidad documentos descartados | Cantidad de documentos repetidos | Cantidad de documentos relacionados |
|------------------|------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Google Académico | 583 | 562 | 14 | 7 |
| Sciencedirect | 428 | 396 | 1 | 31 |
| Total | 1011 | 958 | 15 | 38 |

Nota: Creación propia

Teniendo en cuenta la tabla anterior, de los 584 documentos obtenidos en la búsqueda de Google Académico, se excluyeron 563, 14 son duplicados y solo 7 documentos tienen coincidencia directa con el tema de mantenimiento de tanques criogénicos y el procedimiento que se debe realizar o por su título y/o resumen queda el interrogante de si sirve o no, por ende, se decide una segunda revisión. La exclusión de dichos documentos se realizó no solo porque no tenían relación significativa con el tema, sino que también porque no permiten acceso o no están en el repositorio de la institución a la que pertenecen y/o pide inscripción previa para el acceso al documento o para otros documentos su link o página ya no estaba disponible en la web.

En la base de datos Sciencedirect la mayoría de los documentos son artículos de investigación o revisión de artículos; todos en inglés, solo 2 son capítulos de libros. En este caso se obtuvo acceso a todos, y al igual que en Google Académico se excluyeron los artículos que no tenía relación alguna con el tema y se escogieron solamente lo que según su título, resumen y palabras clave podrían brindar algún aporte en la investigación y los que no cumplían con los criterios de inclusión y exclusión. A partir de lo anterior, de los 428 documentos, se descartaron 396, 1 era un duplicado y 31 quedaron para segunda revisión.

En total de los 1011 documentos, 15 fueron duplicados, 958 se descartaron y 38 se eligieron para segunda revisión.

En una segunda revisión, se realizó un análisis más detallado de cada documento, para verificar que la información contenida se relaciona en gran parte o totalmente con el tema. De esta revisión se obtuvo (Tabla 5):

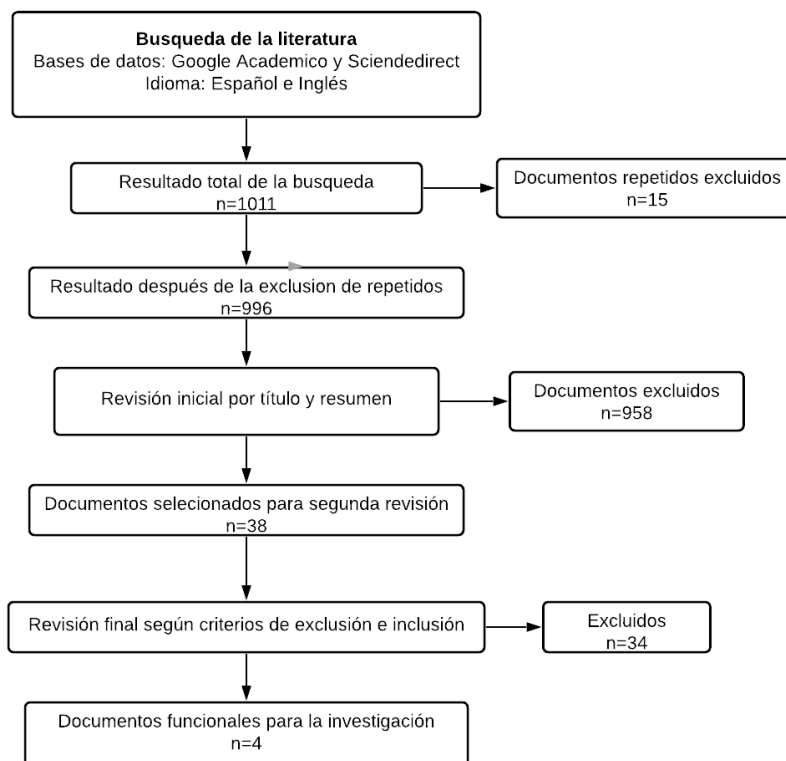
Tabla 5.*Resultados segunda revisión.*

| Base de datos | Total de documentos | Cantidad documentos descartados | Cantidad de documentos relacionados |
|----------------------|----------------------------|--|--|
| Google Académico | 7 | 7 | 0 |
| Sciencedirect | 31 | 27 | 4 |
| TOTAL | 38 | 34 | 4 |

