



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis de riesgos de una instalación de suministro de combustible para embarcaciones en el puerto de Valencia

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Fuentes Peris, Paula

Tutor/a: Fuentes Bargues, José Luis

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

ANÁLISIS DE RIESGOS EN UNA INSTALACIÓN DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE PARA EMBARCACIONES EN EL PUERTO DE VALENCIA

AUTOR: PAULA FUENTES PERIS

TUTOR: JOSÉ LUIS FUENTES BARGUES

Curso Académico: 2021-22

AGRADECIMIENTOS

"A mi tutor del TFG, por haber estado siempre dispuesto sin importar la hora y el día"

"A mi familia, por haberme apoyado en esta carrera de fondo y recordarme que debía seguir"

"A mis amigos por entender la situación y quedar cuando los exámenes terminaban"

"A Kevin, por creer siempre en mí, estar a mi lado siempre y motivarme para sacar mi mayor potencial"

RESUMEN

El avance tecnológico aplicado a las actividades industriales ha llevado consigo una mejora importante en el nivel de vida. Sin embargo, la explotación de instalaciones industriales ha desarrollado nuevos riesgos, provocando un aumento de accidentes graves con un gran impacto sobre el medio ambiente, las personas y el equipo. Por ello, el control del riesgo y su mantenimiento, dentro de unos límites “tolerables” mediante medidas correctoras y preventivas, es uno de los objetivos tanto de la industria como de los equipos de gobierno de un país desarrollado industrialmente.

El análisis de riesgos es un instrumento para el estudio de los diferentes riesgos asociados a una instalación industrial, a partir de exploración continua que busca identificar los efectos de los accidentes de aquellas instalaciones potencialmente peligrosas.

El presente proyecto analiza y evalúa los riesgos presentes en una instalación de suministro de combustible situada en el Puerto de Valencia mediante dos técnicas, una cualitativa y otra cuantitativa.

Mediante la técnica cualitativa, SWIFT, se identifican los diferentes riesgos asociados a cada nodo de cada subsistema de la instalación. Una vez identificados los riesgos, mediante el método cuantitativo, la Teoría de los Conjuntos Difusos, se clasifican estos riesgos de forma numérica. En el proyecto, se ha concluido que los riesgos con mayor potencial de daños y consecuencias son el vertido de combustible y la generación de una atmósfera inflamable.

Finalmente, para terminar el análisis, se proponen las medidas preventivas y/o correctoras para que estos riesgos no provoquen accidentes o situaciones catastróficas complementadas con el Anexo 2 indicando procedimientos de trabajo.

RESUM

L'avanç tecnològic aplicat a les activitats industrials ha portat amb si una millora important en el nivell de vida. No obstant això, l'explotació d'instal·lacions industrials ha desenvolupat nous riscos, provocant un augment d'accidents greus amb un gran impacte sobre el medi ambient, les persones i l'equip. Per això, el control del risc i el seu manteniment, dins d'uns límits "tolerables" mitjançant mesures correctores i preventives, és un dels objectius tant de la indústria com dels equips de govern d'un país desenvolupat industrialment.

L'anàlisi de riscos és un instrument per a l'estudi dels diferents riscos associats a una instal·lació industrial, a partir d'exploració contínua que cerca identificar els efectes dels accidents d'aquelles instal·lacions potencialment perilloses.

El present projecte analitza i avalua els riscos presents en una instal·lació de subministrament de combustible situada en el Port de València mitjançant dues tècniques, una qualitativa i una altra quantitativa.

Mitjançant la tècnica qualitativa, SWIFT, s'identifiquen els diferents riscos associats a cada node de cada subsistema de la instal·lació. Una vegada identificats els riscos, mitjançant el mètode quantitatiu, la Teoria dels Conjunts Difusos, es classifiquen aquests riscos de manera numèrica. En el projecte, s'ha conclòs que els riscos amb major potencial de danys i conseqüències són l'abocament de combustible i la generació d'una atmosfera inflamable.

Finalment, per a acabar l'anàlisi, es proposen les mesures preventives i/o correctores perquè aquests riscos no provoquen accidents o situacions catastròfiques complementades amb l'Annex 2 indicant procediments de treball.

ABSTRACT

Technological progress applied to industrial activities has led to a significant improvement in the standard of living. However, the exploitation of industrial facilities has developed new risks, causing an increase in serious accidents with a great impact on the environment, people and equipment. Therefore, the control of risk and its maintenance, within "tolerable" limits through corrective and preventive measures, is one of the objectives of both industry and government teams in an industrially developed country.

Risk analysis is an instrument for the study of the different risks associated with an industrial facility, based on continuous exploration that seeks to identify the effects of accidents in those potentially dangerous facilities.

This project analyzes and evaluates the risks present in a fuel supply facility located in the Port of Valencia using two techniques, one qualitative and one quantitative.

Using the qualitative technique, SWIFT, the different risks associated with each node of each subsystem of the installation are identified. Once the risks have been identified, using the quantitative method, the Theory of Fuzzy Sets, these risks are classified numerically. In the project, it has been concluded that the risks with the greatest potential for damage and consequences are the spillage of fuel and the generation of a flammable atmosphere.

Finally, to finish the analysis, preventive and/or corrective measures are proposed so that these risks do not cause accidents or catastrophic situations complemented by Annex 2 indicating work procedures.

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA	6
ANEJOS	64
1. ANEJO I. INSTALACIONES EN EL PUERTO DE VALENCIA. PLANO E IMAGEN.....	65
2. ANEJO II. RECOMENDACIONES PRÁCTICAS DE SEGURIDAD	66
2.1 <i>Medidas de prevención</i>	66
2.2 <i>Medidas de protección</i>	68
2.3 <i>Equipos de protección individual</i>	69
PRESUPUESTO	70

MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
1 INTRODUCCIÓN	11
1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO	11
1.2 MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO.....	11
2 ANÁLISIS DE RIESGOS	12
2.1 CONCEPTO DE RIESGO Y PELIGRO	12
2.1.1 <i>Cuantificación y tipos de riesgo</i>	13
2.2 ANÁLISIS DE RIESGOS INDUSTRIALES.....	14
2.2.1 <i>Principales objetivos</i>	14
2.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS	15
2.4 ETAPAS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS	17
2.4.1 <i>Identificación de peligros</i>	17
2.4.2 <i>Modelización de accidentes</i>	18
2.4.3 <i>Estimación de probabilidades</i>	18
2.4.4 <i>Determinación de consecuencias</i>	18
3 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	19
4 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	21
4.1 INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL ANÁLISIS DE RIESGOS.....	22
4.2 TÉCNICA SWIFT.....	22
4.2.1 <i>Proceso</i>	23
4.3 TÉCNICA DE LOS CONJUNTOS DIFUSOS	26
4.3.1 <i>Conjuntos difusos</i>	27
4.3.2 <i>Números difusos</i>	28
4.3.3 <i>Valores Lingüísticos</i>	28
4.3.4 <i>Operaciones aritméticas con números difusos</i>	29
4.3.5 <i>Proceso</i>	29
5 APLICACIÓN CASO PRÁCTICO	33
5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	33
5.1.1 <i>Descripción general</i>	33
5.1.2 <i>Descripción del proceso</i>	34
5.1.3 <i>Instalación de almacenamiento</i>	35
5.1.4 <i>Estación de suministro a embarcaciones</i>	35
5.1.5 <i>Tratamiento de aguas hidrocarburadas</i>	35
5.1.6 <i>Redes de drenaje, sistemas de evacuación y depuración</i>	36
5.1.7 <i>Conducciones enterradas</i>	36
5.2 ANÁLISIS DE RIESGOS.....	37
5.2.1 <i>Identificación de peligros por la técnica SWIFT</i>	37
5.2.2 <i>Evaluación de peligros por la teoría de conjuntos difusos</i>	48
5.2.3 <i>Priorización de riesgos y medidas correctivas y preventivas</i>	55

6	CONCLUSIONES	58
7	BIBLIOGRAFÍA	60
7.1	DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS.....	60
7.2	TRABAJOS FINAL DE GRADO	61
7.3	PROYECTOS DE EJECUCIÓN	61
7.4	NORMATIVA.....	62
7.5	ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla conceptual de riesgo	12
Tabla 2. Variables lingüísticas de impacto y probabilidad del riesgo	30
Tabla 3. Modelo de tabla para análisis HAZOP	25
Tabla 4. Esquema de las diferentes áreas	37
Tabla 5. Área de carga de embarcaciones, subsistemas y nodos	37
Tabla 6. Área de almacenamiento de producto, subsistemas y nodo	38
Tabla 7. Área de descarga de camiones cisterna, subsistemas y nodos	38
Tabla 8. Numeración de los riesgos	49
Tabla 9. Valoración lingüística de la probabilidad de riesgo e impacto de este	50
Tabla 10. Transformación de las variables lingüísticas a números difusos de los parámetros que definen el factor de riesgo de cada uno de los riesgos identificados	51
Tabla 11. Cálculo factor de riesgo	52
Tabla 12. Valores difusos del factor de riesgo a cada uno de los riesgos	53
Tabla 13. Valores reales del factor de riesgo a cada uno de los riesgos	54
Tabla 14. Clasificación del riesgo en categorías en función del factor de impacto de riesgo	55
Tabla 15. Presupuesto económico del proyecto	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Structured What If Technique</i>	23
Figura 2. Diagrama lógico de ejecución de análisis SWIFT	25
Figura 3. Funciones de pertenencia de I_R y P_R	31
Figura 4. Esquema de la metodología de análisis de riesgos	31
Figura 5. Imagen aérea de la Nueva Dársena del puerto de Valencia	33
Figura 6. Imagen estación suministro combustible	34
Figura 7. Material absorbente combustible situado en el boquerel	56
Figura 8. Extintores cerca del surtidor	56

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo del proyecto es la elaboración de un Análisis de Riesgos en una Instalación de Suministro de Combustible para embarcaciones en el Puerto de Valencia.

Por ello, se ha centrado el estudio en la instalación de almacenamiento de combustible en la Nueva Dársena de Servicios Náuticos del Puerto de Valencia.

El proyecto pretende:

- Plantear una metodología de identificación y análisis elegida para la evaluación del riesgo en el suministro de combustible para embarcaciones.
- Analizar la influencia de dicha instalación de suministro para la población, edificaciones y medio ambiente.
- Reflejar en función de los resultados obtenidos una serie de medidas correctivas y preventivas que afecten tanto a la instalación como a los procedimientos de funcionamiento.

1.2 MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO

La motivación para realizar este proyecto, basado en el análisis y evaluación de riesgos, despierta a raíz de interesarme por el riesgo que existe en una estación de suministro, y, especialmente, en una cuyos clientes son embarcaciones haciendo más complicado su suministro por todos los riesgos que conlleva y que tantos accidentes ha causado en la historia.

Conocer el proceso normal de funcionamiento de las instalaciones, la naturaleza de la sustancia que se manipula y cómo se va a suministrar esta son algunos procesos necesarios para predecir cómo se puede manifestar y producir los accidentes. Y así poder aplicar medidas preventivas para los seres vivos y para la naturaleza.

2 ANÁLISIS DE RIESGOS

2.1 CONCEPTO DE RIESGO Y PELIGRO

La sociedad suele relacionar el término de “riesgo” con otros como peligro o consecuencia (o daño). Estos tres son utilizados indistintamente ya que el término “riesgo” es usado para hacer referencia a situaciones que pueden causar algún peligro para el ser humano, el medioambiente o para bienes en general. Sin embargo, es importante conocer su significado y diferenciarlos bien para entender bien el concepto de riesgo.

Término	<i>Peligro</i>	<i>Riesgo</i>	<i>Consecuencia (daño)</i>
Concepto	Situación causada por factores externos con potencial de daño	Probabilidad de pérdida, daño o peligro a consecuencia de una decisión	Materialización del peligro

Tabla 1: Tabla conceptual de riesgo. Fuente: elaboración propia

Hay que saber diferenciar entre Peligro “*Hazard*” y Riesgo “*Risk*” ya que suelen confundirse, aunque no sean sinónimos. La gran diferencia entre estos dos términos es que mientras un peligro puede determinarse de manera objetiva, el riesgo se estima de manera estadística porque la materialización de un peligro no es algo que vaya a producirse con certeza y por eso hay que hacer uso de la probabilidad.

Por tanto, se puede entender que un peligro es una situación que puede causar daños tanto a las personas, medioambiente o propiedad; o más concretamente: “...la capacidad intrínseca de una sustancia peligrosa o la potencialidad de una situación física para ocasionar daños a las personas, los bienes y el medio ambiente”, según la definición del R.D. 840/2015. En cambio, un riesgo es la probabilidad de que se produzca un efecto específico en un período de tiempo determinado o en circunstancias determinadas.

Una vez aclarada la diferencia entre estos dos términos, se debe entender que cuando se habla de “Análisis de Peligros” se hace referencia a la determinación y al conocimiento de los peligros o consecuencias que dicha actividad industrial puede causar en su entorno. Sin embargo, se habla de “Análisis de Riesgos” cuando este estudio de peligros incluye probabilidad de ocurrencia.

