

08-006

STUDY FOR THE IMPROVEMENT OF SAFETY CONDITIONS IN THE INDUSTRIAL CLEANING OF VERTICAL TANKS FOR PETROLEUM PRODUCTS

Ramirez-Peña, Magdalena ⁽¹⁾; Cerezo-Narváez, Alberto ⁽¹⁾; Otero-Mateo, Manuel ⁽¹⁾;
Foncubierta Fernández, Alejandro Javier ⁽¹⁾; Pastor-Fernández, Andrés ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Cádiz

Petroleum product tanks are facilities used for the storage or handling of petroleum products. They are designed to avoid risks with respect to damage and breakage according to applicable regulations in their context, but for their correct operation they require periodic maintenance, among which cleaning procedures must be carried out. These activities place the worker in a peculiar, confined space with the consequent risks involved and for which they are not usually designed, therefore, industrial cleaning involves a high risk. For several years, research has been carried out with the intention of reducing as much as possible the exposure of the worker to risk conditions in industrial cleaning. In the present work, a comparison will be made between the risks associated with these operations according to the application of different technologies for the industrial tank cleaning. For this purpose, by means of the Fine method, the preventive measures that manage to reduce to a greater extent the degree of danger of the activity will be known, allowing also to rank the risks according to their magnitude and to optimize the safety measures included in the projects associated with the industrial cleaning of oil tanks.

Keywords: industrial cleaning; oil tanks; occupational safety; fine

ESTUDIO PARA LA MEJORA DE CONDICIONES DE SEGURIDAD EN LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA INDUSTRIAL DE TANQUES VERTICALES DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS

Los tanques de productos derivados del petróleo son instalaciones utilizadas para el almacenamiento o manipulación de productos derivados del petróleo. Están diseñados para evitar riesgos con respecto a daños y roturas según normativa aplicable en su contexto, pero para que su funcionamiento sea correcto requiere de un mantenimiento periódico, entre los que se deben realizar procedimientos de limpieza. Estas actividades sitúan al trabajador en un espacio confinado peculiar con los consiguientes riesgos que conlleva y para los que no están habitualmente diseñados, por lo tanto, la limpieza industrial implica un alto riesgo. Desde hace varios años se vienen desarrollando investigaciones con la intención de disminuir al máximo la exposición del trabajador a las condiciones de riesgo en la limpieza industrial. En el presente trabajo se llevará a cabo una comparativa entre los riesgos asociados a dichas operaciones según se apliquen distintas tecnologías para la limpieza industrial de tanques. Para ello, mediante el uso del método Fine, se conocerán las medidas preventivas que consiguen reducir en mayor medida el grado de peligrosidad de la actividad, permitiendo además jerarquizar los riesgos según su magnitud y optimizar las medidas de seguridad incluidas en los proyectos asociados a la limpieza industrial de tanques petrolíferos.

Palabras clave: limpieza industrial; tanques petrolíferos; seguridad laboral; fine



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

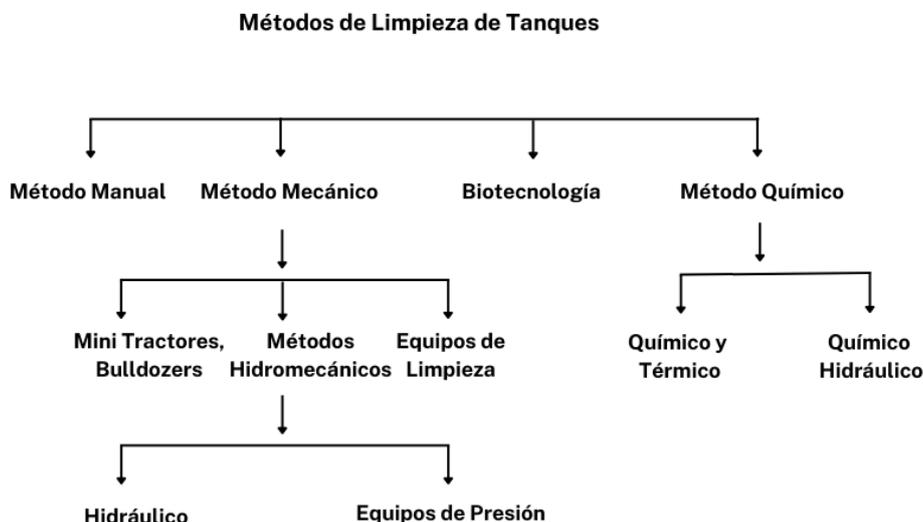
1. Introducción

La limpieza industrial de tanques petrolíferos es una actividad crítica para el correcto funcionamiento de estas instalaciones, las cuales están diseñadas para el almacenamiento y manipulación de productos derivados del petróleo. Debido a la naturaleza de estos productos, cualquier fallo o incidente en el tanque puede tener graves consecuencias para la seguridad del personal y la integridad del medio ambiente (Chang y Lin 2006).

