



Johan
Andrés García
Meneses
**Líder Técnico
del CCS**
*Ingeniero químico /
Magíster en
Ingeniería Química*

La gestión de riesgos en los sistemas de almacenamiento es una disciplina crítica esencial para garantizar la seguridad operativa, la protección ambiental y el cumplimiento normativo en los entornos industriales. Estos sistemas, además, desempeñan un papel fundamental en sectores tales como el petrolero, químico, farmacéutico y de tratamiento de agua. A su vez, sirven como depósitos para líquidos, gases, sólidos y otras sustancias clave de los procesos productivos.

Los sistemas de almacenamiento de sustancias químicas se clasifican según diversos criterios, incluyendo el tipo de contenedor, la naturaleza de las sustancias almacenadas y las condiciones de seguridad requeridas. En primer lugar, se encuentran los sistemas de almacenamiento en tanques que pueden ser subterráneos, a nivel del suelo o aéreos, los cuales están diseñados para almacenar líquidos y gases químicos a gran



Gestión del riesgo es sistemas de almacenamiento: aspectos clave para tener en cuenta

escala. Otros sistemas comunes incluyen los depósitos de almacenamiento como contenedores, adecuados para productos químicos envasados y líquidos a granel. Asimismo, se utilizan áreas de almacenamiento segregadas y etiquetadas para sustancias incompatibles, así como sistemas de almacenamiento específicos para materiales peligrosos, como bodegas de seguridad y almacenes refrigerados (SURA, 2011).

Contenedores

Los contenedores sirven como recipientes indispensables para el transporte, almacenamiento y manipulación de una amplia gama de mercancías, incluyendo productos químicos, combustibles, productos farmacéuticos y materiales peligrosos. Sin embargo, la utilización de contenedores introduce riesgos inherentes que requieren prácticas adecuadas

de gestión de riesgos para mitigar los peligros potenciales y consecuencias negativas.

La naturaleza diversa de las sustancias almacenadas en contenedores presenta un panorama complejo de riesgos que van desde derrames y fugas de productos químicos hasta riesgos

de incendio y contaminación ambiental. Cada tipo de material conlleva propiedades y peligros únicos, lo que requiere evaluaciones del riesgo y estrategias de mitigación personalizadas para abordar desafíos específicos de manera efectiva. Además, los propios contenedores plantean riesgos relacionados con la integridad estructural, la compatibili-

dad con las sustancias almacenadas y la vulnerabilidad a factores externos como las fluctuaciones de temperatura, el estrés mecánico y la manipulación inadecuada. Como tal, los enfoques integrales de gestión de riesgos deben abarcar evaluaciones exhaustivas tanto de los peligros de las sustancias como de las características de los contenedo-



res para garantizar el almacenamiento y manipulación segura de las mercancías (Petros, 2017).

Un claro ejemplo de una mala gestión del riesgo en este tipo de almacenamiento fue lo ocurrido el 12 de agosto de 2015, en Tianjin, China (IChemE, 2022). Este puerto se convirtió en el epicentro de una de las explosiones artificiales no nucleares más grandes del mundo. Trágicamente, 173 personas, entre ellas, 104 bomberos, perdieron la vida en una serie de explosiones, la mayor de las cuales registró la actividad sísmica de un terremoto de magnitud 2,92. Los residentes en un radio de tres kilómetros debieron ser evacuados debido al riesgo de que toxinas se filtraran a los sistemas de agua potable. El mal manejo y el almacenamiento incorrecto de la nitrocelulosa permitieron que el compuesto se quemara espontáneamente.

Se determinó que el fuego se originó en un contenedor de almacenamiento ubicado en el área del patio del puerto. A pesar de los intentos por determinar el contenido del mismo, la falta de documentación impidió que los empleados pudieran informar a los bomberos.

Adicionalmente, los oficiales que atendieron la emergencia enfrentaron dificultades para combatir el incendio, ya que los contenedores estaban apilados demasiado cerca, obstaculizando el acceso de los camiones cisterna y facilitando, a su vez, la propagación del fuego. La primera explosión se produjo aproximadamente a las 11:30 p.m. y provocó una onda expansiva. Una segunda explosión, se produjo 30 segundos después y destruyó las puertas y ventanas de 17.000 hogares, mientras que provocó seis grandes incendios que tardaron más de 41 horas en extinguirse.