Nota: Creación propia

De los 38 documentos seleccionados, se descartaron 34 y se eligieron 4 documentos que describen o presentan información relacionada con el tema. Aunque se evidenció que en el contenido de estos documentos resultantes no se describe específicamente los riesgos asociados con el mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido, pero si los riesgos presentes con el uso de tanques criogénicos o riesgos con la manipulación de sustancias o elementos a temperaturas criogénicas, como argón e hidrógeno. En la figura 3, se describe por medio de un flujograma los resultados de la revisión literaria y en el Anexo 1- Resumen Revisión de Literatura, se presenta los resultados de la búsqueda.

Figura 3.*Flujograma revisión de literatura*



Nota: Elaboración propia.

Clasificación y priorización de riesgos

La clasificación y priorización de riesgos se realizó con base al resultado del análisis de la información, por medio de una tabla se procedió a caracterizar los riesgos que se repetían o describen en los documentos. Los ítems analizados fueron: Tipo de documento, cantidad, tipo de riesgo, frecuencia, causas y consecuencias (Tabla 6)

Se realizó la priorización de los riesgos, teniendo en cuenta los de mayor frecuencia de repetición en la información analizada. Con este hallazgo se dio paso al análisis de la caracterización de los riesgos asociados a los procedimientos y métodos que se desarrollan en el mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido medicinal.

Como resultado de la revisión de la literatura, la información encontrada finalmente no corresponde, en su mayoría, específicamente a riesgos en el mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido, si no que de otros líquidos criogénicos como argón e hidrógeno, se consideró esta información porque presenta relación con el tema, dado que estos gases están almacenados en tanques criogénicos y en el contenido de los artículos describen los riesgos de que se presentan con estos en actividades de mantenimiento o cuando no hay un buen manejo de estos. Solo uno describe los riesgos asociados a la manipulación de oxígeno líquido, y está más enfocado en fallos en el suministro de oxígeno en pacientes en el área clínica. Los documentos finales son los siguientes:

En el artículo “Fallos en el suministro de oxígeno”, los autores (Botney et al., 2020) describen principalmente los riesgos y fallos que se pueden presentar en cuanto al suministro de oxígeno por medio de una máquina de anestesia, pero además resalta que hay que conocer todo el proceso anterior a dicho suministro, dado que también se presentan problemas con el transporte, almacenamiento y en general con la manipulación del oxígeno y en los cilindros o recipientes y componentes donde está contenido este elemento. Asocian la diferentes instituciones, asociaciones, normas y códigos que rigen todo lo relaciona con gases comprimidos, cilindros, sustancias peligrosas y demás, como la Asociación de Gas Comprimido (CGA), la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA), Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), entre otras.

Los cilindros que contienen oxígeno deben tener manipulaciones, transporte y almacenamiento rigurosos, tales como: deben estar bien sellados y en posición vertical, deben

separarse de otros cilindros que contengan otras sustancias no médicas o estén vacíos; el oxígeno como sustancia oxidante no debe almacenarse junto a agentes inflamables.

En el segundo artículo “Evaluación cuantitativa de la seguridad de los fallos del control de la presión de una instalación criogénica subterránea a gran escala” los autores describen la naturaleza y fuentes de riesgos asociados al manejo y almacenamiento de argón en tanques criogénicos, almacenar una gran cantidad de argón deriva la posibilidad de que el tanque pierda contención y se libera este gas, lo que hará que en el lugar aumente la concentración de argón y la temperatura disminuya considerablemente lo que puede afectar la salud de las personas que se encuentre cerca, tan graves como muerte por asfixia o frío y también ocasiona daños estructurales en la zona (Marcoulaki, 2018).