Los trabajos de limpieza industrial de tanques petrolíferos requieren del acceso a espacios confinados, lo cual implica un alto riesgo para el personal encargado de realizar estas tareas. En primer lugar, porque no son espacios concebidos para una ocupación permanente y principalmente porque se trata de espacios con escasez de oxígeno, de contaminantes químicos y sustancias inflamables (Lillienberg et al. 1992). Las cifras de accidentes mortales lo demuestran, así en Estados Unidos el ratio era de 0.69 muertes por cada 100.000 trabajadores en el año 1990 sin haber mejorado esta cifra a día de hoy. Por esta razón, se han ido desarrollado diferentes tecnologías y metodologías con el fin de disminuir los riesgos asociados a estas operaciones (Berlana Llorente 2016; NIOSH 1994).

En este contexto, el presente trabajo se enfoca en la mejora de las condiciones de seguridad en los trabajos de limpieza industrial de tanques verticales de productos petrolíferos. Tareas que deben realizarse desde el interior del tanque una vez hayan sido retirados los residuos que el paso del tiempo y el almacenamiento del petróleo, han ido generándose. La Figura 1 muestra una clasificación de las distintas metodologías que pueden utilizarse a día de hoy entre las que se incluyen la limpieza manual o con ayuda de medios mecánicos o de productos químicos.

Figura 1: Métodos de limpieza de tanques. Adaptada de (Nekrasov 2016)



La limpieza manual de tanques es una de las técnicas más antiguas y utilizadas en la limpieza industrial de tanques, y consiste en la limpieza de los residuos y sedimentos del tanque de manera manual. Esta técnica es la que presenta el más alto nivel de riesgo para los trabajadores como ya se ha explicado anteriormente. Por estas razones, la limpieza manual de tanques se utiliza hoy en día solo en casos en los que por las características del tanque o alguna otra circunstancia externa, no se permita utilizar otra metodología (Johnson y Affam 2019).

La limpieza mecánica de tanques implica el uso de herramientas y equipos especializados para retirar los sedimentos y residuos del tanque. Esta técnica puede ser realizada mediante el uso de maquinaria especializada, como hidrolavadoras, cepillos rotativos, equipos de chorro de arena o robots (Deng Sanpeng et al. 2010).

La limpieza de tanques con métodos biotecnológicos es una técnica innovadora y respetuosa con el medio ambiente que utiliza microorganismos para degradar los residuos acumulados en los tanques. Esta técnica se basa en la capacidad de ciertos microorganismos para transformar compuestos químicos complejos en otros más simples, que son menos tóxicos y más fáciles de manejar. Algunos de los productos químicos que pueden ser tratados con éxito mediante métodos biotecnológicos incluyen hidrocarburos, solventes, pesticidas y metales pesados. Presenta la ventaja que no requiere la entrada de trabajadores en el espacio confinado del tanque, pero también cuenta con desafíos y limitaciones como la selección de los microorganismos adecuados ya que pueden ser sensibles a ciertos contaminantes y no ser efectivos en todas las situaciones, así como el tiempo necesario para llevarse a cabo lo que limita su aplicabilidad (Hamroyev et al. 2021).

La limpieza química de tanques es una técnica efectiva para remover los residuos y sedimentos acumulados en el interior de los tanques, y puede ser aplicada en tanques que contienen residuos muy adheridos o en aquellos donde no es posible acceder fácilmente con otros métodos de limpieza. Esta técnica también es útil para la eliminación de compuestos químicos peligrosos que pueden ser difíciles de manejar mediante técnicas convencionales (Longting et al. 2020).

El objetivo de este trabajo es jerarquizar los riesgos según su magnitud y optimizar las medidas de seguridad incluidas en los proyectos asociados a la limpieza industrial de tanques petrolíferos una vez analizadas las diferentes tecnologías y metodologías disponibles en la actualidad, así como las normativas y estándares internacionales que rigen esta actividad.