Tanques de almacenamiento

Dentro de estos sistemas se encuentran los tanques de almacenamiento, cuya operación presenta inherentemente una gran cantidad de riesgos que van desde preocupaciones sobre la integridad estructural hasta peligros ambientales, los cuales requieren protocolos sólidos de gestión de riesgos para mitigar posibles resultados adversos.

Uno de los principales desafíos en este sentido radica en la naturaleza diversa de las sustancias almacenadas y en las características únicas de los propios sistemas de tanques. Diferentes productos químicos, combustibles y materiales plantean distintos peligros que pueden ir desde la inflamabilidad y la toxicidad hasta la corrosividad y la volatilidad. Además, los tanques vienen en varios diseños y configuraciones, cada

uno con su propio conjunto de vulnerabilidades y modos de falla, como fugas, rupturas, corrosión y sobrellenos. Como tal, un enfoque integral de gestión de riesgos debe abarcar evaluaciones exhaustivas, adaptadas a sustancias y tipos de tanques específicos, considerando factores como la compatibilidad de los materiales, las condiciones operativas y los impactos ambientales (Chaparro Castañeda, 2021).

Además, la ubicación geográfica y el entorno circundante influyen aún más en los factores de riesgo asociados a la operación de los tanques de almacenamiento. Las instalaciones situadas cerca de cuerpos de agua, áreas residenciales o áreas ambientalmente sensibles enfrentan una mayor inspección y requisitos regulatorios con el propósito de evitar posibles derrames, fugas o eventos de contaminación que podrían tener consecuencias graves en el entorno. Por lo tanto, las estrategias de gestión de riesgos deben integrar consideraciones específicas del sitio, incluida la planificación de respuesta a emergen-

cias, así como medidas de contención y monitoreo ambiental para mitigar los riesgos y minimizar el daño potencial a los ecosistemas y comunidades vecinas (Pabón Figueroa & Quintero Castillo, 2019).

De igual manera, el cumplimiento de códigos, normas y regulaciones que rigen el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de los tanques es imperativo para mitigar las responsabilidades legales, los riesgos reputacionales y las sanciones financieras asociadas al incumplimiento.

El de Caribbean Petroleum Corporation - Capeco permite contextualizar sobre las posibles situaciones que se pueden presentar en parques de almacenamiento. El 23 de octubre de 2009 una fuerte explosión sacudió las instalaciones de esta compañía en San Juan, Puerto Rico (CSB, 2015). Todo inició, dos días antes, el miércoles 21 de octubre de 2009, cuando se realizó una transferencia de rutina de más de 10 millones de galones de gasolina desde un tanque

ubicado en el muelle a cuatro kilómetros del predio. Para entonces, solo existía un tanque con capacidad de almacenar todo el combustible transportado; sin embargo, ya estaba en uso. Por ello, Capeco decidió distribuir la gasolina en cuatro tanques más pequeños. Esta operación tardaría más de 24 horas en completarse. Para ello, un operador se ubicaba en el muelle mientras que otro monitoreaba las válvulas en el parque de almacenamiento. La secuencia de eventos descritos en el informe de la investigación de este accidente por parte del Chemical Safety Board se expone a continuación (CSB, 2015):

Octubre 22

- **12:00 m.** Los operarios desviaron el flujo a los tanques 409 y 411. Capeco usaba un sencillo método de medición de nivel del líquido dentro de los tanques. Este consistía en un flotador y una cinta de medición. Una tarjeta de medición electrónica se encargaba de enviar las mediciones a la sala de control, pero la tarjeta del tanque 409 no funcionaba. Así que los operarios debían registrar de forma manual las lecturas de nivel del tanque una vez, cada hora.
- **10:00 p.m.** El tanque 411 alcanzó su máxima capacidad. Por ende, los operarios desviaron el flujo al abrir totalmente la válvula hacia el tanque 409. Uno de ellos, realizó la lectura del nivel del tanque 409 en el indicador y se lo informó a su supervisor. Este último calculó que el tanque 409 se llenaría a la 1:00 am.
- **11:50 p.m.** El tanque empezó a rebosarse. La gasolina se derramó por los respiradores; se formó una nube de vapor y una piscina de líquido en el dique del tanque. La nube de vapor creció hasta cubrir una zona de 43 hectáreas.
- **12:00 a.m.** Un operario se dispuso a hacer el control de nivel del tanque 409. Antes de llegar a este, percibió un fuerte olor a gasolina. Le comunicó al operario del muelle que cerrara el flujo. Una niebla blanca se elevaba un metro sobre



el suelo. El operario de parques y el supervisor se desplazaron a una parte alta para tratar de identificar el origen de la fuga.