También se habla de “Análisis Probabilístico de Riesgo” (APR) que referencia a la probabilidad de ocurrencia de cada consecuencia y a la magnitud que estas pueden tener en un área definida.

2.1.1 CUANTIFICACIÓN Y TIPOS DE RIESGO

Una definición más precisa que permita un tratamiento puritano del riesgo es la basada en el producto de la magnitud de las consecuencias por la probabilidad de ocurrencia de un determinado suceso.

Riesgo = Magnitud de las consecuencias X Probabilidad de ocurrencia

Por tanto, de esta manera, podemos disminuir el riesgo reduciendo los daños provocados por un accidente tomando medidas de protección o reduciendo la probabilidad de que este ocurra tomando medidas de prevención.

Pero, esta forma de definir el riesgo puede tener inconvenientes porque la magnitud de las consecuencias de un accidente no se mide únicamente en fallecimientos o pérdidas financieras en el momento. Existe la posibilidad que haya daños colaterales no pronunciados instantáneamente tras ocurrir el accidente, sino que lo hagan a largo plazo y tengan secuelas que no habían sido consideradas o haya una mayor de área contaminada como ocurrió en el accidente de Seveso o Bhopal.

Además, tampoco es sencillo calcular los parámetros que intervienen en la definición de riesgo, la magnitud de las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia. Más adelante, veremos que existen técnicas que permiten estudiar estos parámetros para poder estimar el riesgo con mayor precisión.

Si nos centramos en los riesgos de las actividades industriales, pueden clasificarse en tres categorías:

- **Riesgos convencionales:** aquellos relacionados con la actividad industrial y equipos utilizados en cualquier sector (caídas, electrocución).
- **Riesgos específicos:** asociados a la manipulación de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos radiactivos, tóxicos).
- **Riesgos mayores:** relacionado con situaciones excepcionales como puede ser un accidente. Sus consecuencias pueden ser graves y afectar a numerosas áreas (escape de gases explosivos).

De estos tres tipos de riesgos, los riesgos convencionales y los específicos son parcialmente fáciles de prever y pertenecen al tratamiento clásico de la Seguridad e Higiene en el Trabajo. Sin embargo, las propiedades especiales de los riesgos mayores los convierten en los más preocupantes ya que pueden traspasar los límites de la instalación y alcanzar a la población externa y al medio ambiente.

Por ello, cuando se habla de una instalación de una actividad industrial cerca del núcleo urbano o en un área con biodiversidad se tiene una percepción de peligro y

contaminación por la posible causa de un accidente y alteración del ecosistema. Actualmente, la industria ha realizado un gran trabajo para la prevención de riesgos, desarrollando métodos que permiten identificarlos y contrarrestarlos.

2.2 ANÁLISIS DE RIESGOS INDUSTRIALES

El análisis de riesgos industriales identifica, cuantifica y evalúa los peligros que tiene un proceso funcionando en condiciones normales y anormales que puedan darse en su puesta en marcha y en parada.

Los análisis de riesgos industriales permiten:

- Conocer ampliamente los peligros de los procesos industriales.
- Decretar los límites de seguridad de los distintos parámetros del proceso.
- Saber las consecuencias cuando los parámetros se alejen de sus límites.
- Tomar medidas preventivas de control de las variables del proceso.
- Establecer medidas de protección para disminuir las consecuencias en caso de accidente.

Entonces, el análisis de riesgos industriales aporta la información necesaria para tomar decisiones sobre la necesidad de tomar medidas de control, prevención o atenuación. Por ello, este análisis puede apoyar la decisión de regular e invertir en seguridad en una empresa.

2.2.1 PRINCIPALES OBJETIVOS

A través de un examen metódico de las instalaciones industriales potencialmente peligrosas, podemos decir que los principales objetivos del análisis de riesgos son la prevención de la ocurrencia y la atenuación de las consecuencias.

Principalmente se basa en:

- Distinguir los riesgos que puede presentar una instalación industrial para las personas, medio ambiente y bienes.
- Determinar aquellos accidentes cuya ocurrencia es posible.
- Contener los alcances que puedan tener estos accidentes.
- Prever las consecuencias que puedan provocar.

- Examinar las causas de estos accidentes, calculando sus frecuencias.
- Implantar medidas de protección y prevención para evitar que ocurra o disminuir los daños incluyendo las medidas de carácter organizativo.
- Definir el nivel de riesgo vinculado a las instalaciones.

2.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

Hay un amplio abanico de naturalezas de riesgo y recursos necesarios disponibles en las diversas actividades industriales. Por ello, es común encontrar una gran variedad de técnicas de análisis de riesgos desarrolladas y aplicadas en muchas áreas.

Se distinguen tres clases de técnicas:

- **Técnicas cualitativas:** definen las consecuencias, la probabilidad y el nivel de riesgo, sin recurrir al análisis numérico, solamente indicando niveles tales como “alto”, “medio” y “bajo”. Estas técnicas deben emplearse con claridad, explicando todos los términos utilizados y registrarse las bases decretadas para cada uno de los criterios. Algunos ejemplos de estas técnicas son: el ¿qué pasa si...? (¿What if...?), las listas de control (Check List), el análisis preliminar de riesgos (Preliminar Hazard Analysis, PHA) y el análisis de riesgo y operabilidad (Hazard and Operability Analysis, HAZOP).
- **Técnicas semicuantitativas:** permiten hacer un análisis llegando al detalle y solidez de un análisis cuantitativo. Suponen un adelanto hacia las consecuencias del accidente desde las técnicas cualitativas. Usan escalas de valoración numéricas para la probabilidad y las consecuencias, índices globales del riesgo potencial obtenidos a raíz de la probabilidad. Entre estos índices están el índice Dow, el índice Mound y los índices SHI y MHI (Substance Hazard Index y Material Hazard Index).
- **Técnicas cuantitativas:** determina valores reales para los daños y sus probabilidades. Permiten obtener valores del nivel de riesgo específicos, aunque el análisis cuantitativo no siempre es posible ya que existen situaciones en las que la información es escasa acerca de la actividad, influencia en diversos factores, etc. Suelen combinarse con otras técnicas semicuantitativas para realizar un previo análisis como el Árbol de fallos (Fault Tree, FT) y el Árbol de acontecimientos (Events Tree, ET).

Estos tres tipos de técnicas pueden suministrar una lista de situaciones con riesgos, la evaluación de estas situaciones y una sucesión de medidas para la mitigación del peligro asociado.

No es condición indispensable que cada una de las técnicas nos tenga que proporcionar todos los resultados indicados anteriormente, de hecho, muchas de estas únicamente deben determinar el riesgo. En cambio, otras deben anteponer y sugerir medidas correctoras. Por ejemplo, los índices Dow y Mound, y el análisis preliminar del peligro permiten tener una idea genérica del riesgo de la instalación a observar. Las técnicas What if...? y HAZOP nos proporcionan un análisis más detallado del riesgo del emplazamiento. Sin embargo, el Árbol de fallos nos facilita más detalles del riesgo en situaciones de máxima gravedad.

Existen diferentes niveles de análisis de riesgos según la diversidad y alcance ya que se puede aplicar en una nueva instalación como en la modificación de esta. Por ello, el análisis de riesgos podrá ser más o menos detallado ya que depende de las características y necesidades de cada situación. Cuando más se quiere reducir la posibilidad de fallo por la magnitud de los daños, más completo será el análisis y menor será el margen de error.

Algunos ejemplos de grados de análisis según su alcance y complejidad son:

- Determinación cualitativa simple.
- Análisis de riesgo semicuantitativos para estimar un amplio margen de error, daños y frecuencias de ocurrencia.
- Análisis de riesgos completos o cuantitativos, aplicando algún método de análisis cualitativo acompañado de una técnica cuantitativa de cada riesgo. Por ejemplo, aplicando los métodos de árboles de fallos y árboles de sucesos.
- Empleo de índices de riesgos muy básicos, poco rigurosos, pero para los que se necesita la evaluación de consecuencias y reiteración del riesgo.

2.4 ETAPAS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

Generalmente, se suelen asociar las distintas técnicas de análisis de riesgos con las diversas etapas de la actividad a la que está sometida el análisis. Seguidamente, se exponen las etapas de análisis explicadas con mayor detalle:

- **Identificación de peligros:** Adquisición de un listado minucioso de los peligros y las causas que ayudan a ellos dentro de la instalación estudiada.
- **Modelización de accidentes:** Interpretación de los mecanismos de los probables accidentes y determinación de las bases para la valoración de frecuencias de ocurrencia.
- **Estimación de probabilidades:** Evaluación y equiparación de las frecuencias o posibilidad de ocurrencia de los accidentes.
- **Determinación de los daños:** Estudio de los daños relacionados con los escenarios de riesgo y sucesiones accidentales primeramente identificadas.

2.4.1 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Cuando se plantea realizar un análisis de riesgos, lo primero que se debe hacer es determinar el objetivo de este estudio, alcance y grado de detalle. En algunas ocasiones, no es conveniente realizar un análisis de riesgo con el máximo nivel de profundidad.

Una vez identificados estos puntos, se inicia el análisis con la evaluación de las situaciones peligrosas relacionadas con la actividad o la condición de riesgo analizada. Esta fase se focaliza en encontrar las causas individuales de los peligros reales de la actividad industrial y sus consecuencias, concretamente, se centra en determinar los acontecimientos previos para contestar a las cuestiones de “¿qué puede salir incorrectamente?” y “¿cuál es el motivo?”.

La determinación de peligros es la etapa más importante en el análisis de riesgos porque cualquier peligro que no se haya definido no podrá ser analizado ni prevenido.

Los métodos utilizados en esta primera fase pueden no acotarse a concretar los accidentes mayores, sino que pueden estimar la posibilidad de que se produzcan otras situaciones de riesgo asociadas con el funcionamiento del proceso.

Entre las distintas técnicas identificativas, las más empleadas son:

- **Técnicas cualitativas:** análisis histórico de accidentes, análisis preliminar de riesgos (*Preliminar Hazard Analysis, PHA*), ¿qué pasa si...? (*What if...?*), listados de control (*Check List*), análisis de riesgo y probabilidad (*Hazard and Operability Analysis, HAZOP*) y análisis de modos de fallos y efectos (*Failure Modes and*

Effect Analysis, FMEA).

- **Técnicas semicuantitativas:** Índice Dow, Índice Mound e índices SHI y MHI (*Substance Hazard Index y Material Hazard Index*).

2.4.2 MODELIZACIÓN DE ACCIDENTES

Una vez se hayan identificado los peligros relacionados con la actividad a estudiar, el próximo paso es saber las posibles sucesiones accidentales y la determinación de situaciones límites. Esta fase debe focalizarse en determinar si el riesgo identificado tiene una repetición de ocurrencia lo suficientemente relevante como para poder transformarse en un accidente con unos daños notables.

En el caso de accidentes que no suelen producirse muy a menudo, los cuales implican la intervención de procesos más complejos para su difusión, se necesitan modelos de secuencias accidentales que empiecen por los incidentes iniciales identificados, para estudiar las causas y las consecuencias de la sucesión de acontecimientos que evolucionan tras ocurrir estos sucesos iniciadores.

Los métodos normalmente utilizados son el Árbol de Eventos (*Event Tree Analysis, ETA*) y el Árbol de Fallos (*Fault Tree Analysis, FTA*).

2.4.3 ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES

En esta fase se efectúa la cuantificación de la probabilidad o frecuencia con la que puede producirse un incidente, es decir, se puede estimar la no fiabilidad o no disponibilidad del sistema.

Se requiere saber el tiempo de funcionamiento de la instalación y la frecuencia de fallos, el tiempo de reparación, la indisponibilidad y el tiempo de comprobación de cada componente para poder realizar un minucioso análisis cuantitativo de riesgos. En la actualidad, la determinación de las técnicas relacionadas a la valoración de probabilidades evoluciona con programas informáticos.

2.4.4 DETERMINACIÓN DE CONSECUENCIAS

La siguiente fase se centra en la identificación de los daños relacionados con los sucesos accidentales determinados en la etapa anterior, los más significativos, y calcula la probabilidad de que estos produzcan estos escenarios accidentales.

Esta identificación puede ser simple o muy costosa ya que dependerá del tipo de actividad industrial estudiada en el análisis. Además, el grado de detalle del análisis dependerá de los objetivos establecidos, es decir, un análisis estará combinado por el número de etapas necesarias para satisfacer las expectativas del estudio.

3 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La Evaluación de Impacto Ambiental es indispensable para la protección del medio ambiente ya que facilita la incorporación de los criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones de cualquier actividad que, mediante proyectos, garantiza la adecuada prevención de impactos ambientales que se puedan generar estableciendo medidas preventivas, correctoras y/o de compensación. La percepción del riesgo permite, a las personas encargadas de la toma de decisiones, entender los riesgos que podrían entorpecer alcanzar el objetivo del proyecto y poder tratar de una manera más adecuada los riesgos.