El documento “Infraestructura de hidrógeno: enfoque eficiente de evaluación de riesgos y optimización del diseño para garantizar soluciones seguras y prácticas” (Hansen, 2020) está basado en el gas hidrógeno, donde realizan una evaluación de riesgos asociados con el manejo en general de este elemento, así mismo describe algunos incidentes que han ocurrido en diferentes años, países y áreas por manipulación inadecuada de tanques o recipientes contenedores y del hidrógeno en general.

Algunos de los principales escenarios de preocupación para la evaluación de riesgos pueden ser los siguientes: Fugas en las conexiones de los cilindros o recipientes de almacenamiento, descargas de tuberías, válvulas e instrumentos, también puede provocar grandes chorros de agua, incendios repentinos o explosiones.

Por último, en el artículo “Análisis integral de comprensión de hidrógeno y transporte por tuberías desde aspectos de termodinámica y seguridad” los autores (Witkowski et al., 2017)

describen una evaluación de riesgos donde se realiza la identificación de escenarios peligrosos en los procesos de producción y transporte de hidrógeno. Las causas más frecuentes que conllevan a fallos peligrosos relacionados con las actividades mencionadas anteriormente, son daños por corrosión, defectos en los materiales, fallos mecánicos y/o daños efectuados por errores humanos.

Uno de los escenarios más peligrosos que puede presentarse, relacionado con el transporte de hidrógeno, es el incendio por chorro de gas liberado, un escape violento de gas puede ocasionar una fuerte explosión o un fenómeno BLEVE (Expansión explosiva del vapor de un líquido en ebullición).

También se muestra una tabla con valores de la radiación que puede ser liberada en un escape de chorro de hidrógeno si hay presencia de flama; si el escape que se presenta se mantiene en estado frío habrá quemaduras en la piel expuesta del afectado (tabla 6).

Tabla 6.

Consecuencias negativas del fuego para el ser humano.

| Radiación de calor | Consecuencias para el ser humano |
|---------------------------|--|
| $\leq 1,6 \text{ kW/m}^2$ | No hay daños por exposición prolongada |
| $4-5 \text{ kW/m}^2$ | Dolor para una exposición de 20 segundos |
| $12,5 \text{ kW/m}^2$ | Dolor extremo en 20 s, quemadura de primer grado |
| 25 kW/m^2 | Lesión significativa en 10 s |
| $35-3,5 \text{ kW/m}^2$ | Muerte en 1 minuto |

Tabla 7.*Caracterización de riesgos.*

| Tipo documento | N° docs. | Riesgo | Frecuencia | Causas | Consecuencias |
|-----------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------|---|---|
| Artículo | 4 | Fuga o escape de producto | 4 | Sobrepresión del tanque, válvula conectada incorrectamente | Zona con temperatura baja, en caso de presencia de personal, daños en su salud. |
| | | Incendio o explosión | 4 | Combinación con materiales combustibles, grasas o aceites | Afectaciones estructurales y en la salud de los trabajadores o personal que esté cerca al área |
| | | Corrosión o defectos en materiales | 2 | Elementos fabricados con materiales incorrectos, defectos de fabrica | Pérdida del producto y deterioro o daño en la salud humana |
| | | Fallo del tanque o en sus componentes | 2 | Fallos humanos | Fugas de producto |
| | | Muerte o lesión | 2 | Mal manejo del tanque o producto que lleve a un incendio, explosión o escape masivo del producto almacenado | Afectaciones permanentes en la salud del personal técnico o persona que se encuentre en la zona |

De la revisión de la literatura no se obtuvieron resultados favorables para poder clasificar los riesgos asociados al mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido. Los autores describen los riesgos asociados al almacenamiento, transporte, manipulación y mantenimiento de fluidos criogénicos y dado que, el oxígeno en estado criogénico es líquido, por ende, es un fluido (Texas Engineering Experiment Station (TEES)), se puede inferir en que los riesgos son similares o los mismos a los encontrados en los artículos revisados.

Procesamiento de los datos

Se realizó el procesamiento estadístico de los datos utilizando estadística descriptiva, a partir de una tabla de frecuencia (Tabla 8) y su correspondiente gráfica (Figura 4). Con el fin de ordenar mejor el resultante de la información sobre riesgos y tener una descripción de dicha información de manera cuantitativa.