Mientras tanto, la gasolina fluyó a través de las válvulas abiertas en el dique de contención hacia la zona de tratamiento de aguas residuales. Allí, el vapor alcanzó los equipos eléctricos originando el incendio. Una ráfaga de fuego regresó hacia los tanques de almacenamiento. Siete segundos más tarde hubo una gran explosión de 2,9 grados en la escala de Richter.

Octubre 23

- **12:23 a.m.** Casi 26 minutos después del inicio del rebosamiento, 17 tanques del parque estaban en llamas. Por suerte, los empleados de Capeco evacuaron el parque a tiempo y no hubo

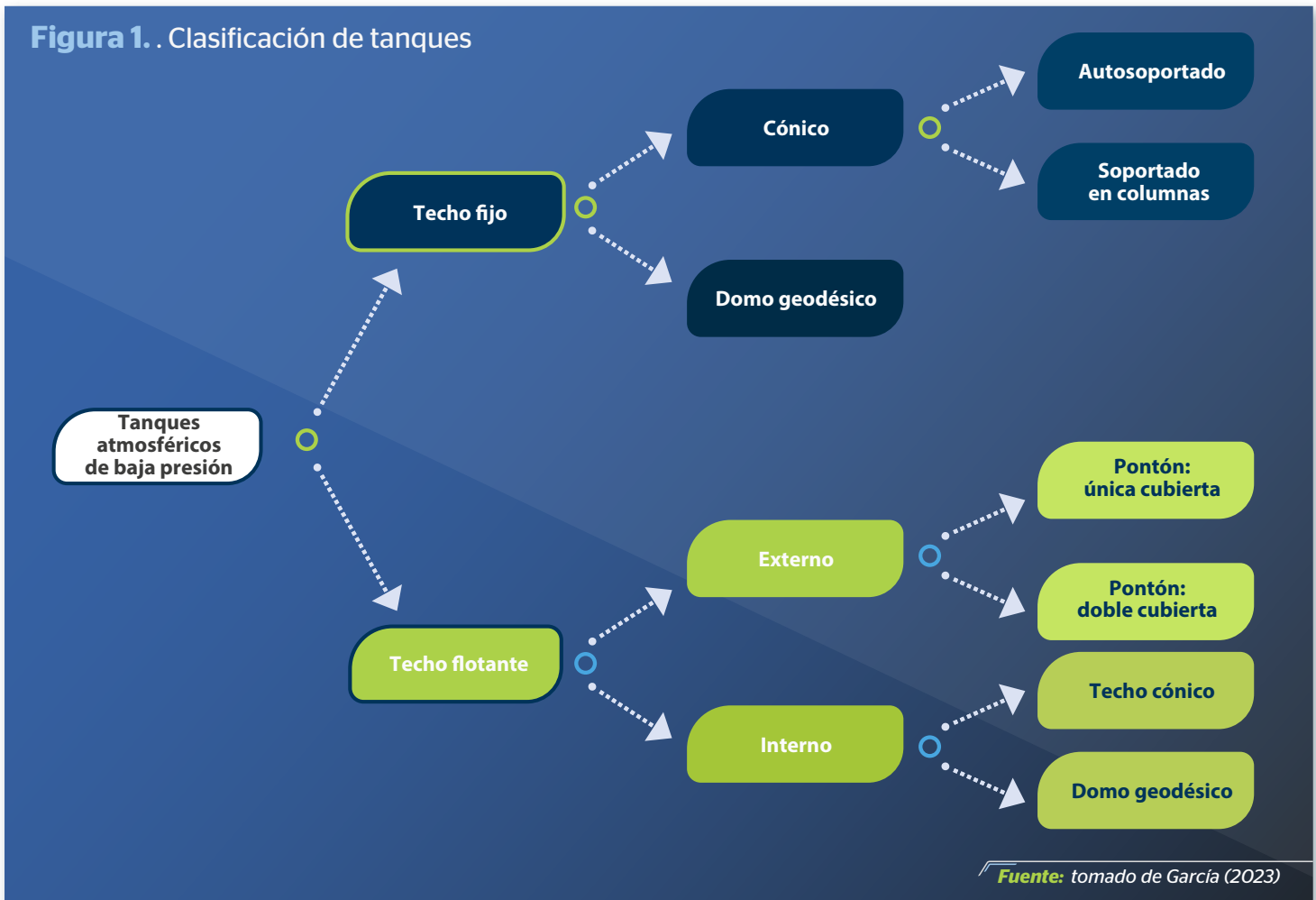
Los sistemas de almacenamiento de sustancias químicas se clasifican según diversos criterios, incluyendo el tipo de contenedor, la naturaleza de las sustancias almacenadas y las condiciones de seguridad requeridas."