En primer lugar, se presentará una descripción detallada de los tanques petrolíferos y su importancia en el almacenamiento y manipulación de productos derivados del petróleo. Se analizarán las diferentes características de estos tanques y su diseño, así como los riesgos asociados a su operación y mantenimiento.

Posteriormente, se utilizará el método Fine y su aplicación en la mejora de las condiciones de seguridad en los trabajos de limpieza industrial de tanques petrolíferos. Se describirán los diferentes pasos y herramientas que se utilizan en este método, así como su utilidad para identificar los riesgos y definir las medidas preventivas más adecuadas. Para terminar con los resultados de la comparativa realizada entre las diferentes tecnologías y metodologías disponibles para la limpieza industrial de tanques petrolíferos. Se jerarquizarán los riesgos según su magnitud y se propondrán las medidas de seguridad más adecuadas para cada uno de ellos.

En resumen, el presente trabajo se enfoca en la mejora de las condiciones de seguridad en los trabajos de limpieza industrial de tanques petrolíferos utilizando el método Fine para identificar los riesgos asociados a esta actividad.

2. Materiales y Métodos

2.1 Caso de estudio

La investigación se basará en caso de estudio permitiendo seleccionar el objeto de estudio y el escenario real (Mariotto, Zanni, y De Moraes 2014). Centrándonos en la limpieza de un tanque vertical según las dimensiones recogidas en la Tabla 1, tomamos como referencia la limpieza manual frente a las opciones de limpieza química por un lado y limpieza utilizando

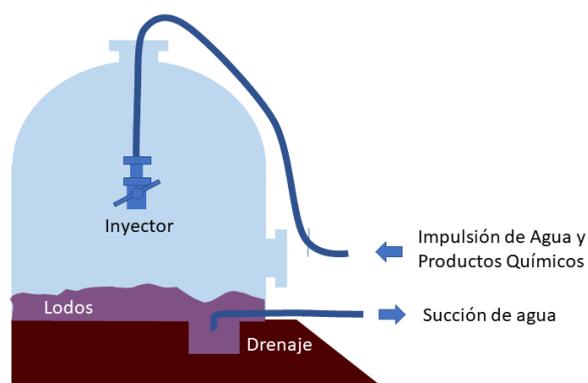
robot magnético dirigido desde el exterior mediante el que se aplicará solución de agua más producto desengrasante.

Tabla 1. Características de tanque

Características	
Altura	18 m
Diámetro Interno	28 m
Área interna suelo	615.75m ²
Área interna virolas	1582 m ²
Superficie total a limpiar	2197 m ²
Capacidad efectiva	10000 m ³
Virolas	9 un
Boca hombre suelo	2 un
Boca hombre techo	1 un

La limpieza química consiste en recircular una solución química compuesta de agua y dispersante marino, mediante un cabezal rotatorio con cobertura de 360° realizando doble ataque, el propio de la solución química más el mecánico realizado por la proyección de 10 bar y caudal de 42 m³/h. mostrado en la Figura 2 («Butterworth.com» s. f.).

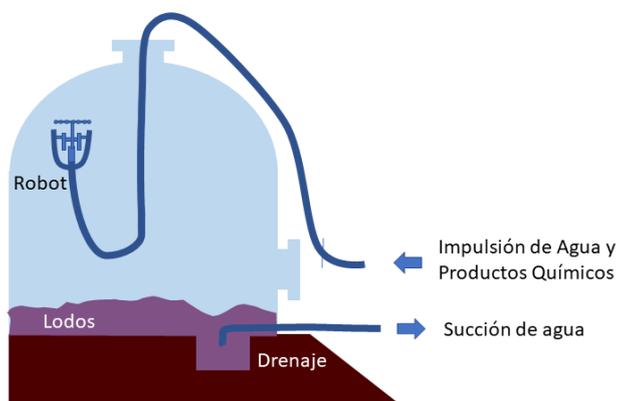
Figura 2: Proceso de limpieza química



Este tipo de limpieza química podría presentar riesgos con respecto a la limpieza manual debido a los productos químicos utilizados que pueden ser altamente tóxicos por lo que han sido sustituidos por dispersante marino compuestos de disolventes alifáticos y tensioactivos aportando además biodegradabilidad (Dispersante y N° 2010). Además, el uso del inyector reduce el tiempo de la limpieza y elimina la entrada de los operarios.