Tabla 8.

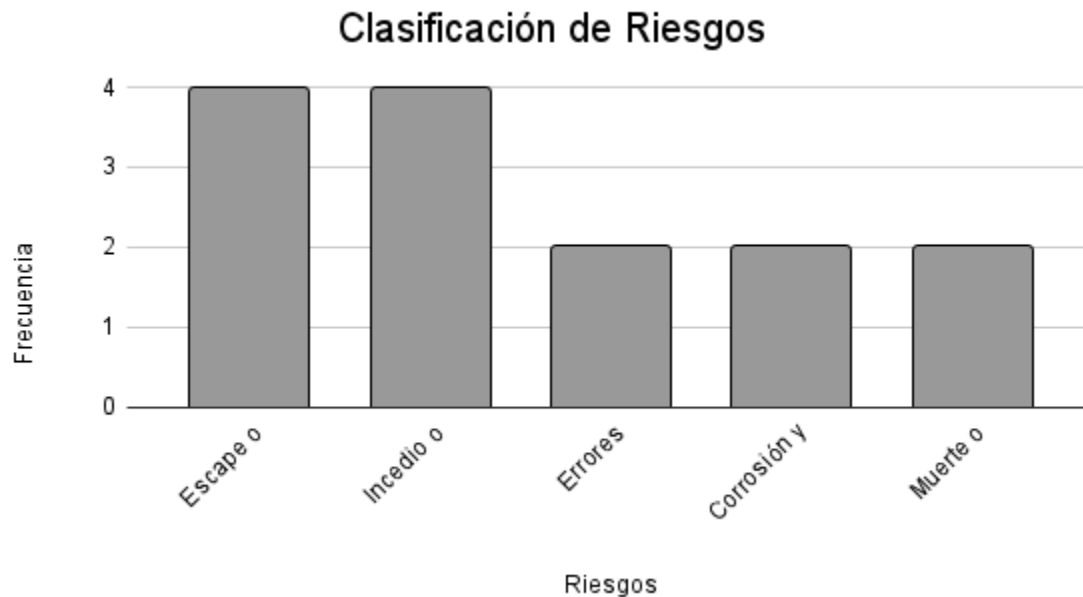
Procesamiento estadístico de datos

| Riesgo | Frec. | Frec. Relativa (0-1) | (%) | Frecuencia Acum. | Frecuencia Rel. Acum. |
|--|--------------|---------------------------------|------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Escape o fuga del producto | 4 | 0,36 | 23,52 | 4 | 0,23 |
| Incendio o explosión | 4 | 0,36 | 23,52 | 12 | 0,70 |
| Errores humanos | 2 | 0,18 | 11,76 | 6 | 0,35 |
| Corrosión y defectos de los materiales | 2 | 0,18 | 11,76 | 8 | 0,47 |
| Muerte o lesión | 2 | 0,18 | 11,76 | 17 | 1 |
| Total | 17 | 1 | 100 | | |

Nota: Frec. =Frecuencia, Rel.=Relativa, Acum. =Acumulada

Figura 4.

Gráfica del procesamiento estadísticos de los datos.



Teniendo en cuenta la tabla 5 y la figura 3, se puede evidenciar que los riesgos con mayor frecuencia son: escape o fuga del producto e incendio o explosión, cada uno de ellos con una frecuencia de 4. Las consecuencias de estos dos riesgos van desde quemaduras o lesiones criogénicas, puede ser en piel, ojos u otras partes del cuerpo hasta la muerte.

Se considera que los riesgos mencionados anteriormente son los más frecuentes, debido a todas las posibles fallas que se presentan en cuanto al almacenamiento, transporte, mantenimiento y en general a la manipulación de tanques criogénicos que contienen sustancias, entre otros como el oxígeno líquido, en conjunto y por separado. Por ejemplo, que no se cumpla lo descrito en los códigos y normas que rigen estos elementos, donde en algunas de ella se describen las precauciones que se deben de tener con el uso de oxígeno, debido a que es una

sustancia que reacciona violentamente con otras como grasas y aceites, también es oxidante y comburente y al contacto con materiales, elementos o sustancias inflamables o combustibles puede producir una explosión.