víctimas. Se determinó que se derramó un total de 200 mil galones de gasolina (20 camiones cisterna llenos). Las llamas podían verse a 13 kilómetros de distancia y siguieron ardiendo por más de dos días. La onda explosiva dañó más de 300 casas y negocios vecinos.

Tipos de tanques de almacenamiento

Para lograr una buena gestión de los riesgos asociados a la operación de tanques de almacenamiento es importante, primero, conocer su clasificación. Dentro de los tanques atmosféricos de baja presión se encuentran los tanques de techo fijo y los tanques de techo flotante (BP-IChemE, 2006). En cada una de estas dos grandes categorías se encuentran otras, tal y como se puede observar en la figura 1.

Figura 1. Clasificación de tanques



Fuente: tomado de García (2023)

Tanques de techo fijo

Utilizados para sustancias con puntos de inflamación altos y que no se evaporan fácilmente. Esto evita la acumulación de gases al interior del tanque. Están formados por un solo cuerpo, con un techo no móvil y válvulas de venteo que permiten la salida de vapores (no soportan sobrepresiones). El techo puede ser auto soportado o soportado con columnas.

El vapor que se encuentra encima del líquido dentro de un tanque de techo fijo está en contacto con la atmósfera a través de los respiraderos del mismo. Si la sustancia almacenada es lo suficiente volátil, el vapor puede combinarse con el aire y formar una mezcla inflamable.

Las atmósferas inflamables deben evitarse en los tanques de techo fijo a través de sistemas de control

adecuados y, cuando sea necesario, contar con unidades de inertización. De igual manera, los tanques deben estar bien protegidos de fuentes de ignición.

Aparte de las operaciones de carga, en los tanques de techo fijo se pueden generar atmósferas explosivas de diferentes maneras, entre ellas (García, 2023):

Figura 2. Tanque de techo fijo



Fuente: tomado de www.pipingengineer.org/wp-content/uploads/dished-roof-storage-tank.jpg

- Degradación de los combustibles almacenados, particularmente, aquellos que contienen residuos de craqueo (proceso térmico o catalítico para descomponer un compuesto en otros más simples).
- Producción de una atmósfera inflamable cuando se almacena un producto volátil como combustibles derivados del petróleo por medio de la mezcla, contaminación o sobrecalentamiento de estos.
- Inadecuada separación de los productos livianos y pesados.
- Formación de nubes o niebla de vapor como consecuencia de cha-

poteo o salpicaduras en las operaciones de llenado.

Tanques de techo flotante

Los tanques de techo flotante son aquellos que cuentan con un techo móvil que, como su nombre lo indica, flota encima del producto almacenado. Se clasifican de acuerdo con el tipo: interno o externo. Los tanques de techo flotante interno son aquellos que tienen un techo fijo adicional en la cima (generalmente tipo domo) mientras que los tanques de techo flotante externo no cuentan con cubierta adicional, es decir, están expuestos directamente al clima.