La limpieza mecánica se realiza mediante la aplicación de una solución de agua más producto desengrasante a la presión entre 120 – 140 Kg/cm² utilizando un robot magnético dirigido desde el exterior formando columnas de barrido de 1m, tal y como muestra la Figura 3. Este tipo de limpieza, además de contar con las ventajas ya mencionadas con respecto a los riesgos de exposición del trabajador, permite retrabajos puntuales en caso necesario sin tener que realizar un ciclo completo como en el caso de la limpieza química.

Figura 3: Proceso de limpieza mecánica



2.1 Metodología Fine

La metodología Fine es un método de análisis de riesgos semicuantitativo que permite la identificación, evaluación y priorización de los riesgos presentes en una actividad específica. El éxito de este método reside en su carácter generalista que permite analizar todos los riesgos existentes bajo una misma metodología y obtener, según las magnitudes, una relación general priorizada lo que lo hace idóneo para la presente investigación (T.Fine 1971). Además de permitir ordenar los riesgos según su magnitud, permite economizar las medidas de seguridad normalmente incluidas en proyectos de ingeniería quedando justificado por niveles de riesgos reales a mitigar. Este hecho invita a poder incluir líneas de trabajo futuras al presente trabajo, debido a que, al tratarse de una investigación, la parte económica del mismo ha quedado fuera del alcance actual. Llegados a este punto, se procede a la explicación detallada del método que se seguirá según para cada uno de los tipos de limpieza definidos para terminar realizando la comparativa entre todos.

La primera expresión matemática recogida por el método lleva a calcular el grado de peligrosidad, GP definido como el grado de peligro debido a un riesgo reconocido según la ecuación 1:

$$GP = C \cdot E \cdot P \quad (1)$$

Dicha ecuación recoge tres factores, las consecuencias o daños, denominada por C, entendiéndose como los resultados más probables de un riesgo laboral ocasionado por el factor de riesgo en estudio y en el que quedan recogidos tanto las desgracias personales como los daños materiales. En segundo lugar, se recogen las probabilidades de exposición denominado por E, entendiéndose como el tiempo que el trabajador puede estar expuesto al riesgo y el último factor recogido es la probabilidad denominada por P, entendiéndose como la probabilidad de que la amenaza se materialice una vez expuesto a ella.

De cara a simplificar la evaluación de la ecuación 1, se establece un sistema de códigos facilitando la labor de la persona que detecta el riesgo quedando limitada a destacar las situaciones dentro de cada uno de los tres factores. Así la tabla 2 recoge los valores propuestos en la metodología para establecer los cálculos.

Tabla 2. Propuesta de valores para los cálculos

<i>Factor</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Valor</i>
<i>Consecuencias (C)</i> <i>(Resultado más probable de un accidente potencial)</i>	Varias muertes; daños superiores a 300.506,05.-€	50
	Muerte: daños de 60.101,21.-€ a 300.506,05.-€	25
	Lesiones extremadamente graves (amputación, incapacidad permanente) daños de 601,01.-€ a 60.101,21.-€	15
	Lesiones con baja, daños hasta 601,01.-€	5
	Heridas leves, contusiones, golpes, pequeños daños	1
<i>Exposición</i> <i>(Frecuencia con que ocurre la situación de riesgo)</i>	La situación de riesgo ocurre: Continuamente (o muchas veces al día)	10
	Frecuentemente (aproximadamente una vez al día)	6
	Ocasionalmente (de una vez por semana a una vez al mes).	3
	Raramente (se sabe que ocurre).	1
	Remotamente posible (no se sabe que haya ocurrido).	0,5
<i>Probabilidad</i> <i>(Probabilidad de que la secuencia de accidente se complete)</i>	Secuencia completa de accidente: Es el resultado más probable y esperado si la situación de riesgo tiene lugar	10
	Es completamente posible; nada extraño; tiene una probabilidad del 50%	6
	Sería una secuencia o coincidencia rara: 10%	3
	Sería una coincidencia remotamente posible. Se sabe que ha ocurrido: Probabilidad 1%	1
	Nunca ha sucedido en muchos años de exposición, pero concebible	0,5

Una vez conseguidos los valores que determinan el GP, se procede a ordenar los riesgos en función de su gravedad según la clasificación recogida en la tabla 3.