Dicha evaluación es un instrumento consolidado que acompaña al desarrollo de manera que sea sostenible e integrador. Todo ello, está regulado mediante la Ley 9/2018 (España, 2018), por la que se modifica la Ley 21/2013 de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) (España, 2013) y se transpone al derecho español la Directiva 2014/52/UE, de 16 de abril de 2014, (Unión Europea, 2014) relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente. En el punto uno del artículo, punto catorce, apartado d) de la Ley 9/2018 indica la obligación del promotor de incluir en el Estudio de Impacto Ambiental (EslA) y un análisis de vulnerabilidad del proyecto ante accidentes graves, evaluando el riesgo de las posibles consecuencias.

La Ley 21/2013, en su artículo cinco, punto tres, define lo que se considera como accidente grave y catástrofe:

- "Accidente grave: suceso, como una emisión, un incendio o una explosión de gran magnitud, que resulte de un proceso no controlado durante la ejecución, explotación, desmantelamiento o demolición de un proyecto, que suponga un peligro grave, ya sea inmediato o diferido, para las personas o el medio ambiente.
- "Catástrofe: suceso de origen natural, como inundaciones, subida del nivel del mar o terremotos, ajeno al proyecto que produce gran destrucción o daño sobre las personas o el medio ambiente."

y lo que se entiende por vulnerabilidad del proyecto:

- "Vulnerabilidad del proyecto: características físicas de un proyecto que pueden incidir en los posibles efectos adversos significativos que sobre el medio ambiente se puedan producir como consecuencia de un accidente grave o una catástrofe."

Así se relaciona la EIA de proyectos con la normativa de análisis de accidentes graves, a nivel europeo la Directiva 2012/18/UE (conocida como Directiva Seveso III) (Unión Europea, 2012) y a nivel nacional, el Real Decreto 840/2015 (España, 2015), relativo al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

El presente proyecto consiste básicamente en la instalación de una estación de suministro para embarcaciones del cuál es necesario construir la caseta de almacenamiento, el enterramiento de los depósitos, la pasarela de conexión y la instalación del surtidor en la Nueva Dársena de Servicios Náuticos del Puerto de Valencia.

En el contexto de este trabajo, la vulnerabilidad tiene un doble efecto. Por un lado, hay que ver cuán vulnerable son las instalaciones destinadas a la explotación de la estación; y, por otro lado, hay que tener en cuenta la vulnerabilidad de los factores ambientales.

A diferencia de otras infraestructuras, como pueden ser puentes o presas, las instalaciones necesarias para la actividad de suministro son poco vulnerables al colapso estructural y, por ello, no son agravantes en caso de accidente desde este punto de vista.

El enterramiento de los depósitos no presenta una mayor vulnerabilidad ya que esta acción no perforará el fondo marino, si no que se extraerá el material aportado anteriormente para la construcción de la dársena y no se producirán graves consecuencias en caso de accidente.

Finalmente, desde el lado de la vulnerabilidad de los factores ambientales y frente accidentes marítimos como son los vertidos de contaminantes, es muy importante conocer que las especies de flora y fauna presentes en el Puerto de Valencia, especialmente en la zona acuática, son vulnerables a la extinción a causa de contaminaciones. Por ello, este es un punto que se trata con detenimiento más adelante en el análisis de riesgos del punto cinco de aplicación al caso práctico.

4 METODOLOGÍA: Técnicas de análisis de riesgos

La creciente complejidad y dinamismo de los proyectos han agregado mayores riesgos en la ejecución de estos. Sin embargo, estos riesgos no se suelen tratar correctamente y conllevan mayores costes y mayores demoras de tiempo. Por este motivo, es necesario mejorar estos resultados y una manera de poder hacerlo es analizando estos riesgos que se presentan durante la realización del proyecto.

El desarrollo de un análisis de riesgos varía en función de la metodología utilizada. Cada técnica tiene su particularidad, pero todas ellas coinciden en las siguientes etapas:

- **Identificación de riesgos:** definir qué riesgos pueden afectar a nuestra instalación y registrar sus características.
- **Evaluación de riesgos:** analizar y priorizar los riesgos mediando la evaluación de su probabilidad de ocurrencia.
- **Respuesta ante el riesgo:** decretar opciones y acciones para reducir la posibilidad de que se lleve a cabo.
- **Supervisión y revisión de riesgos:** realizar el plan de respuesta ante el peligro, estudiando la eficacia de este.

La selección de la técnica debe realizarse teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de cada una de ellas sin dejar atrás el objetivo y la motivación del análisis. Durante el análisis, una de las etapas que requiere mayor atención es la fase de evaluación de riesgos ya que los datos obtenidos para este estudio pueden ser fiables o no y hay muchas situaciones de incertidumbre.

En este punto se pretende describir las diferentes técnicas seleccionadas de entre todas las posibles para realizar el caso práctico del proyecto.

En primer lugar, teniendo presente el tipo de instalación del proyecto y sus características, se decide mostrar la técnica SWIFT que se desarrolló inicialmente como una alternativa más sencilla al estudio de riesgos y de operatividad (HAZOP). Esta técnica cualitativa nos ayudará a identificar todos aquellos riesgos posibles, planteando preguntas con todas las desviaciones posibles del funcionamiento normal de la instalación. Este primer método lo complementaremos con el uso de la Teoría de Conjuntos Difusos que nos permitirá clasificar de forma numérica cada riesgo identificado en la técnica SWIFT, relacionando términos lingüísticos con números difusos.

4.1 INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL ANÁLISIS DE RIESGOS

En el análisis de riesgos hay tres tipos de evaluaciones posibles dependiendo del conocimiento que tenga el director del proyecto respecto a la probabilidad de ocurrencia del riesgo y su impacto tanto en la propia instalación como fuera de ella. Los tres tipos de evaluación son los siguientes:

- **Evaluación bajo certidumbre:** los directores del proyecto están seguros de la probabilidad y el impacto de cierto riesgo porque consideran que la información estudiada es fiable.
- **Evaluación con riesgo:** Los directores estiman valoraciones objetivas de cierta información objetiva que puede estar incompleta. Esta evaluación se realiza mediante modelos matemáticos o de probabilidad subjetiva dependiendo totalmente de su experiencia.
- **Evaluación bajo incertidumbre:** se tienen pocos datos y no son muy fiables para realizar el análisis

4.2 TÉCNICA SWIFT

La técnica SWIFT es una de las herramientas cualitativa más sencilla del análisis de peligros basada en el estudio sistemático de la instalación donde se utiliza un conjunto de palabras de “efecto inmediato” para motivar que los participantes del análisis identifiquen riesgos. Lo que se busca con esta metodología es dar respuesta a una frase tan común como “¿qué pasa si...?” planteando así desviaciones de las situaciones normales para indicar los posibles peligros y riesgos que tenga la actividad estudiada para así poder clasificarlos y tomar medidas preventivas.

La metodología tiene un ámbito de aplicación bastante amplio ya que depende de las preguntas planteadas siendo relativas a cualquier área de la instalación. Estas preguntas pueden formularse en función de la experiencia previa y se aplican tanto en la investigación de un sistema, de un elemento de planta, de un procedimiento o de una organización.

Antes de empezar el análisis, se debe definir específicamente lo que se quiere estudiar. Los contextos externos e internos los suele definir el coordinador del análisis a través del estudio de documentos, planes y planos. También hay que tener una serie de conocimientos técnicos y experiencia en la actividad analizada ya que deben plantearse todas las posibles desviaciones del funcionamiento normal.

Structured What if Technique

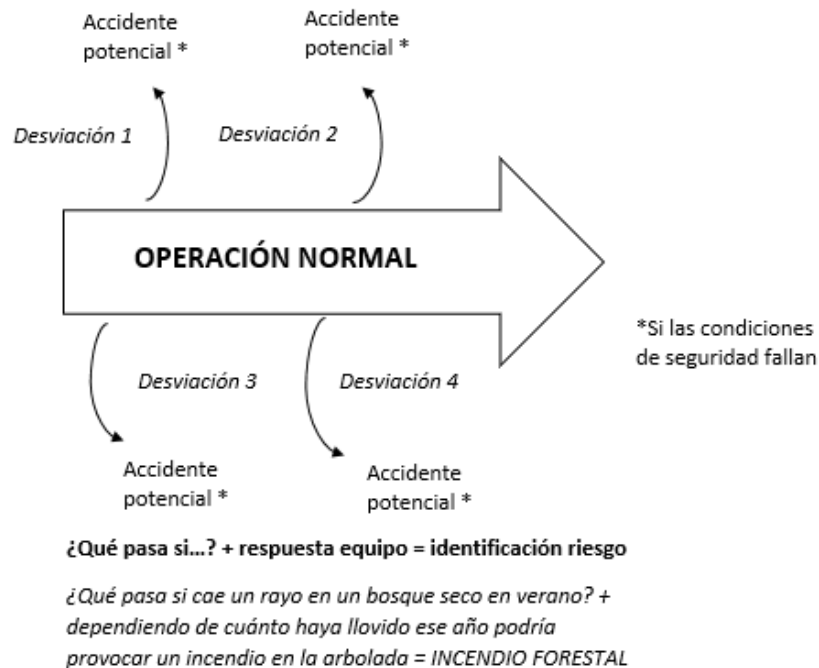


Figura 1: Structured What if Technique. Fuente: Elaboración propia

4.2.1 PROCESO

El proceso general para realizar un análisis mediante la técnica SWIFT es:

1. Establecer un equipo de trabajo elegidos esmeradamente entre aquellos que posean un alto grado de conocimiento y experiencia en proyectos semejantes.
2. El coordinador del estudio prepara una lista de palabras de efecto inmediato que permitan una revisión completa de peligros o riesgos.
3. En la reunión con el equipo se discute y acuerda el contexto interno y externo de la instalación a estudiar.
4. El coordinador plantea diversas preguntas para motivar la discusión sobre:
 - Riesgos y peligros conocidos
 - Experiencias e incidentes previos
 - Controles y protecciones conocidos
 - Requisitos y restricciones de carácter reglamentario
5. Favorecer el debate utilizando la frase “¿qué pasa si...?” y haciendo anotaciones a las preguntas de otros compañeros cuestionando cada desviación para llegar a plantear todas las posibles casuísticas.

6. Realizar un resumen de riesgos y controles a introducir.
7. El equipo de trabajo confirma y registra la descripción del riesgo, causas, consecuencias y controles previstos.
8. El equipo considera si los controles son correctos y eficaces. Además, acuerda una declaración de la efectividad del control de riesgo. Si no se llega a un acuerdo, se redefinen los controles.
9. Durante el debate, se plantean nuevas preguntas “¿qué pasa si...?” para seguir identificando nuevos peligros.
10. El coordinador toma anotaciones y sugiere nuevos escenarios adicionales para continuar conociendo todos los posibles riesgos.
11. Se aplica un método cualitativo o semicuantitativo de apreciación del riesgo para determinar la prioridad de las acciones creadas.
12. Los resultados incluyen un registro de tareas ordenadas en función del riesgo para constituir la base de las medidas preventivas del riesgo.

Fortalezas:

- La técnica SWIFT es aplicable a todas las situaciones posibles dentro de todas las actividades industriales. Es muy versátil.
- Es un análisis rápido y los peligros se descubren rápidamente en los grupos de trabajo.
- El estudio permite observar las respuestas del funcionamiento anormal de la instalación en vez de estudiar las consecuencias de fallo de esta.
- Permite identificar oportunidades de mejora de procesos y acciones que lleven a un mayor alcance del éxito.
- No necesita mucha preparación por el equipo de trabajo.
- Crea un registro del riesgo y un plan de tratamiento del riesgo con un poco más de esfuerzo.
- Se puede utilizar para identificar peligros y riesgos que lleven a un estudio cuantitativo.

Limitaciones:

- Necesita a un coordinador experto.
- Preparación meticulosa para no malgastar el tiempo en las reuniones de trabajo.
- Necesita un equipo de trabajo con conocimientos y experiencia para identificar todos los riesgos.