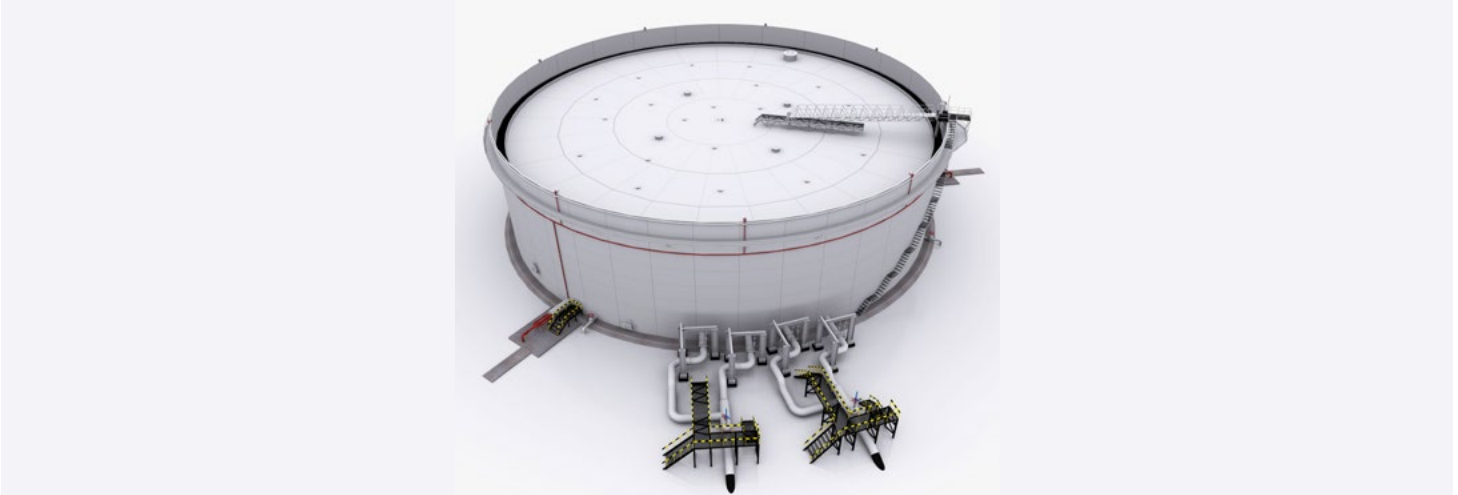
La emisión de vapores de un tanque con techo flotante interno es, por lo general, mucho menor que la de aquellos con techo flotante externo debido a que el efecto del viento ha sido eliminado.

Las siguientes son algunas ventajas de los tanques con techo flotante:

- No dejan espacio para la acumulación de vapor por lo que se elimina la posibilidad de formación de una atmósfera explosiva.
- Reducen pérdidas del producto por evaporación.
- Reducen la contaminación del aire.

- Los flotadores internos incrementan la protección contra el fuego. Instalar una cubierta tipo domo sobre el techo flotante disminuye considerablemente la posibilidad de ignición.

Figura 3. Tanque de techo flotante externo



Fuente: tomado de https://stock.adobe.com/co/images/large-oil-tank-with-floating-roof/383727507?prev_url=detail

Figura 4. Tanque de techo flotante interno



Fuente: tomado de <https://stock.adobe.com/co/images/fuel-storage-tanks/14032812?prev>

Corrosión de los tanques

La mayoría de los tanques son fabricados en acero al carbono (acero de construcción), el cual puede corroerse cuando es expuesto al aire y al agua. Con el paso del tiempo la corrosión puede debilitar o dañar las láminas que forman los tanques, generando orificios o fallas estructurales que pueden desencadenar fugas o accidentes. El óxido, el residuo que se desprende de las partes corroídas, puede restringir o bloquear los sumideros de drenaje y, de esta forma, generar la acumulación de agua, ocasionando aún más corrosión.

La oxidación del acero se acelera debido a varios factores, entre ellos, el incremento de la temperatura, la exposición a un ambiente corrosivo o, incluso, la corriente eléctrica. Existen estrategias de control que pueden aplicarse para evitar la oxidación de los tanques. Algunas de estas son (Wermac, 2018):

- Uso de materiales resistentes a la corrosión tanto para la estructura del tanque como en los accesorios adicionales.
- Aplicación de revestimientos como pintura, anticorrosivos o fibra de vidrio.
- Protección catódica para prevenir la corrosión de los componentes del

tanque que están en contacto con el suelo.

- Uso de químicos inhibidores de corrosión en mezcla con el producto almacenado para evitar la corrosión de las paredes interiores.

Inspección de tanques

Por lo general, hay tres tipos de inspección en tanques de almacenamiento:

- Inspección visual
- Inspección en servicio
- Inspección fuera de servicio

Las inspecciones, internas y externas, deben realizarse en periodos regulares de tiempo, ya sea por personal propio o

por parte de una autoridad de inspección externa a la empresa y organización que confirme la seguridad e integridad de los tanques examinados. La norma API 653 'Inspección, reparación, modificación y reconstrucción de tanques de almacenamiento' contiene los procedimientos y formatos para esta labor.

Los intervalos entre las inspecciones aplicadas a un tanque (ya sean internas o externas) se deben determinar con base en los siguientes aspectos (García, 2023):

- El historial de servicio y operación del tanque.
- El nivel o tasa de corrosión del tanque.
- La naturaleza de los productos almacenados.