Algunos autores en sus artículos mencionan la importancia de que el lugar de almacenamiento de tanques que contengan fluidos criogénicos, estén bien ventilados y a temperaturas específicas o sin cambios bruscos de esta, debido a que, si existe una fuga de alguna sustancia y se combinan con el oxígeno existente en el ambiente, se puede producir un incendio o explosión. Así mismo describen que los materiales de fábrica de los tanques almacenadores deben ser los adecuados para contener sustancias a temperaturas criogénicas y los más importante que no reaccionen de forma negativa con ella.

También, como lo describe (Hansen, 2020), se pueden presentar incidentes con fugas cuando los componentes del sistema o del tanque no están conectados correctamente, por ejemplo, las válvulas, las tuberías o instrumentos, lo que puede provocar escapes de sustancia y bolas de fuego.

Los demás factores como errores humanos, los cuales se pueden detectar y mejorar con los procesos de mantenimiento y protocolo de funcionamiento de mantenimiento. En cuanto a la corrosión que también es un factor evitable se puede establecer o hacer cumplir la normatividad sobre uso de materiales en su fabricación. Por otro lado, el riesgo de muerte que, aunque no es frecuente es un desenlace de alto impacto, es posible minimizar su ocurrencia cuando se trabaja con equipos de personal capacitado y con experiencia en la manipulación de tanques criogénicos.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente y la caracterización de los riesgos se puede inferir en que las actividades de mantenimiento para tanques criogénicos de oxígeno líquido y en general de fluidos criogénicos, pueden contribuir a que los riesgos más frecuentes no se transformen en incidentes, accidentes o eventos adversos, debido a que, si el tanque se mantiene en buenas condiciones, las fallas se corrigen en el momento y se tiene un control de estas, la frecuencia de los riesgos puede disminuir. Se pueden enfocar en las actividades, procedimientos y métodos de mantenimiento para disminuir los riesgos asociados.

Conclusiones

Se considera que este proyecto abre una puerta a un área relevante de investigación; es evidente que el mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido medicinal no es un tema del cual haya mucha información, pero es de gran importancia, ya que el oxígeno hoy en día es un elemento indispensable para el cuidado de la salud humana.

La finalidad de este proyecto era caracterizar los riesgos asociados a los procedimientos y métodos que se desarrollan en el mantenimiento de tanques criogénicos de oxígeno líquido medicinal, mediante la revisión de literatura asociada. En esta revisión de literatura en el momento de la investigación la información no fue suficiente ni enfática en el tema de interés, solo se logró describir algunos de los riesgos más frecuentes con el uso de tanques criogénicos y/o de algunos fluidos criogénicos diferentes al oxígeno líquido.

La información encontrada en la revisión de la literatura sobre riesgos no es específica del tema de investigación, pero sí describe los riesgos asociados al almacenamiento, transporte, mantenimiento y manipulación en general de cilindros y tanques de fluidos criogénicos, y dado que, el oxígeno en estado líquido es criogénico y es un fluido, se puede inferir, que los riesgos son similares o los mismos, de los demás gases de los que se hablan en la literatura encontrada.

De la revisión de la literatura se concluyó que los riesgos más frecuentes son: riesgo de fuga o escape del gas almacenado, riesgo de explosión o incendio debido a características propias del producto, riesgo de errores humanos, por desconocimiento o falta de capacitación, riesgo de daños o defectos estructurales y de materiales, riesgo de lesiones criogénicas y/o

muerte por asfixia o frío. Pero los dos riesgos más frecuentes descritos en los artículos encontrados son: el riesgo de fuga o escape y el de incendio o explosión.