Tabla 3. Interpretación del Grado de Peligrosidad

Magnitud del Riesgo	Actuación frente al Riesgo	Clasificación del Riesgo
$0 < GP \leq 18$	Puede omitirse la corrección	Riesgo bajo
$18 < GP \leq 85$	No es urgente, pero debe corregirse	Riesgo medio
$85 < GP \leq 200$	Corrección inmediata	Riesgo alto
$GP > 200$	Detener la actividad	Riesgo crítico

Una vez terminado el análisis de riesgos, se procedería a proponer las medidas preventivas que posteriormente serán evaluadas para conocer si éstas están justificadas o no. Esto se realiza mediante la ecuación 2:

$$J = GP / (GC \cdot FC) \quad (2)$$

Dónde J representa el valor de la justificación de la medida preventiva, GP, es el grado de peligrosidad como se ha visto anteriormente, GC corresponde al grado de corrección definido como la estimación del grado de peligrosidad conseguida al aplicar la acción propuesta y FC define el factor de costes como medida estimada del coste de la acción correctora propuesta. La tabla 4 recoge los valores propuestos para el grado de corrección y factor de coste.

Tabla 4. Valores propuestos para grado de peligrosidad y factor de coste

	Riesgo completamente eliminado 100%	1
	Riesgo reducido al menos el 75%	2
Grado de corrección (G.C.)	Riesgo reducido del 50% al 75%	3
(Grado en que será reducido el riesgo)	Riesgo reducido del 25% al 50%	4
	Ligero efecto sobre el riesgo (menos del 25%)	6
	Más de 12.020.24.-€	10
	De 6.010,12.-€ a 12.020.24.-€	6
Factor de coste (F.C.)	De 601,01.-€ a 6.010,12.-€	4
(Coste estimado en euros de la acción correctora propuesta)	De 60,10.-€ a 601,01.-€	2
	De 12,02.-€ a 60,10.-€	1
	Menos de 12,02.-€	0,5

Una vez calculados los valores, se procede a resolver la ecuación 2 obteniendo el valor J para cada uno de ellos que posteriormente se interpretarán según la tabla 5.

Tabla 5. Interpretación de la justificación de la acción preventiva

<i>Justificación</i>	<i>Clasificación</i>
$J \leq 5$	Justificación nula
$5 < J \leq 9$	Justificación dudosa
$9 < J \leq 20$	Justificado
$J > 20$	Muy justificado

De este modo, se procede a realizar la comparativa del análisis de riesgos entre los tres escenarios propuestos partiendo de la actividad a analizar, limpieza de tanques verticales, se examinarán los riesgos asociados a dicha actividad según indica el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, detallando los riesgos, accidentes, enfermedad profesional e insatisfacción, así como los factores de riesgo asociados. Para completar la identificación de riesgos, se procede a identificar las distintas operaciones necesarias para llevar a cabo la limpieza, las cuales quedan recogidas en la tabla 6.

Tabla 6. Descripción de operaciones realizadas en la limpieza de tanques

<i>N.º</i>	<i>Operaciones</i>	<i>Descripción</i>
1	Descarga materiales, equipos y herramientas y preparación del área de trabajo	Incluye la preparación del área de trabajo y la instalación de los equipos necesarios para la limpieza
2	Conexión eléctrica	Coordinar con la propiedad cualquier conexión eléctrica ya sea a cuadros eléctricos existentes de la instalación o a generador eléctrico
3	Desmontaje de equipos mecánicos y boca hombre	Coordinar con la propiedad los trabajos de desmontaje de Boca Hombre y tuberías asociadas
4	Trasiego del combustible existente y aspiración de lodos	Si el tanque contiene líquidos o residuos, es necesario drenarlos antes de comenzar la limpieza. El drenado puede realizarse de forma manual o utilizando equipos de succión
5	Desgasificación toma de lectura gases	Coordinar con la propiedad los trabajos de desgasificación, vigilando constantemente la dirección del viento que disipa los gases
6	Limpieza de tanques	Manual: Operación que puede realizarse utilizando herramientas manuales como cepillos, rasquetas y espátula Química: implica la aplicación de productos químicos para disolver o eliminar los residuos acumulados en el interior del tanque