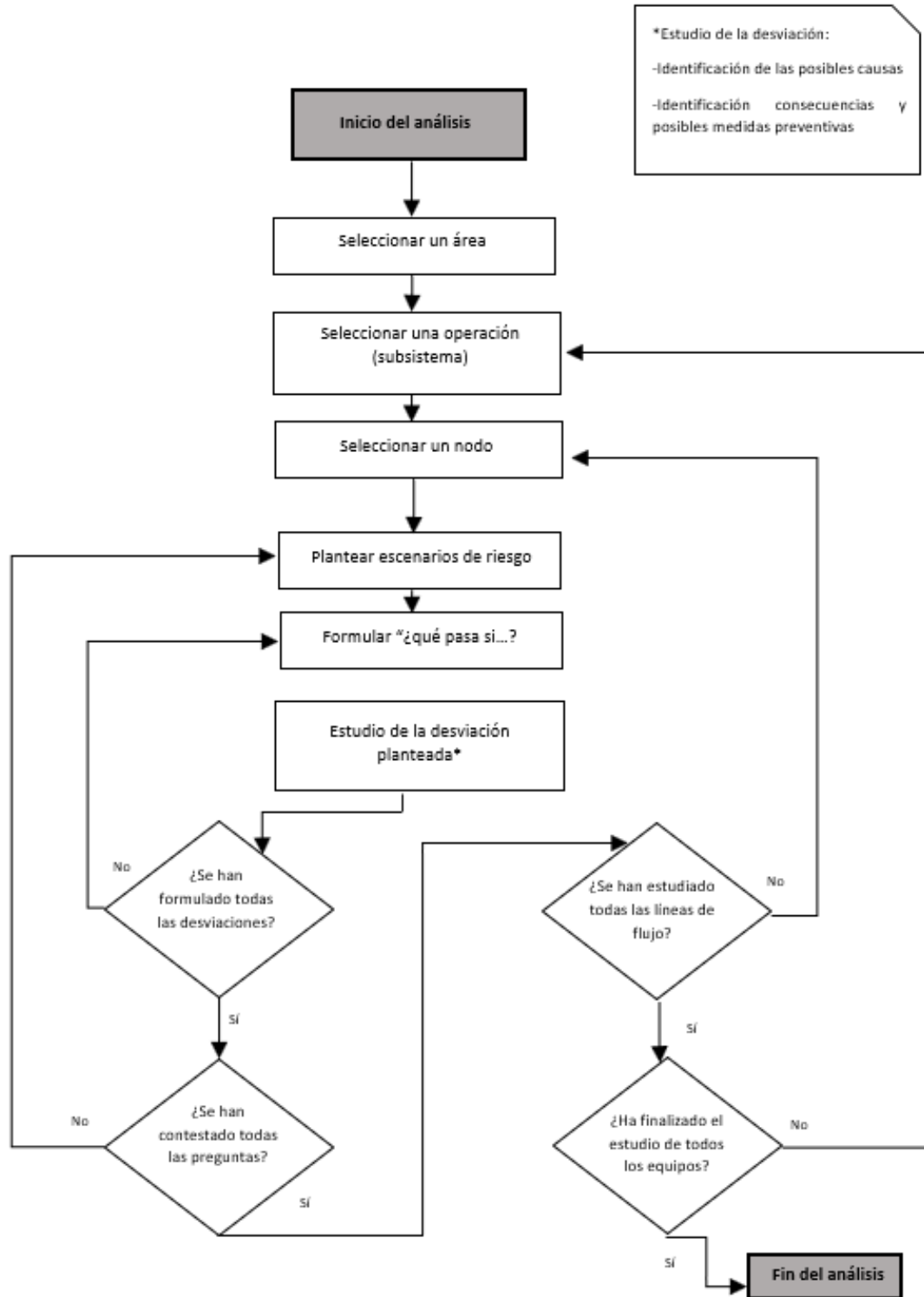


Figura 2: Diagrama lógico de ejecución de análisis SWIFT

4.3 TÉCNICA DE LOS CONJUNTOS DIFUSOS

La técnica de los conjuntos difusos se desarrolla a raíz de la necesidad de operar matemáticamente relacionando cada término lingüístico con un número difuso cuando no es posible proporcionar evaluaciones exactas debido a la falta de información y así poder tratar con menor subjetividad la valoración cuantitativa de riesgos basada en estimaciones de probabilidades.

La subjetividad y la incertidumbre conlleva la imposibilidad de aplicación de muchos métodos de evaluación de riesgo utilizados tradicionalmente como el análisis de árbol de fallos (FTA), análisis de árbol de sucesos (ETA), tabla de probabilidad e impacto, análisis de sensibilidad, estimación de la confiabilidad, modo de fallos y análisis de efecto por la necesidad de datos de alta calidad.

Actualmente, se han propuesto diversos procedimientos de evaluación de riesgos que se basan en las valoraciones lingüísticas en vez de basarse en números exactos aplicando los principios de la Teoría de los Conjuntos Difusos. Algunas de estas proposiciones se han inspirado en los métodos de evaluación de riesgos clásicos, como ETA y FTA:

- Fujino (1994), demuestra la aplicabilidad de la metodología FTA difusa en algunos casos de accidentes de construcción en Japón.
- Huang (2001), propone un procedimiento formal ETA difuso para integrar errores humanos y de equipos.
- Cho (2002), propone una metodología de ETA difusa caracterizada por el uso de nuevas formas de funciones de pertenencia.

En cambio, no todas las nuevas propuestas se centran en la integración de metodologías clásicas y Lógica Difusa, sino que han propuesto metodologías totalmente novedosas.

- Carr y Tha (2001), definen un modelo formal basado en una estructura jerárquica de riesgos. Las descripciones de los riesgos y sus consecuencias se definen mediante variables lingüísticas y la relación entre la probabilidad de ocurrencia (L), la gravedad (V) y el efecto de un factor de riesgo (E), representada por las reglas como "Si L y V, entonces E".
- Zeng et al (2007), proponen un modelo difuso de la metodología de jerarquía analítica. El análisis histórico de accidentes se utiliza para estructurar y priorizar los riesgos teniendo en cuenta tres parámetros fundamentales de riesgo: probabilidad de riesgo (RL), la gravedad del riesgo (RS) y el índice de factor (FI), definidos todos ellos en términos de variables lingüísticas que se transforman en números difusos trapezoidales. Las relaciones entre los parámetros de entrada FI, RI, RS y salida definido como riesgo de magnitud (RM) se presentan en forma de reglas de

“si...entonces”.

- Wang (2007), propone una metodología de evaluación de riesgo que permite a expertos evaluar los factores de riesgo, en términos de probabilidad y consecuencias, usando términos lingüísticos. También se proporcionan dos algoritmos alternativos para agregar las evaluaciones de los múltiples factores de riesgo, uno de los cuales ofrece una evaluación rápida y otro conduce a una evaluación exacta.
- Leal Salazar, Ofelia del Carmen (2015), proponen un sistema de Lógica Difusa Compensatoria (LDC) para la identificación de situaciones de riesgo y vulnerabilidad, así poder realizar una mejor toma de decisiones en las empresas.
- Barzola Vargas y Rodríguez Chiqui (2017), proponen utilizar la lógica difusa para convertir la información en confiable y precisa, y así, poder evaluar el riesgo post-sísmico y el efecto adverso que provoca la actividad humana.
- López Rojas y Rodríguez López (2021), proponen utilizar evaluaciones de riesgo y juicios de expertos complementada con una herramienta de calificación difusa para analizar y cuantificar los riesgos de un proyecto hidroeléctrico en Colombia.

La generalidad de las metodologías propuestas basadas en la comparación binaria de los parámetros de entrada no tiene en cuenta la coherencia de los juicios de valor emitidos por los expertos. La Teoría de los Conjuntos Difusos se propone como diferencia junto con otros métodos de evaluación de riesgo difusa el uso de un algoritmo para manejar las inconsistencias en la relación de preferencia difusa cuando hay comparaciones binarias.

4.3.1 CONJUNTOS DIFUSOS

Un conjunto difuso A se representa mediante la siguiente expresión:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\}$$

Donde:

U es un conjunto universal

X es un elemento de U

A es un conjunto difuso de U

$\mu_A(x)$ es la función de pertenencia de A en x

Cuanto mayor sea el valor de $\mu_A(x)$, mayor es el grado de pertenencia de x en A.

4.3.2 NÚMEROS DIFUSOS

Un número difuso es un conjunto difuso definido como:

$$A = \{x, \mu_A(x) | x \in \mathbb{R}\}$$

Donde:

X es un elemento del conjunto de números reales

μ_A es la función de pertenencia de $\mu_A: \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$, que cumple las siguientes propiedades:

- Constante en $(-\infty, a]$ and $[d, \infty)$: $\mu_A(x) = 0 \quad x \in (-\infty, a] \cup [d, \infty)$
- Estrictamente decreciente en el intervalo $[a, b]$ y estrictamente creciente en el intervalo $[c, d]$
- Constante en el intervalo $[b, c]$
- $\mu_A(x) = 1 \quad x \in [b, c]$, donde a, b, c, d son números reales y eventualmente $a = -\infty, b = c, a = b, c = d$ o $d = \infty$

Un número difuso trapezoidal puede ser representado por cuatro valores $A = [a, b, c, d]$ tal que $a < b < c < d$ y cuya función es:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{Para } x < a \\ \mu_{lA}(x) = \frac{x-a}{b-a} & \text{Para } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{Para } b \leq x \leq c \\ \mu_{rA}(x) = \frac{x-d}{c-d} & \text{Para } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{Para cualquier otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

4.3.3 VALORES LINGÜÍSTICOS

Una variable lingüística es una variable cuyos valores se expresan en términos lingüísticos. El concepto variable lingüística es muy útil para poder enfrentarse a situaciones que son muy complejas o no están bien definidas para poder ser descritas por expresiones cuantitativas tradicionales. Por ejemplo, 'Importancia' es una variable lingüística cuyos valores pueden ser UI (sin importancia), SI (poco importante), FI (bastante importante), I (importante) y VI (muy importante). Dichos valores lingüísticos pueden ser expresados por números trapezoidales difusos como IU = (0.0, 0.0, 0.1, 0.2), SI = (0.1, 0.25, 0.25, 0.4), FI = (0.3, 0.5, 0.5, 0.7), I = (0.6, 0.75, 0.75, 0.9) y VI = (0.87, 0.9, 0.9, 1.0).

4.3.4 OPERACIONES ARITMÉTICAS CON NÚMEROS DIFUSOS

Las operaciones aritméticas entre dos números difusos trapezoidales $A_1 = (a_1, b_1, c_1, d_1)$ y $A_2 = (a_2, b_2, c_2, d_2)$ se definen como sigue:

Suma difusa

$$A_1 \oplus A_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \quad (2)$$

Resta difusa

$$A_1 \ominus A_2 = (a_1 - d_2, b_1 - c_2, c_1 - b_2, d_1 - a_2) \quad (3)$$

Producto difuso

$$A_1 \otimes A_2 \approx (a_1 \cdot a_2, b_1 \cdot b_2, c_1 \cdot c_2, d_1 \cdot d_2) \quad (4)$$

Cociente difuso

$$A_1 \oslash A_2 \approx (a_1/d_2, b_1/c_2, c_1/b_2, d_1/a_2) \quad (5)$$

La multiplicación y el cociente entre números difusos trapezoidales no es un número difuso trapezoidal, aunque en la mayoría de los casos se aproxima a serlo.

Por otro lado, el producto de un escalar por un número difuso se define como sigue:

$$A_1 \times k = (a_1 \times k, b_1 \times k, c_1 \times k, d_1 \times k) \text{ si } k > 0 \quad (6)$$

$$A_1 \times k = (d_1 \times k, c_1 \times k, b_1 \times k, a_1 \times k) \text{ si } k < 0 \quad (7)$$

4.3.5 PROCESO

El proceso general para realizar el análisis de riesgos mediante la Teoría de los Conjuntos Difusos una vez formado el equipo de trabajo e identificado los riesgos mediante la técnica SWIFT es:

1. Valorar los parámetros que se usan para estimar el factor de riesgo asociado a cada uno de ellos. Dichas valoraciones pueden realizarse por términos lingüísticos que serán transformados en números difusos para operar matemáticamente con ellos.
2. Definir la función de factor riesgo como el producto de la probabilidad de que el riesgo ocurra y el impacto del riesgo sobre los objetivos del proyecto (coste, plazo, calidad...)

Dicha relación puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$F_R = I_R \times P_R \quad (8)$$

Donde:

F_R = Factor de riesgo

P_R = Probabilidad del riesgo

I_R = Impacto del riesgo

3. Definir las escalas lingüísticas de valoración y sus números difusos asociados.

Los términos lingüísticos más comunes para valorar los parámetros de un problema de evaluación de riesgo son:

- Para evaluar la probabilidad de riesgo se determina una escala de tres puntos: probabilidad alta (H), media (M) y baja (L).
- Para evaluar el impacto del riesgo se define una escala de cinco puntos crítico (C), grave (S), moderado (Mo), menor (Mi) y despreciable (N).

4. Valorar los parámetros P_R e I_R se divide en dos partes:

- *Valoraciones individuales de los parámetros:* Mediante el uso de las escalas lingüísticas definidas en la Tabla 2 cada uno de los componentes del equipo de trabajo realizará valoraciones lingüísticas de los parámetros P_R e I_R de cada riesgo identificado. Seguidamente, se convertirán a sus números difusos P_{Ri}^m e I_{Ri}^m donde:

i es el número de riesgos identificados

m el número de miembros del equipo.

Valores lingüísticos de I_R	Interpretación general	Número difuso
Crítico (C)	Implica un impacto muy alto	(0.8, 0.9, 1, 1)
Grave (S)	Implica un gran impacto	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)
Moderado (Mo)	Implica un impacto moderado	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
Menor (Mi)	Implicado un impacto pequeño	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)
Despreciable (N)	No hay impacto apreciable	(0, 0, 0.1, 0.2)
Valores lingüísticos de P_R		
Alta (H)	Probabilidad de que ocurra alta	(0.7, 0.9, 1, 1)
Media (M)	Probabilidad de que ocurra media	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
Baja (L)	Probabilidad de que ocurra baja	(0, 0, 0.1, 0.3)

Tabla 2: Variables lingüísticas de impacto y probabilidad del riesgo. Fuente: XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.