- Los resultados de los chequeos de mantenimiento.
- Los resultados de inspecciones previas.
- La localización del tanque, por ejemplo, si se encuentra en áreas de alto riesgo.
- Los cambios en los procedimientos de operación, por ejemplo, la frecuencia del asentamiento del techo flotante.
- La legislación aplicable o los estándares internacionales.


En conclusión, una gestión eficaz de los riesgos en los sistemas de almacenamiento ya sea que involucren tanques o contenedores, es fundamental para garantizar la seguridad operativa, la protección ambiental y el cumplimiento normativo. Al implementar protocolos integrales de evaluación de riesgos, prácticas de mantenimiento proactivo y planes sólidos de respuesta a emergencias, las organizaciones pueden mitigar los peligros potenciales asociados con las operaciones de almacenamiento. Además, el cumplimiento de los estándares de la industria, los requisitos reglamentarios y la adopción de mejores prácticas desempeña un papel crucial a la hora de minimizar los pasivos y proteger los activos y los intereses de los diversos actores. En general, priorizar la gestión de riesgos en los sistemas de almacenamiento no solo mejora la seguridad y la resiliencia, sino que también fomenta prácticas sostenibles y responsables que benefician tanto a las empresas como a las comunidades. 

Figura 5. Tanque con corrosión



Fuente: tomado de https://stock.adobe.com/co/images/big-industrial-oil-tanks-in-a-refinery-in-the-morning/327404101?prev_url=detail

Referencias

Carex Canadá. (2023). Perfil de sílice (cristalina). Disponible en: https://www.carexcanada.ca/profile/silica_crystalline/

ANSI/API STD 2350, 5th Edition, September 2020. Overfill Prevention for Storage Tanks in Petroleum Facilities

API RP 2026, 4th Edition, July 2022 - Safe Access/Egress Involving Floating Roofs of Storage Tanks in Petroleum Service

API RP 2003, 8th Edition, September 2015 - Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents

API STD 2015, 8th Edition, January 2018 - Requirements for Safe Entry and Cleaning of Petroleum Storage Tanks

API STD 653, 5th Edition, November 2014 - Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction

API RP 2021, 4th Edition, May 2001 - Management of Atmospheric Storage Tank Fires

BP-IChemE. (2006). BP Process Safety Series: Safe Tank Farms and (Un)loading Operation. Rugby, Reino Unido: IChemE.

Chaparro Castañeda, A. C. (2021). Evaluación de riesgo de tanques de almacenamiento de crudo en ambiente costero de acuerdo con metodologías API581 y EEMUA159. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Obtenido de https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/8544/1/Evaluacion_riesgo_tanques_de_almacenamiento_crudo.pdf

CSB. (2015). Caribbean Petroleum Refining Tank Explosion and Fire. Recuperado el 08 de Febrero de 2024, de <https://www.csb.gov/caribbean-petroleum-refining-tank-explosion-and-fire/>

García, J. A. (2023). Operación segura de tanques. Aspectos clave y recomendaciones. Series El Supervisor, Consejo Colombiano de Seguridad.

IChemE. (2022). Failures, repeated - the Tianjin explosion. Loss Prevention Bulletin, 286. Obtenido de www.icheme.org/media/18714/lpb286_pg17.pdf

Pabón Figueroa, J. A., & Quintero Castillo, A. F. (2019). Diseño de un plan de inspección para los tanques de almacenamiento. Universidad Industrial de Santander.

Petros, P. (2017). Port Risk Management in Container Terminals. Transportation Research Procedia, 25, 4411-4421.

SURA. (2011). Almacenamiento seguro de sustancias químicas. Centro de Información de Sustancias Químicas, Emergencias y Medio Ambiente.

Wermac. (2018). Storage Tanks Safety. Obtenido de www.wermac.org/equipment/storage_tanks_safety.html



Secur App

ACIN

Reporta Actos y condiciones inseguras con IA y Machine Learning

- IA** y **MACHINE LEARNING** para la gestión de actos y condiciones inseguras
- Reportes sin límites de usuarios
- Planes de acción con diversas metodologías
- Predice** posibles ocurrencias de acuerdo a comportamientos en tus centros de trabajo
- Genera tips y **medidas de prevención**
- Modela y establece procedimientos de **trabajo seguro**
- Mejora tus indicadores de siniestralidad
- Dashboards e informes automatizados



Escríbenos y agenda tu **DEMO GUIADO** www.securapp.co