Algunas normas en el contexto internacional y nacional que rigen el proceso, tratamiento, manipulación y uso del oxígeno líquido describen los procedimientos requeridos para manipular gases comprimidos, así mismo, existen normas para el mantenimiento de los tanques que contienen el oxígeno líquido en la fábrica o en el lugar donde se consume, también de aspectos relacionados con el almacenamiento y la infraestructura del lugar de acopio, la protección para el personal de mantenimiento y especificaciones de materiales para tanques de almacenaje de gases. Cabe aclarar que las normas citadas para el mantenimiento en plantas de gases medicinales, en donde se incluyen los tanques criogénicos, no categorizan ni estandarizan el procedimiento que se debe realizar.

Teniendo en cuenta la información analizada en esta investigación, se puede deducir que, los accidentes donde se involucran los fluidos criogénicos no son fácilmente encontrados debido a que la información no es de acceso público, o no se tienen en cuenta como casos de estudio. Aunque en algunos de los artículos se presentan y describen casos o incidentes con gases medicinales, atmosféricos o fluidos criogénicos estos no son recientes.

Por último, se consideró que tener conocimiento de los riesgos, puede ayudar a mitigar o prevenir posibles incidentes, accidentes o eventos adversos; teniendo en cuenta la caracterización de riesgos y un conocimiento detallado de causas y consecuencias, se pueden generar soluciones adecuadas que ayuden a prevenir o evitar daños humanos o estructurales relacionados con los fluidos criogénicos.

Bibliografía

- Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA). (1970). Ley OSH. Estados Unidos.
- AEMPS. (Febrero de 2020). *Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios*.
Obtenido de
https://www.aemps.gob.es/legislacion/espana/medicamentosUsoHumano/RD_1345.htm
- Air Liquide. (13 de Enero de 2021). *Industrial Air Liquide*. Obtenido de
https://industrial.airliquide.com.ar/sites/industry_ar/files/sds/2021/01/18/msds-o2-comprimido.pdf
- Alfaro, M. E. (2013). Analisis de costo-beneficio en la implementación de una planta concentradora de oxígeno a través del proceso de adsorción por cambio de presión (PSA), para uso medicinal del mismo, en Instituciones de salud de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires . Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales.
- Algarra, D. (2020). DISEÑO DE UN DEPÓSITO PARA ALMACENAMIENTO CRIOGÉNICO DE 50 M3 DE OXÍGENO LÍQUIDO . Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Arévalo Valencia, L. A., & Ramírez Sanz, S. J. (Septiembre de 2018). Mejora la disposición del área de envasado de la empresa Meller gases de Perú sede Callao. Lima, Perú.
- Baker, J. (2016). The Purpose, Process and Methods of Writing a Literature Review. *AORN Journal*.
- Barthelemy, H., Weber, M., & Barbier, F. (2016). Hydrogen storage: Recent improvements and industrial perspectives. *Hydrogen Energy*.
- Botney, R., Answine, J., & Cowles, C. (2020). Failures of the Oxygen. *Anesthesiology The Clinic*, 900-919.
- Burgers, C., Brugman, B., & Boeynaems, A. (2019). Systematic literature reviews: Four applications for interdisciplinary research. *Journal of Pragmatics*, 102-109.
- Calle, A. (2016). Metodologías para hacer la revisión de literatura de una investigación. *Universidad Católica de Santiago*.