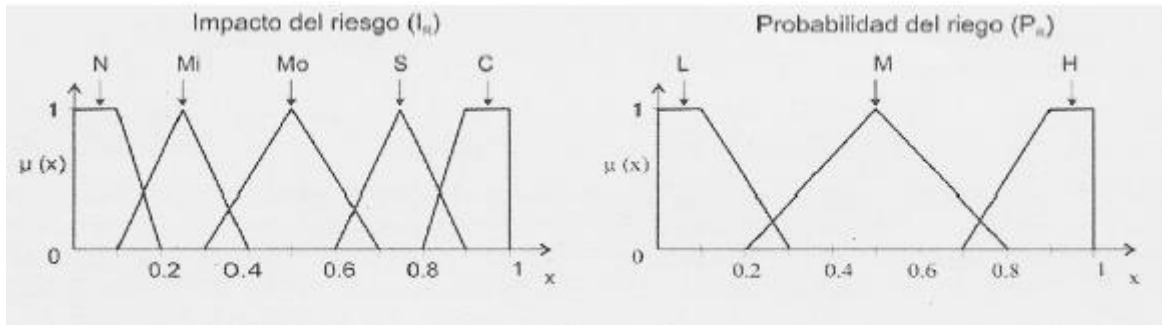


Figura 3: Funciones de pertenencia de I_R y P_R . Fuente: XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.

- **Valoraciones globales:** las valoraciones individuales de cada componente del equipo se juntan en un número difuso global mediante la media aritmética difusa que se define como:

$$P_{Ri} = \frac{1}{m} \times \sum_{n=1}^m P_R i^m = \frac{1}{m} \times (P_R i^1 \oplus P_R i^2 \oplus \dots \oplus P_R i^m) \quad (9)$$

$$I_{Ri} = \frac{1}{m} \times \sum_{n=1}^m I_R i^m = \frac{1}{m} \times (I_R i^1 \oplus I_R i^2 \oplus \dots \oplus I_R i^m) \quad (10)$$

Donde:

i es cada uno de los riesgos identificados

m es el número de miembros del grupo de trabajo

x es la multiplicación por un escalar definida en la ecuación (6)

\oplus es la suma difusa definida en la ecuación (2)

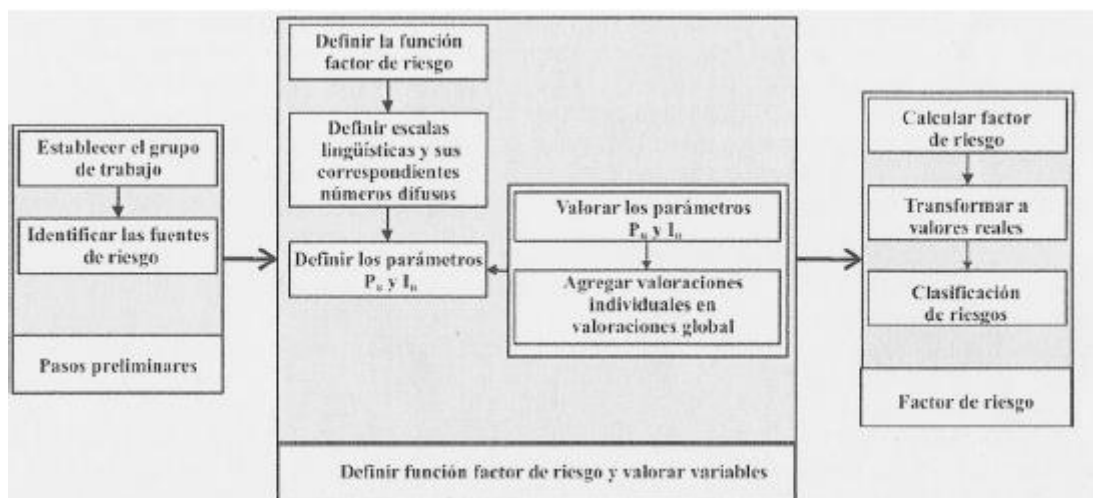


Figura 4: Esquema de la metodología de análisis de riesgos. Fuente: XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.

5. Una vez las valoraciones lingüísticas se han convertido en números difusos se determina el factor global de cada riesgo, R_i .

$$F_{Ri} = I_{Ri} \otimes P_{Ri} \quad (11)$$

Donde:

i es cada uno de los riesgos identificados

\otimes representa la multiplicación difusa usando las operaciones aritméticas de α -cortes descrita en la Ecuación (4).

6. Defuzzificar es la operación de convertir un número difuso en un número real. Hay varios métodos propuestos para el proceso de transformación de entre los cuales se ha elegido el método del centroide:

$$(F_{Ri})_T = \frac{\int_0^1 x F_{Ri}(x) d(x)}{\int_0^1 F_{Ri}(x) d(x)} \quad (12)$$

7. Para terminar la evaluación de riesgos, se debe clasificar los riesgos en función de su factor de impacto del riesgo en categorías. Las categorías definidas y los riesgos incluidos en ellas son:
- Si $(F_{Ri})_T$ o $[0, 0.1]$, R_i pertenece a la clase I y se clasifica como “Despreciable”.
 - Si $(F_{Ri})_T$ o $[0.1, 0.4]$, R_i pertenece a la clase II y se clasifica como “Aceptable”.
 - Si $(F_{Ri})_T$ o $[0.4, 0.8]$, R_i pertenece a la clase III y se clasifica como “No Aceptable”.
 - Si $(F_{Ri})_T$ o $[0.8, 1]$, R_i pertenece a la clase IV y se clasifican como “Intolerable”.

5 APLICACIÓN AL CASO PRÁCTICO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

5.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

En el presente Análisis de Riesgos (AR) se somete a estudio la instalación de almacenamiento y suministro de combustible gasóleo B para las embarcaciones y el tendido de tuberías de la Corporación de Prácticos de la Nueva Dársena de Servicios Náuticos del Puerto de Valencia, situado geográficamente en la Vertiente Ibérica Mediterránea, con un clima mediterráneo subtropical de inviernos moderados y veranos bastantes calurosos.

Respecto a las características del producto almacenado el gasóleo B, está categorizado como líquido inflamable (categoría 3) e irritante que puede formar mezclas explosivas de vapor/aire por encima de los 60°C. En caso de incendio desprende gases tóxicos e irritantes. Su color es rojo y su densidad a 15°C (máx/min) es 880/820 kg/m³. El punto de inflamación es mayor a 60°C y el punto de obstrucción filtro frío en invierno es de -10°C y en verano de 0°C. Puede soportar un contenido de agua máximo de 200 mg/kg y un contenido de cenizas de 0.01 %m/m.

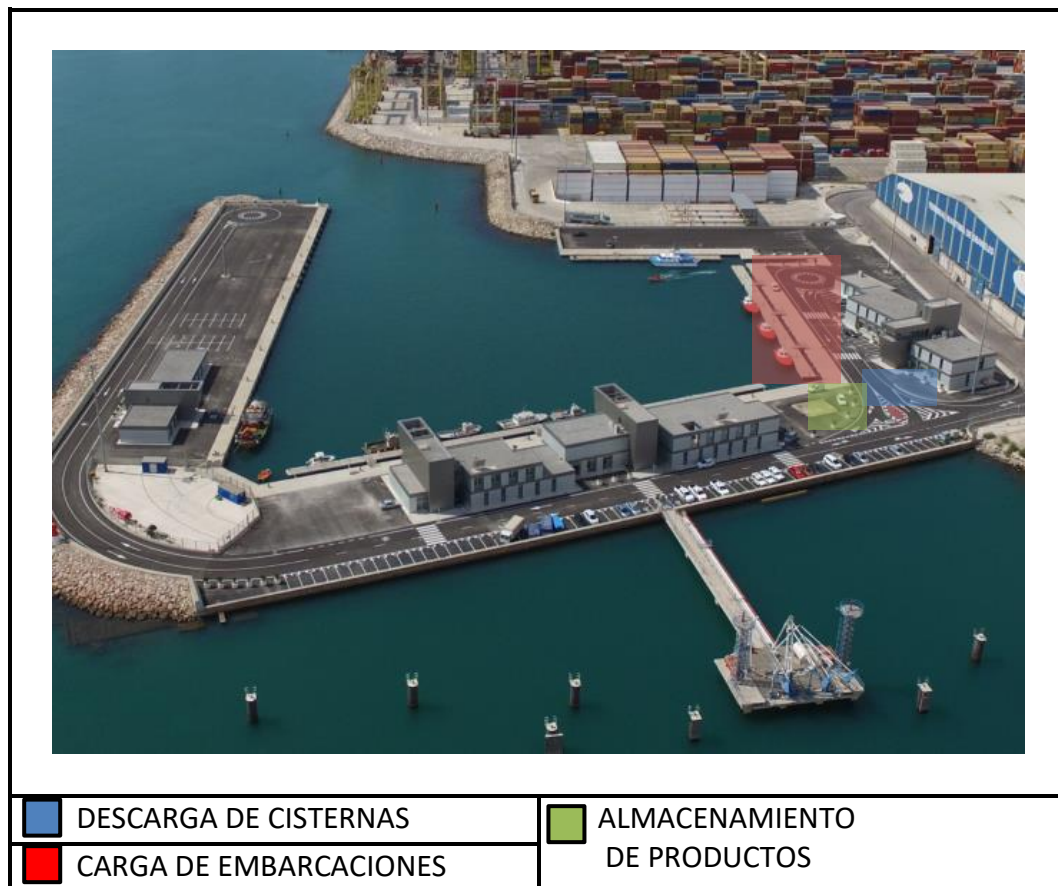


Figura 5: Imagen aérea de la Nueva Dársena del puerto de Valencia. Fuente: valenciaport.com

Se incluye imagen complementaria a la vista aérea proporcionada:



Figura 6: Imagen estación suministro combustible. Fuente: Google Maps

5.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Descarga de cisternas

La descarga de cisternas es la operación de recepción de mercancías. El producto presente en los compartimentos de la cisterna se descarga en los depósitos mediante la conexión de la manguera, primero al tanque y posteriormente a la cisterna, realizando las comprobaciones y medidas de seguridad implantadas, como son, conectar la pinza de toma tierra, utilizar equipamiento de protección individual y sacar muestras para comprobar el estado de los productos. Una vez el camión llegue a la zona de estacionamiento, el conductor del camión debe comunicarse con la persona de tierra encargada de la supervisión de la operación para iniciarla.

Almacenamiento de productos

Estas instalaciones almacenan productos petrolíferos, concretamente gasóleo tipo B, aceites y diversos residuos. Esta instalación está dotada de una zona reservada para los dos depósitos y otra zona para la gestión de residuos, almacenamiento de productos de limpieza y bidones de aceite. Además, hay un espacio reservado por si es necesario construir un tercer depósito en la zona destinada a ellos.

Carga de embarcaciones

La carga de las embarcaciones consiste en la impulsión mediante una bomba autoaspirante del combustible conducido por una manguera de 30 metros de longitud montada en devanadera. Este sistema surtidor cuenta con un sistema de protección de tubos de acero y un controlador con exportador de datos para poder tener controlado el suministro de combustible. En el momento de la operación deben comunicarse correctamente la persona de tierra encargada de la supervisión del suministro y el patrón del barco para iniciar el suministro.



5.1.3 INSTALACIÓN DE ALMACENAMIENTO

La instalación de almacenamiento consta de dos depósitos con una capacidad de 2.000 litros cada uno. La capacidad total de almacenamiento de la instalación es de 4.000 litros, con posibilidad de ampliarse con un tercer depósito hasta 6.000 litros.

Para evitar la posibilidad de que los productos confinados en estos depósitos puedan derramarse, cada uno de ellos está fabricado con polietileno de alta densidad (PEHD) y alto peso molecular, de simple pared, con cubeto interior incorporado. Además, la envolvente exterior hace las funciones de cubeto de retención del 100% de capacidad en caso de fuga del depósito interior. También tiene una tubería de ventilación de los tanques al exterior de 1 – ½” de diámetro que termina en seta cortafuegos y cuenta con una válvula de venteo que permite la entrega y la salida del aire, pero no la de objetos.

5.1.4 ESTACIÓN DE SUMINISTRO A EMBARCACIONES

El suministro a las embarcaciones se realiza mediante un surtidor y una manguera para la impulsión del combustible situado sobre una viga cantil en la zona frente al edificio de Prácticos que tiene una bomba autoaspirante para proceder a dicho suministro.