		Mecánica: Instalación de robot magnético
7	Enjuague	Eliminar los residuos y los productos químicos utilizados en el proceso. El enjuague puede realizarse con agua a alta presión
7	Inspección	Necesaria para verificar que sean eliminado todos los residuos o la necesidad de repetir la limpieza
8	Finalización	Retirada de los equipos utilizados

3. Resultados

Para realizar el análisis de riesgos y tal y como se ha indicado en la metodología, se ha procedido a identificar los riesgos asociados a la actividad de limpieza en los tres escenarios planteados según el tipo de limpieza para poder llevar a cabo la comparativa posterior. Así de este modo, comenzamos por calcular el grado de peligrosidad de cada tipo de limpieza objeto del estudio mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. Cálculo del GP

CÓD	ACCIDENTES	Limpieza Manual				Limpieza Química				Limpieza Mecánica			
		C	E	P	GP	C	E	P	GP	C	E	P	GP
10	Caída de personas a distinto nivel	25	6	0,5	75	25	1	0,5	12,5	25	1	0,5	12,5
20	Caída de personas al mismo nivel	1	3	6	18	1	3	3	9	1	3	3	9
40	Caída de objetos en manipulación	5	3	1	15	5	1	0,5	2,5	5	1	0,5	2,5
60	Pisadas sobre objetos	1	10	3	30	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,25
90	Golpes/cortes por objetos o herramientas	5	3	3	45	5	0,5	0,5	1,25	5	0,5	0,5	1,25
100	Proyección de fragmentos o partículas	15	6	1	90	15	0,5	0,5	3,75	15	0,5	0,5	3,75
110	Atrapamientos por o entre objetos	5	1	1	5	5	0,5	0,5	1,25	5	0,5	0,5	1,25
130	Sobreesfuerzos	15	3	6	270	5	1	0,5	2,5	5	1	0,5	2,5
161	Contactos eléctricos directos	5	1	1	5	5	0,5	0,5	1,25	5	0,5	0,5	1,25
162	Contactos eléctricos indirectos	5	1	1	5	5	0,5	0,5	1,25	5	0,5	0,5	1,25
170	Exposición a sustancias nocivas o tóxicas	15	6	1	90	15	3	0,5	22,5	15	0,5	0,5	3,75
200	Explosiones	50	1	0,5	25	50	0,5	0,5	12,5	50	0,5	0,5	12,5
211	Incendios. Factores de inicio	50	0,5	0,5	12,5	50	0,5	0,5	12,5	50	0,5	0,5	12,5
230	Atropellos o golpes con vehículos	15	0,5	0,5	3,75	15	0,5	0,5	3,75	15	0,5	0,5	3,75
ENFERMEDAD													

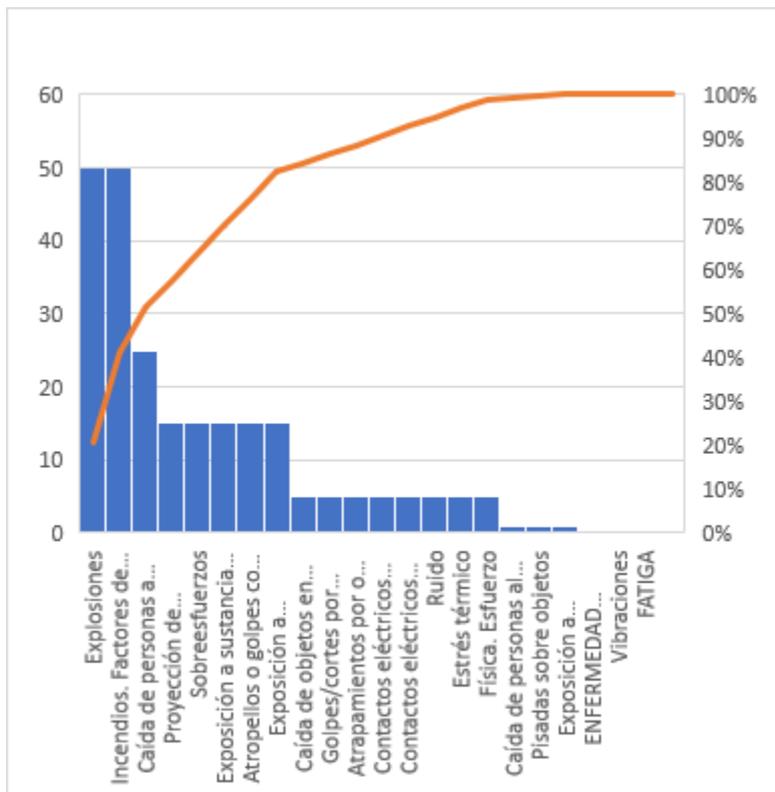
PROFESIONAL														
310	Exposición a contaminantes químicos	15	1	1	15	15	1	0,5	7,5	15	0,5	0,5	3,75	
320	Exposición a contaminantes biológicos	1	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,25	1	0,5	0,5	0,25	
330	Ruido	5	0,5	0,5	1,25	5	1	1	5	5	0,5	0,5	1,25	
340	Vibraciones					5	0,5	0,5	1,25	5	0,5	0,5	1,25	
350	Estrés térmico	5	0,5	0,5	1,25	5	0,5	0,5	1,25	5	0,5	0,5	1,25	
FATIGA														
430	Física. Esfuerzo	5	3	6	90									
					797,25					102,75				75,75