- Canadian Centre for Occupational Health & Safety (CCOHS). (10 de Julio de 2020). *Canadian Centre for Occupational Health & Safety (CCOHS)*. Obtenido de https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/hazard_risk.html
- Carbonari, E. G. (2018). Reparación y planificación del mantenimiento de tanques criogénicos, para gases atmosféricos y dióxido de carbono. La Plata, Argentina: Universidad Tecnología Nacional.
- Charles Sturt University. (2017). *Charles Sturt University-Library*. Obtenido de <https://libguides.csu.edu.au/review/Types>
- Cruz, D. (2017). Aplicaciones para gases y equipos en usos medicinales y biotecnológicos. *El Hospital*, 1-2.
- Drawosky, K., & Skrzypek, K. (2018). The Predictive Maintenance Concept in the Maintenance Department of the “Industry 4.0” Production Enterprise. *Foundations of Management*.
- Fospibay. (21 de Julio de 2020). *Fospibay.com*. Obtenido de <http://fospibay.com/wpagina/blog/2020/07/21/tanque-criogenico-ya-esta-en-funcionamiento/>
- García, M. Á., Ibañez, S., & Díaz, A. (Junio de 2018). Estrategia multidisciplinar para reducir errores en el uso de los gases medicinales. Madrid, España.
- Gómez C, A. M. (2008). *Sura*. Obtenido de ARL Sura: https://www.arlsura.com/images/stories/documentos/fluidos_criogenicos.pdf
- Higgins, J., & Green, S. (2011). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. The Cochrane Collaboration. Obtenido de <https://es.cochrane.org>
- Icontec. (2013). Norma NTC 5198 de 2013. Colombia.
- Imbaquingo, E. (Junio de 2016). Planificación del mantenimiento para tanques criogénicos de gases atmosféricos y dióxido de carbono para la empresa Hidrocobre Cía. LTDA. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Indura S.A. (Mayo de 2015). *Cryogas.com*. Obtenido de <http://www.cryogas.com.co/Descargar/Manual%20de%20Gases%20INDURA?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F55eeecaa806047ceb293e8f1b5f58530.pdf>
- Instituto de Evaluación de Tecnologías en Salud e Investigación-IETSI. (Junio de 2017). Uso de oxígeno medicinal al 93 por ciento a pacientes oxígeno requerientes. Dictamen Preliminar

- de Evaluación de Tecnología Sanitaria N°029 SDEPFyOTS-DETS-IETSI-2017 . Lima, Perú.
- Invima. (25 de Abril de 2011). Resolución 2011012580 de 2011. Colombia.
- Invima. (2018). Reporte de eventos adversos asociados al uso de medicamentos- Grupo de Farmacovigilancia. Colombia.
- Kandoliya, P. D., & Mehta, N. C. (2017). Recent Research on Cryogenic Storage Tank: A Review. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*.
- Larrañaga Saavedra, R. A. (2019). Diagnóstico de falla en sistema de distribución de aire médico comprimido, para uso de quipo, en pacientes, dentro del hospital de gineco obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Marcoulaki, E., Venetsanos, A., & Papazouglu, L. (2018). Evaluación cuantitativa de la seguridad de los fallos de control de los fallos de presión en una instalación criogénica subterránea a gran escala. *Ingeniería de la fiabilidad y seguridad de los sistemas*.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (5 de Julio de 2013). Resolución 2876 de 2013. Colombia.
- Ministerio de Protección Social. (2005). Decreto 4725 de 2005. Colombia.
- Ministerio de Protección Social. (17 de Noviembre de 2009). Resolución 4410 de 2009. Colombia.
- Ministerio de Salud. (1 de Julio de 2020). Resolución No. 1066 del 2020. Colombia. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-1066-de-2020.pdf>
- Ministerio de Transporte. (30 de Noviembre de 2005). NTC 2880 DE 2005. Colombia.
- Ministerio de Transporte. (2013). NTC 5198 de 2013. Colombia.
- Ministerio del Trabajo. (2016). Decreto 1072 de 2015 . Colombia.
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., & Villanueva, J. (2018). Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista Clinica Periodoncia Implantol. Rehabilitación Oral*, 184-186.