Esta estación está protegida por un sistema de tubos de acero. Además, el surtidor cuenta con un controlador con exportador de datos según normativa sobre Gasóleo profesional que se conecta a un ordenador para obtener los siguientes datos:

- La fecha y hora de suministro
- Usuarios
- Vehículos
- Litros suministrados
- Stock de litros en el tanque
- Dar de alta y baja usuarios o vehículos
- Calibrar el equipo
- Consultar suministros realizados
- Consultar y regularizar las existencias del depósito
- Asignar o cambiar códigos o llaves de los usuarios

5.1.5 TRATAMIENTO DE AGUAS HIDROCARBURADAS

Para poder pretratar las aguas hidrocarbурadas procedentes de la caseta del depósito de almacenamiento como de los posibles vertidos provocados en la zona de abastecimiento, se instala un decantador de lodos y separador de hidrocarburos en el emplazamiento definido en los planos del anexo. Estas aguas se recogen en una arqueta para conducir los residuos al decantador de lodos y arenas.

<i>Decantador de lodos y arenas</i>	El decantador de lodos y arenas tiene un volumen útil de 1.000 litros fabricado con polietileno. Los tubos de entrada y salida son de PVC DN 10.
<i>Separador de hidrocarburos</i>	Separador de hidrocarburos con tanque de polietileno. Tiene un dispositivo de obturación automática calibrado para hidrocarburos de densidad 0.85. Las conexiones de entrada y salida son con manguitos de PVC, a tuberías de DN 110. Dispone de acceso total para la realización de inspecciones y tareas de mantenimiento. Tiene un sistema de alarma que indica cuándo proceder al mantenimiento reduciendo los costes de explotación. También tiene sistema de obturación automático para evitar el vertido accidental en caso de rebose de nivel de acumulación de hidrocarburos.
<i>Arqueta de toma de muestras</i>	Arqueta de muestras prefabricada circular en polietileno rotomoldeado con acceso total a la parte superior para permitir la toma de muestras.

5.1.6 REDES DE DRENAJE, SISTEMAS DE EVACUACIÓN Y DEPURACIÓN

Los residuos tratados en el decantador de lodos y separador de hidrocarburos se conducen a la red de fecales más próxima situada en el edificio de los Amarradores. Se realiza la conexión mediante tubo de PVC DN110 y se coloca una electrobomba para el achique de aguas.

5.1.7 CONDUCCIONES ENTERRADAS

La conducción del combustible desde los depósitos de almacenamiento hasta la estación de suministro se realiza mediante tuberías de polietileno de alta densidad, de doble cuerpo UPP, de 1 ½" (63/50), colocada continua y sin juntas. Se calorifugará mediante aislamiento térmico flexible de espuma elastómera de célula cerrada para minimizar los efectos de la cavitación.

5.2 ANÁLISIS DE RIESGOS

5.2.1 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS POR LA TÉCNICA SWIFT

Antes de iniciar el análisis mediante la identificación de riesgo mediante la utilización de la técnica SWIFT, debemos asegurar que está concretamente definido lo que se debe estudiar. En este caso práctico, lo que se va a estudiar es la instalación de suministro de combustible a embarcaciones en el Puerto de Valencia, la cual se divide en tres áreas principales, tal y como se muestra en la Tabla 4.

Instalación	Estación de Suministro de Combustible para Embarcaciones en el Puerto de Valencia	
Áreas	Área 1	Carga de embarcaciones
	Área 2	Almacenamiento del producto
	Área 3	Descarga de cisterna

Tabla 4: Esquema de las diferentes áreas. Fuente: Elaboración Propia

Dentro de estas áreas hay diferentes subsistemas de los cuáles identificaremos los distintos elementos críticos o nodos de estudio. Los nodos localizados para cada área son los siguientes:

Área 1: Operación de carga de embarcaciones

En el punto de atraque de la estación de suministro de combustible del Puerto de Valencia se lleva a cabo esta operación, donde los operarios de la embarcación deben enviar la información necesaria a la autoridad portuaria para atracar, realizar los cálculos pre-carga y realizar todas las comprobaciones frecuentes para asegurarse de que la embarcación puede atracar correctamente.

Área	Subsistema	Nodos	
1	1.1 Conexión barco-estación	1.1.1	Atraque del barco en la estación
		1.1.2	Extensión manguera
		1.1.3	Conexión boquerel-tanque de combustible
	1.2 Trasvase hacia embarcaciones	1.2.1	Apertura de tanque
		1.2.2	Circulación producto
		1.2.3	Cerrado tanque
		1.2.4	Limpieza residuos

Tabla 5: Área de carga de embarcaciones, subsistemas y nodos

Área 2: Operación de almacenamiento de producto en depósitos

Esta operación es el traslado del combustible por las mangueras y tuberías desde la estación de suministro hasta la entrada del barco correspondiente. El almacenamiento se realiza en dos depósitos enterrados que mediante la bomba autoaspirante de la instalación de suministro es conducida por las tuberías hasta la manguera.

Área	Subsistema	Nodos	
2	2.1 Llenado de depósitos	2.1.1	Apertura válvulas depósito
		2.1.2	Llenado depósito
		2.1.3	Cerrado válvulas depósito
	2.2 Depósitos	2.2.1	Almacenaje del producto

Tabla 6: Área de almacenamiento de producto, subsistemas y nodos

Área 3: Operación de descarga de producto en camiones cisterna

En esta operación se realiza el traslado de combustible desde los camiones cisterna hasta el depósito de almacenamiento. Cuando el camión queda estacionado en la zona señalizada para la descarga y puesto a tierra, por medio de una manguera, se conecta su cisterna a la boca de conexión para suministrar el producto. Una vez realizada esta conexión, se abre la válvula y se inicia la descarga.

Área	Subsistema	Nodos	
3	3.1 Llegada a la estación de descarga	3.1.1	Posicionamiento del camión
		3.1.2	Conexión manguera-depósito
	3.2 Traslado desde camión	3.2.1	Apertura de válvulas depósito-cisterna
		3.2.2	Traslado y llenado depósitos
		3.3.3	Cerrado de válvulas

Tabla 7: Área de descarga de camiones cisterna, subsistemas y nodos

El siguiente paso que hay que seguir es establecer el equipo de trabajo que realizará el análisis. En este proyecto el equipo de trabajo está formado por una única persona que es la que desarrolla el proyecto.

A continuación, se empieza el análisis realizando una lista de palabras de efecto inmediato que ayuden a una revisión completa de peligros y riesgos. La lista es la siguiente:

- Conexiones
- Vientos
- Corrientes
- Incendio
- Tormentas
- Vertido combustible
- Fuga
- Contaminación hábitat
- Caudal
- Presiones
- Mantenimiento

Una vez realizada la anterior lista, se define el contexto externo e interno de la instalación. El contexto externo de la instalación es el Puerto de Valencia situado geográficamente en la Vertiente Ibérica Mediterránea, con un clima mediterráneo subtropical de inviernos moderados y veranos bastantes calurosos. Este puerto canaliza el tráfico de cualquier tipo de mercancía de todos los sectores de la economía como el textil, alimentario, energético, automóvil, etc. Respecto al contexto interno, se trata de una instalación para suministrar combustible a las embarcaciones y, por tanto, es una instalación que requiere de un análisis de riesgos por el peligro que supone almacenar este tipo de productos. Se pretende facilitar el combustible desde tierra a las embarcaciones y uno de los riesgos asociado a esta operación es el vertido de combustible sobre las aguas e instalaciones del puerto con todas las consecuencias que esto conlleva. Las preguntas, riesgos identificados y controles a introducir son los siguientes:

Nodo 1.1.1: ATRAQUE DEL BARCO EN LA ESTACIÓN	Área 1: Carga de embarcaciones
	Subsistema 1.1: Conexión barco-estación
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si hubiese fuertes vientos en el momento de amarre?	Habría un movimiento excesivo y la tripulación junto con los operarios de la estación deberían comprobar todo el sistema de amarre.
¿Y si hubiese una velocidad excesiva que produjeran un impacto y hubiese derrame?	Las embarcaciones deben diseñarse con doble casco y fondo para facilitar protección en caso de colisión y evitar derrames. Además, utilizan medidores de velocidad de acercamiento al muelle para comprobar que no se exceda la velocidad permitida al acercarse al muelle.
¿Qué pasaría si hubiese fuertes corrientes en el mar?	Se deterioraría la capacidad de retención del freno y habría que sustituir los guinches con frenos para menor desgaste.
¿Qué pasaría si hubiese un fallo de maniobrabilidad?	La embarcación quedaría a la deriva siendo más costoso acceder a la estación. El sistema global de socorro marítimo automáticamente emite señales cuando ocurre una emergencia que precise de asistencia externa.
¿Y si las amarras se hubiesen quedado flojas o demasiado tirantes?	También podría quedarse a la deriva, pero el capitán de la embarcación puede solicitar ayuda de un remolcador adicional para asegurar el amarre.
¿Qué pasaría si hubiese un incorrecto intercambio de comunicación entre la embarcación y la estación?	Deberían comprobarse la comunicación entre el expendedor y el patrón del barco, además de la maniobrabilidad. Pueden comprobarse mediante el equipo de seguridad que incluye radar y posicionamiento para supervisar la posición de la embarcación, tráfico y riesgos próximos.
¿Y si hubiese un fallo en el radar de posicionamiento?	Son sistemas muy sofisticados que si fallan se reestablecerían automáticamente, además de tener en cuenta la experiencia de la tripulación.

Nodo 1.1.2: EXTENSIÓN MANGUERA	Área 1: Carga de embarcaciones
	Subsistema 1.1: Conexión barco-estación
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si hubiese una fuga en la manguera?	Es poco probable ya que están fabricadas con materiales resistentes y se realizan operaciones de mantenimiento regularmente.
¿Y si al cogerla hay vertido de líquido del repostaje anterior?	Se debería limpiar inmediatamente para no contaminar el hábitat y evitar generar atmósferas inflamables.
¿Y si la manguera se queda enredada entre el muelle y la embarcación?	Desenredarla para empezar la operación de suministro correctamente. Se deberían seguir las instrucciones por parte del patrón del expendedor.

Nodo 1.1.3: CONEXIÓN BOQUEREL-BARCO	Área 1: Carga de embarcaciones
	Subsistema 1.1: Conexión barco-estación
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si hubiese una conexión errónea?	Se produciría una contaminación produciendo derrames peligrosos para el hábitat y para los humanos por los vapores que desprenden.
¿Y si la conexión no es adecuada por vibraciones excesivas en el equipo?	Se podrían producir fugas en el momento de suministro. Por ello, no debe haber tripulantes a bordo y el patrón del barco debe supervisar la operación.
¿Qué pasaría si hubiese electricidad estática por no conectar a tierra la embarcación?	Habría riesgo de explosión e incendio. Para que esto no ocurra, debe apagarse el motor y apagar o evitar cualquier elemento que pueda significar una fuente de ignición.
¿Y si hay tormenta eléctrica en el momento de la operación?	En estas condiciones no se podría realizar la operación de suministro. Tampoco si la embarcación incumple los requisitos de seguridad.
¿Qué pasaría si se utilizaran equipos en mal estado?	Antes de abrir de proceder al suministro, el expendedor debe comprobar que todo está correctamente para realizar la operación con éxito.
¿Y si en el momento de suministro hay derrame?	Se deben de poner materiales absorbentes en el propio boquerel. En el caso de que aun así ocurra, limpiar inmediatamente.
¿Qué pasaría si se pone el boquerel en manos libres?	Nunca se debería poner el boquerel de en manos libres para evitar la distracción durante el suministro por riesgo a derrames.

Nodo 1.2.1: APERTURA DE TANQUE	Área 1: Carga de embarcaciones
	Subsistema 1.2: Trasvase hacia embarcaciones
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si el caudal impulsado por la bomba es insuficiente?	Se debería comprobar si la manguera está enredada o si hay fugas por ella. En caso de fuga debe pararse la operación y programar inspecciones visuales para que esto no ocurra.
¿Y si no entrara caudal?	Puede deberse a alguna obstrucción en las tuberías de circulación y debería pararse la operación para realizar las inspecciones oportunas.
¿Y si el caudal es excesivo para la boca del tanque?	Se debería parar la operación y comunicárselo al expendedor.
¿Qué pasaría si hay acumulación de electricidad estática?	Hay riesgo de explosión si hay una fuente de ignición cercana. Para disminuir este riesgo, se debe comprobar que el barco está conectado a tierra, que el motor está apagado y que no haya ningún elemento que pueda significar una fuente de ignición.

Nodo 1.2.2: CIRCULACIÓN PRODUCTO	Área 1: Carga de embarcaciones
	Subsistema 1.2: Trasvase hacia embarcaciones
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si hay cambios de caudales de flujo?	Podrían contribuir a la expansión de combustible en el interior del tanque y tener riesgos de explosión.
¿Qué pasaría si hubiese un fallo en control de mantenimiento?	Hay riesgo de pérdida de combustible por fugas.
¿Y si se llena completamente el tanque?	Nunca se debe llenar completamente el tanque de combustible para prevenir el rebose y el riesgo de explosión.
¿Qué pasaría si hay variaciones de presión?	Los tanques de combustible llevan sistemas de aireación para equilibrar la presión interna con la atmosférica al variar el volumen del combustible.
¿Qué pasaría si hay impurezas en el depósito?	Produciría daños en el barco, si esto ocurriese se debería limpiar para no ocasionar estos daños.