En base a los resultados obtenidos puede apreciarse como la limpieza manual supera el valor de 200 que según se indicó en la tabla 3, son considerados como críticos y la actitud debería ser detener la actividad y proceder a reducir el riesgo existente. En el caso de las limpiezas química y mecánica, el valor es inferior, en el caso de la limpieza química, el valor obtenido también requiere de corrección inmediata por tratarse de un riesgo alto. Sin embargo, reduce la exposición del trabajador en gran medida y el tiempo de trabajo total también se ve reducido, por el contrario, requiere más cantidad de agua, así como la necesidad de completar un ciclo completo en caso de que sean necesarios repasos en caso de no haberse completado la limpieza en el primer intento. Solo en el caso de la limpieza mecánica se obtiene un valor medio que, sin tener un carácter urgente, también debe corregirse (Markus, Perri, y Schick 2018). El siguiente paso consistiría en establecer las medidas preventivas en los tres casos, calcular el factor de coste y el grado de corrección para conocer si, además de haber disminuido el grado de peligrosidad, las medidas implantadas están justificadas.

Lo que no deja duda la comparativa es la gran diferencia que existe entre la limpieza mecánica mediante el uso de robot magnetizado con respecto al resto de limpiezas. El uso de la tecnología de robots para llevar a cabo la limpieza hace que el trabajador reduzca la exposición a sustancias nocivas y tóxicas, atmósferas explosivas, entre otros, riesgos tan importantes como los derivados de los trabajos en espacios confinados con atmósferas explosivas. Además, también es importante destacar la disminución de equipamiento necesario para llevarla a cabo, disminución en el consumo de agua en comparación con la limpieza química y disminución de personal (Bitonneau et al. 2018; Haugalokken et al. 2021) La figura 4 muestra la distribución de riesgos para esta actividad.

En ella se aprecia como podrían agruparse los riesgos en cuatro tramos entre los que destacan el riesgo de explosión, incendio y caídas de personas a distinto nivel por encima de todos, seguido del bloque en el que se encuentran la proyección de fragmentos y partículas, sobreesfuerzos, exposición a contaminantes químicos junto a exposición a sustancias nocivas como los riesgos con mayor grado de peligrosidad según la jerarquización conseguida a través del método Fine.

Figura 4: Distribución de riesgos



4. Conclusiones

Según la alta siniestralidad de la actividad estudiada, limpieza de tanques, situada dentro del grupo de actividades peligrosas, se hace necesario llevar a cabo un estudio que permita la mejora de las condiciones de los trabajadores implicados mediante el estudio y la comparativa de las distintas alternativas disponibles en el mercado que a vez que permita reducir la exposición de los mismos, permita cumplir la normativa vigente en materia de prevención y siga considerándose un proceso rentable para la empresa que lo ejecute.

Para ello se ha llevado a cabo una comparativa entre los tres procedimientos que mejor cumplen estos requisitos, de una parte, la limpieza manual como base de comparación y las opciones química y mecánica con ayuda de robot magnético, a través de la metodología Fine que nos permite además la jerarquización de los riesgos que a su vez permite optimizar las medidas de seguridad.