- Muñoz González, N. (2019). *Repositorio*. Obtenido de Universidad Técnica Federico Santa María: <https://repositorio.usm.cl>
- National Fire Protection Association (NFPA). (2005). NFPA 55. Estados Unidos.
- NFPA. (2018). *National Fire Protection Association*. Obtenido de https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/99/TIA_99_18_2.pdf
- Osakidetza. (27 de Julio de 2016). PLIEGO DE BASES TÉCNICAS PARA EL SUMINISTRO DE OXÍGENO Y GASES MEDICINALES EN DIVERSOS HOSPITALES DE OSAKIDETZA . Euskadi, España.
- Ovalle, L., & Carranza Pedraza, J. (6 de Agosto de 2017). Manual de Gases Medicinales- SUBRED Intregada de Servicios de Salud Sur E.S.E. Bogotá, Colombia.
- Oxicar. (s.f.). *Oxicar-Empresa estrategica funcional*. Obtenido de https://www.oxicar.net/productos_tanques_sistemas.htm
- Rey S., F. (s.f.). Manual de mantenimiento integral en la empresa. FC Editorial.
- Roa Banquez, K., Marulanda, C., Contreras, M., Carlos, M., & Yepes, H. (14 de Diciembre de 2017). *Repositorio* . Obtenido de Universidad Santo Tomás: <https://repository.usta.edu.co>
- Sánchez Gómez, A. M. (2017). TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. METODOLOGIA DE APLICACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES . *Universidad Católica de Colombia*.
- Sánchez, J. (2011). MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS INDUSTRIALES Y REDES HOSPITALARIAS. Buenos Aires, Argentina. Recuperado el Octubre de 2020, de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/1139/TBM0267G.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- Saraiva, J. (2016). Basic Concepts of Maintenance. *ManWinWin Software*.
- Siddaway, A., Wood, A., & Hedges, L. (2019). How to do a systematic review: A best practice guide for conducting and reporting. *Annual Review of Psychology*.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 333-339.

- Sourget, L. (25 de Agosto de 2020). *Mobility Work*. Obtenido de <https://mobility-work.com/es/blog/estrategia-de-mantenimiento-gmao/>
- Texas Engineering Experiment Station (TEES). (s.f.). *Texas A&M University*. Obtenido de https://www.inaoep.mx/~dferrus/Safe_and_UseCryogenicGasesTraining.pdf
- Torraco, R. (2016). Writing Integrative Reviews of the Literature: Methods and Purposes. *International Journal of Adult Vocational Education and Technology*.
- Univerity Libraries. (4 de Octubre de 2019). *Univerity Libraries*. Obtenido de <https://guides.lib.ua.edu/c.php?g=39963&p=253698>
- Villanueva Muñoz, L. (30 de Septiembre de 2004). NTP 51: Almacenamiento de oxígeno. Barcelona, España.
- Witkowski, A., Rusin, A., Majkut, M., & Stolecka, K. (2017). COMPREHENSIVE ANALYSIS OF HYDROGEN COMPRESSION AND PIPELINE TRANSPORTATION FROM THERMODYNAMICS AND SAFETY ASPECTS. *Energy*, 44-100.
- Yoldi, P. (14 de Enero de 2019). *Hospitecnia*. Obtenido de <https://hospitecnia.com>

Anexos

Anexo 1. Resumen Revisión de Literatura

| TÍTULO DEL DOCUMENTO | AUTOR | AÑO | OBSERVACIONES SOBRE EL DOCUMENTO |
|---|--|------|--|
| Fallos del suministro de oxígeno | Richard Botney, Joseph F. Answine, Charles E. Cowles | 2020 | Sí, descripción de los fallos en el suministro de oxígeno |
| Evaluación cuantitativa de la seguridad de la falla del control de presión en una instalación criogénica a gran escala subterránea profunda | EC Marcoulaki, A. G. VenetsanosIA Papazoglou | 2016 | PALABRAS CLAVE: Evaluación de la seguridad, Argón criogénico, Pérdida de contención, Proceso subterráneo profundo, Sobrepresión del tanque, Detector de neutrinos. SI (Este trabajo considera el análisis de seguridad y evaluación cuantitativa de |
| Infraestructura de hidrógeno: enfoque eficiente de evaluación de riesgos y optimización del diseño para garantizar soluciones seguras y prácticas | Olav Roald Hansen | 2020 | PALABRAS CLAVES: Explosión, Seguridad del hidrógeno, Dispersión, Modelado de CFD. Sí, tema: riesgos con el uso de hidrógeno. |
| Análisis completo de la compresión de hidrógeno y el transporte por tuberías desde la termodinámica y los aspectos de seguridad. | Andrzej Witkowski, Andrzej Rusin, Katarzyna Stolecka | 2017 | PALABRAS CLAVE: Hidrógeno, Compresores, Tubería, Condiciones de asfixia, Caverna de sal, Problemas de seguridad. SI, (incendio por chorro de H2, fatal para humanos). |