Nodo 1.2.3: CERRADO DE TANQUE	Área 1: Carga de embarcaciones
	Subsistema 1.2: Trasvase hacia embarcaciones
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si hay paso de flujo una vez estén cerradas?	Puede que se haya sobrellenado el depósito de la embarcación y producir derrames.
¿Qué pasaría cuando hay acumulación de electricidad estática por una ineficaz conexión a tierra?	Pueden formarse chispas por descargas electrostáticas.
¿Y si no se cerrara correctamente el tanque?	Se producirían derrames teniendo riesgo de incendio y explosión por la formación de atmósferas inflamables.
¿Qué pasaría si los vapores generados por el suministro no han sido absorbidos?	Parte de los vapores generados se absorben por el sistema de recuperación de gases del boquerel. La otra parte se expulsa por la tubería de exhaustación del taque.

Nodo 1.2.4: LIMPIEZA RESIDUOS	Área 1: Carga de embarcaciones
	Subsistema 1.2: Trasvase hacia embarcaciones
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si no se limpiaran los restos de combustible?	Se podría contaminar el agua y la atmósfera por los vapores expulsados por el combustible.
¿Y si no se tuviera constancia de los restos generados?	El patrón del barco debe comprobar que la operación se ha realizado correctamente.

Nodo 2.1.1: APERTURA VÁLVULAS DEPÓSITO	Área 2: Almacenamiento de producto
	Subsistema 2.1: Llenado de depósitos
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si hay un fallo mecánico y no entra caudal?	Podría producir escapes del combustible tóxico e inflamable además de daños mecánicos en la válvula.
¿Y si el caudal fuese insuficiente?	Puede que haya alguna fuga a través de la válvula y se genera pérdida de combustible con el riesgo que conlleva.
¿Y si se abren muy rápido la válvula?	El caudal inicial debe ser mínimo para que no haya erosiones donde la velocidad de impacto es elevada ni fluctuación de la válvula.
¿Qué pasaría si hay acumulación de electricidad estática?	Hay riesgo de exposición.
¿Qué pasaría si hay corrosión?	Se reduce su vida útil y si el daño no es grave puede repararse provisionalmente con

	soldadura de metal o con resinas y epoxis para bajas presiones y temperaturas.
--	--

Nodo 2.1.2: LLENADO DEPÓSITO	Área 2: Almacenamiento de producto
	Subsistema 2.1: Llenado de depósitos
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si hay sobrellenado en el depósito?	Habría pérdida de combustible con el riesgo de explosión e incendio al crear una atmósfera inflamable, pero se puede prevenir mediante ventilación.
¿Y si hay acumulación de electricidad estática?	Podría producir una chispa que generara una explosión o incendio.
¿Qué pasaría si hay impurezas en el depósito?	Produciría daños en las tuberías y en la bomba autoaspirante del surtidor. Si esto ocurriese se debería limpiar para no ocasionar estos daños.

Nodo 2.1.3: CERRADO DEPÓSITO	Área 2: Almacenamiento de producto
	Subsistema 2.1: Llenado de depósitos
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si se cierra demasiado rápido una válvula?	Habría fluctuación y castañeteo de la válvula con riesgo de daños internos. Por eso, se tiene que disminuir gradualmente la velocidad de flujo en el cierre de válvulas.
¿Y si hay paso de flujo una vez estén cerradas?	Puede que se haya sobrellenado el depósito de almacenamiento y se invierta el flujo.
¿Y si hubiese fluctuaciones de presión?	Puede generar erosiones y daños en la válvula.
¿Qué pasaría si hay acumulación de electricidad estática?	Hay riesgo de exposición, es necesario conectarlo a tierra para reducir el riesgo.
¿Qué pasaría si hay corrosión?	Se reduce su vida útil y si el daño no es grave puede repararse provisionalmente con soldadura de metal o con resinas y epoxis para bajas presiones y temperaturas.

Nodo 2.2.1: ALMACENAJE PRODUCTO	Área 2: Almacenamiento de producto
	Subsistema 2.2: Depósitos
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si se formara una atmósfera inflamable?	Hay riesgo de explosión si existen fuentes de combustión cercanas como soldaduras cerca de los venteo o tormentas eléctricas.
¿Qué pasaría si se corroe el depósito?	Los revestimientos y forros del depósito son más poderosos que la corrosividad del producto almacenado.
¿Y si hay sobrepresiones?	Se podría formar fisuras en los depósitos.
¿Y si el sistema de venteo es diseñado incorrectamente?	Hay pérdida de producto produciendo una atmósfera inflamable con riesgo de explosión.
¿Y si no se identifican correctamente las zonas corroídas?	Es muy difícil no detectarlas ya que se inspeccionan las paredes de los depósitos mediante ultrasonidos continuamente.

Nodo 3.1.1: POSICIONAMIENTO DEL CAMIÓN	Área 3: Descarga de cisternas
	Subsistema 3.1: Llegada del camión a la estación
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si el camión ingresa inadecuadamente a la estación por exceso de velocidad?	Podría atropellar a peatones y chocarse con otros vehículos causando accidentes.
¿Y si el recorrido estuviera mal señalizado?	Podría causar accidentes y chocarse con obstáculos.
¿Qué pasaría si la instalación está ocupada por otro camión?	Se retrasaría la operación de descarga.
¿Y si las dimensiones de la zona de descarga fuesen ajustadas?	Podría chocarse con objetos fijos o móviles y necesitaría realizar más maniobras. También podría ocasionar algún atropello de peatones.
¿Qué pasaría si el suelo estuviera mojado o sucio por grasas?	Sería más difícil acceder con la manguera a la descarga.
¿Y si el camión tuviera los neumáticos desgastados?	Produciría su inestabilidad.
¿Y si no estaciona adecuadamente en la zona señalizada?	Podría ocasionar accidentes y mal funcionamiento de toda la operación de descarga.

Nodo 3.1.2: CONEXIÓN MANGUERA-DEPÓSITO	Área 3: Descarga de cisternas
	Subsistema 3.1: Llegada del camión a la estación
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si la conexión no fuese hermética?	Causaría derrames con riesgo de incendio y explosión.
¿Qué pasaría si los operarios no están formados adecuadamente?	Mangueras mal colocadas con posible riesgo de fuga y riesgo para la salud.
¿Y si el suelo está mojado?	Posibles daños físicos por caídas ocasionando roturas o esguinces.
¿Qué pasaría si hay electricidad estática?	Para empezar la operación de suministro, es necesario apagar el motor del camión y conectar la pinza de toma tierra.

Nodo 3.2.1: APERTURA DE VÁLVULAS DEPÓSITO-CISTERNA	Área 3: Descarga de cisternas
	Subsistema 3.2: Traslase desde camión
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si hay un fallo mecánico y no entra caudal?	Podría producir escapes del combustible tóxico e inflamable además de daños mecánicos en la válvula.
¿Y si el caudal fuese insuficiente?	Puede que haya alguna fuga a través de la válvula y se genera pérdida de combustible con el riesgo que conlleva.
¿Y si se abren muy rápido la válvula?	El caudal inicial debe ser mínimo para que no haya erosiones donde la velocidad de impacto es elevada ni fluctuación de la válvula.
¿Qué pasaría si hay acumulación de electricidad estática?	Hay riesgo de exposición
¿Qué pasaría si hay corrosión?	Se reduce su vida útil y si el daño no es grave puede repararse provisionalmente con soldadura de metal o con resinas y epoxis para bajas presiones y temperaturas.

Nodo 3.2.2: TRASLADO Y LLENADO DEPÓSITOS	Área 3: Descarga de cisternas
	Subsistema 3.2: Trasvase desde camión
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si los conductores mueven el camión con la manguera conectada?	Habría derrame de producto formando un charco inflamable contaminando el suelo. Además, de los daños ocasionados por la desconexión repentina.
¿Y si la manguera se rompe por mal uso?	Riesgo de incendio y explosión por exposición del combustible.
¿Y si hay una elevada presión de bombeo?	Riesgo de incendio y explosión por exposición del combustible.
¿Qué pasaría si hay una interrupción del llenado?	La operación de descarga no se habrá completado con éxito y se debería de comprobar con la varilla el nivel de la cisterna para ver si aún queda combustible.
¿Y si se generara electricidad estática?	Podría acumularse combustible con riesgo de generar incendio y explosión por chispas.
¿Qué pasaría si el mantenimiento y las instrucciones de chequeo son insuficientes?	Podría ocasionar la obturación y no realizar con éxito la operación de traslado. Además, de poner en riesgo la vida del operario.

Nodo 3.2.3: CERRADO VÁLVULAS	Área 3: Descarga de cisternas
	Subsistema 3.2: Trasvase desde camión
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si se cierra demasiado rápido una válvula?	Habría fluctuación y castañeteo de la válvula con riesgo de daños internos. Por eso, se tiene que disminuir gradualmente la velocidad de flujo en el cierre de válvulas.
¿Y si hay paso de flujo una vez estén cerradas?	Puede que se haya sobrellenado el depósito de la embarcación. Debería drenarse la manguera dentro del tanque para expulsar todo el combustible sobrante.
¿Qué pasaría cuando hay acumulación de electricidad estática por una ineficaz conexión a tierra?	Pueden formarse chispas por descargas electrostáticas.
¿Qué pasaría si hay corrosión?	Se reduce su vida útil y si el daño no es grave puede repararse provisionalmente con soldadura de metal o con resinas y epoxis para bajas presiones y temperaturas.
¿Y si hubiese turbulencias en el caudal?	Podría ocasionar erosiones, ruidos, alteraciones y cavitación dañina en áreas localizadas.

5.2.2 EVALUACIÓN DE PELIGROS POR LA TEORÍA DE CONJUNTOS DIFUSOS

Esta técnica nos permite clasificar y evaluar los riesgos identificados mediante la técnica cualitativa SWIFT. Nos proporciona una valoración cuantitativa de cada riesgo para poder realizar una priorización de ellos adecuada.

Los riesgos identificados por medio de la técnica SWIFT son:

- Fuertes vientos y corrientes en el momento de atraque del barco.
- Exceso velocidad en el barco o en el camión cisterna.
- Amarras flojas o tirantes.
- Fallo de maniobrabilidad.
- Incorrecto intercambio de comunicación entre la embarcación y el personal de la estación.
- Vertido del combustible.
- Manguera enredada entre muelle y embarcación.
- Conexión errónea entre boquerel-barco o entre válvulas depósito y manguera.
- Presencia de electricidad estática.
- Falta mantenimiento de los equipos.
- Suministro combustible con boquerel en manos libres.
- Caudal nulo o insuficiente.
- Caudal excesivo o cambios de caudales.
- Sobrellenado tanque o depósitos.
- Sobrepresiones en tanque o depósitos.
- Cerrado incorrecto del tanque.
- Generación de atmósferas inflamables.
- Apertura rápida de válvulas.
- Corrosión válvulas o depósitos.
- Impurezas en el depósito o tanque.
- Choque con obstáculos y accidentes por recorrido mal diseñado, dimensiones de zona descarga ajustadas, neumáticos desgastados o no estaciona adecuadamente.
- Suelos resbaladizos.

A continuación, se enumeran los riesgos para poder identificarlos después por un contador definido con la letra i.

Riesgo	i
Fuertes vientos y corrientes en el momento de atraque del barco	1
Exceso velocidad en el barco o en el camión cisterna	2
Amarras flojas o tirantes	3
Falta maniobrabilidad	4
Incorrecto intercambio de comunicación entre la embarcación y la estación	5
Vertido del combustible	6
Manguera enredada entre muelle y embarcación	7
Conexión errónea entre boquerel-barco o entre válvulas depósito	8
Presencia de electricidad estática	9
Falta mantenimiento de los equipos	10
Suministro combustible con boquerel en manos libre	11
Caudal nulo o insuficiente	12
Caudal excesivo o cambios de caudales	13
Sobrellenado tanque o depósito	14
Sobrepresiones en tanque o depósitos	15
Cerrado incorrecto del tanque	16
Generación de atmósferas inflamables	17
Apertura rápida de válvulas	18
Corrosión válvulas o depósitos	19
Impurezas en el depósito o tanque	20
Choque con obstáculos y accidentes por recorrido mal diseñado, dimensiones de zona descarga ajustadas, neumáticos desgastados o no estaciona adecuadamente	21
Suelos resbaladizos	22

Tabla 8: Numeración de los riesgos. Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es definir la función de factor de riesgo. Primero, hay que valorar lingüísticamente la probabilidad del riesgo y el impacto de este utilizando las escalas de valoración lingüística de la Tabla 2.