A través de la metodología Fine, se ha podido comprobar como la opción de limpieza mecánica con utilización de robot magnético, ha resultado la que menor grado de peligrosidad presenta, quedando como segunda opción la limpieza química y en tercer lugar la limpieza manual, relegándose ésta para casos puntuales en los que no es posible el uso de ninguna de las otras dos. Se debe tener en cuenta que, aunque las tecnologías alternativas no siempre sean posibles o rentables, es importante dar prioridad a la seguridad de los trabajadores y tomar todas las medidas necesarias para minimizar los riesgos que conlleva la limpieza manual de tanques y deben realizarse esfuerzos para promover la adopción de tecnologías de limpieza más seguras y eficientes con el fin de reducir los riesgos asociados a la limpieza industrial de tanques.

5. Referencias

- Berlana Llorente, Tania. 2016. «Identification and Risk Prevention in Confined Spaces». Madrid.
- Bitonneau, David, Theo Moulières-Seban, Julie Dumora, Olivier Ly, Jean François Thibault, Jean Marc Salotti, y Bernard Claverie. 2018. «Design of an industrial human-robot system through participative simulations - Tank cleaning case study». *SII 2017 - 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration* 2018-Janua: 1059-66. <https://doi.org/10.1109/SII.2017.8279363>.
- «Butterworth.com». s. f. Accedido 20 de marzo de 2023. <https://www.butterworth.com/product/k-sk-tank-cleaning-machines/>.
- Chang, James I., y Cheng-Chung Lin. 2006. «A study of storage tank accidents». *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19 (1): 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.05.015>.
- Deng Sanpeng, Xu Xiaoli, Li Chongning, y Zhang Xinghui. 2010. «Research on the oil tank sludge cleaning robot system». En *2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*, 5938-42. IEEE. <https://doi.org/10.1109/MACE.2010.5536657>.
- Dispersante, Cepsa, y Marino N°. 2010. «Cepsa Dispersante Marino N° 3». 2010. https://www.cepasa.com/stfls/CepsaCom/Lubricantes/ficheros/ficheros/pdf/ht_cepasa_dispersante_marino_n_3.pdf.
- Hamroyev, Obid, Nargiza Ravshanova, Vasik Jovliyev, y Suxrob Komiljonov. 2021. «A method for cleaning tanks from oil product residues based on biotechnology». *E3S Web of Conferences* 264: 1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404052>.
- Haugalokken, Bent Oddvar Arnesen, Oscar Nissen, Herman Biorn Amundsen, Martin Fore, y Eleni Kelasidi. 2021. «Modelling and control of a 6 DOF robot manipulator for underwater applications - Aquaculture related case studies». *Oceans Conference Record (IEEE)* 2021-Sept. <https://doi.org/10.23919/OCEANS44145.2021.9706100>.
- Johnson, Olufemi Adebayo, y Augustine Chioma Affam. 2019. «Petroleum sludge treatment and disposal: A review». *Environmental Engineering Research* 24 (2): 191-201. <https://doi.org/10.4491/EER.2018.134>.
- Lillienberg, Linnéa, Benkt Högstedt, Bengt Järholm, y Linda Nilson. 1992. «Health effects of tank cleaners». *American Industrial Hygiene Association Journal* 53 (6): 375-80. <https://doi.org/10.1080/15298669291359807>.
- Longting, Wang;, Sun; Liping, Kang; Jichuan, y Wang Yanfu. 2020. «Experimental study on the chemical cleaning technology of oil sludge in offshore oil tank (2020)» 29 (1): 544-50.
- Mariotto, Fabio Luiz, Pedro Pinto Zanni, y Gustavo Hermínio Salati Marcondes De Moraes. 2014. «What is the use of a single-case study in management research?» *Revista de Administração de Empresas* 54 (4): 358-69. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020140402>.
- Markus, J.S., A.E. Perri, y R.J. Schick. 2018. «Measurements of The ThrowWidth and Impact Pressure of Industrial Tank Cleaning Nozzles Measurements of the ThrowWidth and Impact Pressure of Industrial Tank Cleaning Nozzles—Part I.» En *ICLASS 2018, 14th Triennial International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*. Chicago, IL, USA.
- Nekrasov, Vladimir. 2016. «Modern efficient methods of steel vertical oil tanks clean-

up». *MATEC Web of Conferences* 86: 0-4.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/20168604050>.
NIOSH. 1994. «Worker Deaths in Confined Spaces».
T.Fine, William. 1971. «Mathematical Evaluation for Controlling Hazards».

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