Riesgo	I_R	P_R
Fuertes vientos y corrientes en el momento de atraque del barco	Menor (Mi)	Media (M)
Exceso velocidad en el barco o en el camión cisterna	Moderado (Mo)	Media (M)
Amarras flojas o tirantes	Moderado (Mo)	Baja (L)
Falta maniobrabilidad	Moderado (Mo)	Media (M)
Incorrecto intercambio de comunicación entre la embarcación y la estación	Menor (Mi)	Baja (L)
Vertido del combustible	Crítico (C)	Alta (H)
Manguera enredada entre muelle y embarcación	Menor (Mi)	Baja (L)
Conexión errónea entre boquerel-barco o entre válvulas depósito	Crítico (C)	Baja (L)
Presencia de electricidad estática	Crítico (C)	Media (M)
Falta mantenimiento de los equipos	Grave (S)	Baja (L)
Suministro combustible con boquerel en manos libre	Moderado (Mo)	Baja (L)
Caudal nulo o insuficiente	Grave (S)	Baja (L)
Caudal excesivo o cambios de caudales	Grave (S)	Baja (L)
Sobrellenado tanque o depósito	Crítico (C)	Media (M)
Sobrepresiones en tanque o depósitos	Crítico (C)	Media (M)
Cerrado incorrecto del tanque	Grave (S)	Baja (L)
Generación de atmósferas inflamables	Crítico (C)	Alta (H)
Apertura rápida de válvulas	Moderado (Mo)	Baja (L)
Corrosión válvulas o depósitos	Moderado (Mo)	Media (M)
Impurezas en el depósito o tanque	Grave (S)	Media (M)
Choque con obstáculos y accidentes por recorrido mal diseñado, dimensiones de zona descarga ajustadas, neumáticos desgastados o no estaciona adecuadamente	Grave (S)	Alta (H)
Suelos resbaladizos	Menor (Mi)	Media (M)

Tabla 9: Valoración lingüística de la probabilidad de riesgo e impacto de este. Fuente: Elaboración propia

A continuación, convertiremos los valores lingüísticos en números difusos que dependerá de cuál haya sido el valor lingüístico que se le haya asignado tanto al impacto de riesgo como a su probabilidad de ocurrencia. El número difuso que se le asigna a cada valor lingüístico se refleja en la Tabla 2.

i	I _R	P _R
1	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
2	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
3	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0, 0.1, 0.3)
4	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
5	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0, 0, 0.1, 0.3)
6	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.7, 0.9, 1, 1)
7	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0, 0, 0.1, 0.3)
8	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0, 0, 0.1, 0.3)
9	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
10	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)
11	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0, 0.1, 0.3)
12	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)
13	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)
14	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
15	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
16	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)
17	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.7, 0.9, 1, 1)
18	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0, 0.1, 0.3)
19	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
20	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
21	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0.7, 0.9, 1, 1)
22	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)

Tabla 10: Transformación de las variables lingüísticas a números difusos de los parámetros que definen el factor de riesgo de cada uno de los riesgos identificados. Fuente: Elaboración propia.

La identificación de los riesgos y la valoración de los parámetros es llevada a cabo por una sola persona que es aquella que está realizando este proyecto. Esto conlleva que no es indispensable realizar una valoración global de dichos parámetros de riesgo ya que solo hay una valoración por no existir diferentes opiniones. Por ello, la persona que realiza este proyecto debe estar segura de sus valoraciones ya que una mala evaluación supondría un error en los resultados del proyecto pudiendo desencadenar daños irreversibles.

Seguidamente, se procede a realizar el cálculo del factor de riesgo mediante la ecuación 11, la cual indica que el factor de riesgo será la multiplicación difusa entre el impacto del riesgo y la probabilidad de ocurrencia de este.

Para realizar este cálculo, en primer lugar, se utiliza la ecuación 4 y para ello se necesita asignar una letra a cada constituyente del número difuso de ambos mostrado en la siguiente tabla:

i	I _R				P _R				F _R			
	a ₁	b ₁	c ₁	d ₁	a ₂	b ₂	c ₂	d ₂	a ₃	b ₃	c ₃	d ₃
1	0.1	0.25	0.25	0.4	0.2	0.5	0.5	0.8	0.02	0.125	0.0125	0.32
2	0.3	0.5	0.5	0.7	0.2	0.5	0.5	0.8	0.06	0.25	0.25	0.56
3	0.3	0.5	0.5	0.7	0	0	0.1	0.3	0	0	0.05	0.21
4	0.3	0.5	0.5	0.7	0.2	0.5	0.5	0.8	0.06	0.25	0.25	0.56
5	0.1	0.25	0.25	0.4	0	0	0.1	0.3	0	0	0.025	0.12
6	0.8	0.9	1	1	0.7	0.9	1	1	0.56	0.81	1	1
7	0.1	0.25	0.25	0.4	0	0	0.1	0.3	0	0	0.025	0.12
8	0.8	0.9	1	1	0	0	0.1	0.3	0	0	0.1	0.3
9	0.8	0.9	1	1	0.2	0.5	0.5	0.8	0.16	0.45	0.5	0.8
10	0.6	0.75	0.75	0.9	0	0	0.1	0.3	0	0	0.075	0.27
11	0.3	0.5	0.5	0.7	0	0	0.1	0.3	0	0	0.05	0.21
12	0.6	0.75	0.75	0.9	0	0	0.1	0.3	0	0	0.075	0.27
13	0.6	0.75	0.75	0.9	0	0	0.1	0.3	0	0	0.075	0.27
14	0.8	0.9	1	1	0.2	0.5	0.5	0.8	0.16	0.45	0.5	0.8
15	0.8	0.9	1	1	0.2	0.5	0.5	0.8	0.16	0.45	0.5	0.8
16	0.6	0.75	0.75	0.9	0	0	0.1	0.3	0	0	0.075	0.27
17	0.8	0.9	1	1	0.7	0.9	1	1	0.56	0.81	1	1
18	0.3	0.5	0.5	0.7	0	0	0.1	0.3	0	0	0.05	0.21
19	0.3	0.5	0.5	0.7	0.2	0.5	0.5	0.8	0.06	0.25	0.25	0.56
20	0.6	0.75	0.75	0.9	0.2	0.5	0.5	0.8	0.12	0.375	0.375	0.72
21	0.6	0.75	0.75	0.9	0.7	0.9	1	1	0.42	0.675	0.75	0.9
22	0.1	0.25	0.25	0.4	0.2	0.5	0.5	0.8	0.02	0.125	0.125	0.32

Tabla 11: Cálculo factor de riesgo. Fuente: Elaboración propia

Riesgo	I_R	P_R	F_R
Fuertes vientos y corrientes en el momento de atraque del barco	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.02, 0.125, 0.125, 0.32)
Exceso velocidad en el barco o en el camión cisterna	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.06, 0.25, 0.25, 0.56)
Amarras flojas o tirantes	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.05, 0.21)
Falta maniobrabilidad	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.06, 0.25, 0.25, 0.56)
Incorrecto intercambio de comunicación entre la embarcación y la estación	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.025, 0.12)
Vertido del combustible	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.7, 0.9, 1, 1)	(0.56, 0.81, 1, 1)
Manguera enredada entre muelle y embarcación	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.025, 0.12)
Conexión errónea entre boquerel-barco o entre válvulas depósito	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.1, 0.3)
Presencia de electricidad estática	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.16, 0.45, 0.5, 0.8)
Falta mantenimiento de los equipos	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.075, 0.27)
Suministro combustible con boquerel en manos libre	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.05, 0.21)
Caudal nulo o insuficiente	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.075, 0.27)
Caudal excesivo o cambios de caudales	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.075, 0.27)
Sobrellenado tanque o depósito	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.16, 0.45, 0.5, 0.8)
Sobrepresiones en tanque o depósitos	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.16, 0.45, 0.5, 0.8)
Cerrado incorrecto del tanque	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.075, 0.27)
Generación de atmósferas inflamables	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.7, 0.9, 1, 1)	(0.56, 0.81, 1, 1)
Apertura rápida de válvulas	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.05, 0.21)
Corrosión válvulas o depósitos	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.06, 0.25, 0.25, 0.56)
Impurezas en el depósito o tanque	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.12, 0.375, 0.375, 0.72)
Choque con obstáculos y accidentes por recorrido mal diseñado, dimensiones de zona descarga ajustadas, neumáticos desgastados o no estaciona adecuadamente	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0.7, 0.9, 1, 1)	(0.42, 0.675, 0.675, 0.9)
Suelos resbaladizos	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.02, 0.125, 0.125, 0.32)

Tabla 12: Valores difusos del factor de riesgo a cada uno de los riesgos. Fuente: Elaboración propia

Ahora, una vez obtenido el factor de riesgo para cada uno de los riesgos, se debe desfuzzificar que es transformar el número difuso en un número real mediante la ecuación 12.

i	F_R				$(F_{Ri})_T$
	a_3	b_3	c_3	d_3	
1	0.02	0.125	0.125	0.32	0.140
2	0.06	0.25	0.25	0.56	0.270
3	0	0	0.05	0.21	0.052
4	0.06	0.25	0.25	0.56	0.270
5	0	0	0.025	0.12	0.028
6	0.56	0.81	1	1	0.863
7	0	0	0.025	0.12	0.028
8	0	0	0.1	0.3	0.083
9	0.16	0.45	0.5	0.8	0.477
10	0	0	0.075	0.27	0.070
11	0	0	0.05	0.21	0.052
12	0	0	0.075	0.27	0.070
13	0	0	0.075	0.27	0.070
14	0.16	0.45	0.5	0.8	0.477
15	0.16	0.45	0.5	0.8	0.477
16	0	0	0.075	0.27	0.070
17	0.56	0.81	1	1	0.863
18	0	0	0.05	0.21	0.052
19	0.06	0.25	0.25	0.56	0.270
20	0.12	0.375	0.375	0.72	0.390
21	0.42	0.675	0.75	0.9	0.695
22	0.02	0.125	0.125	0.32	0.140

Tabla 13: Valores reales del factor de riesgo a cada uno de los riesgos. Fuente: Elaboración propia

A continuación, con los valores reales del factor de riesgo para cada ello, se puede establecer una clasificación de riesgos en función del impacto que tendría y sus consecuencias. Esta clasificación depende del valor real del factor de riesgo asignado a cada uno de ellos teniendo en cuenta que:

- Si $(F_{Ri})_T$ o $[0, 0.1]$, R_i pertenece a la clase I y se clasifica como "Despreciable".
- Si $(F_{Ri})_T$ o $[0.1, 0.4]$, R_i pertenece a la clase II y se clasifica como "Aceptable".
- Si $(F_{Ri})_T$ o $[0.4, 0.8]$, R_i pertenece a la clase III y se clasifica como "No Aceptable".
- Si $(F_{Ri})_T$ o $[0.8, 1]$, R_i pertenece a la clase IV y se clasifican como "Intolerable".

Por tanto, se puede concluir que:

Riesgo	i	(F _{Ri})T	Clase
Fuertes vientos y corrientes en el momento de atraque del barco	1	0.140	II
Exceso velocidad en el barco o en el camión cisterna	2	0.270	II
Amarras flojas o tirantes	3	0.052	I
Falta maniobrabilidad	4	0.270	II
Incorrecto intercambio de comunicación entre la embarcación y la estación	5	0.028	I
Vertido del combustible	6	0.863	IV
Manguera enredada entre muelle y embarcación	7	0.028	I
Conexión errónea entre boquerel-barco o entre válvulas depósito	8	0.083	I
Presencia de electricidad estática	9	0.477	III
Falta mantenimiento de los equipos	10	0.070	I
Suministro combustible con boquerel en manos libre	11	0.052	I
Caudal nulo o insuficiente	12	0.070	I
Caudal excesivo o cambios de caudales	13	0.070	I
Sobrellenado tanque o depósito	14	0.477	III
Sobrepresiones en tanque o depósitos	15	0.477	III
Cerrado incorrecto del tanque	16	0.070	I
Generación de atmósferas inflamables	17	0.863	IV
Apertura rápida de válvulas	18	0.052	I
Corrosión válvulas o depósitos	19	0.270	II
Impurezas en el depósito o tanque	20	0.390	III
Choque con obstáculos y accidentes por recorrido mal diseñado, dimensiones de zona descarga ajustadas, neumáticos desgastados o no estaciona adecuadamente	21	0.695	III
Suelos resbaladizos	22	0.140	II

*Tabla 14: Clasificación del riesgo en categorías en función del factor de impacto de riesgo.
Fuente: Elaboración propia*

5.2.3 PRIORIZACIÓN DE RIESGOS Y MEDIDAS CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS

Una vez hecha la defuzzificación de los números difusos y clasificados según los intervalos marcados, se procede a hacer la priorización de los riesgos identificados y a proponer aquellas medidas preventivas que consideremos.

Los riesgos cuyo factor de impacto de riesgo es de 0.39 se han considerado de clase III “No Aceptable” ya que, al encontrarse en el límite entre dos clases, se ha establecido la clase de mayor restricción para proporcionar una mayor precaución ante posibles accidentes.

Aquellos riesgos que se encuentran en la clase IV “Intolerables” es necesario evitar que se produzcan porque sus consecuencias serían devastadoras si llegaran a producirse. Por ello, se propone aplicar de forma inmediata las siguientes medidas correctoras:

- Utilización de materiales absorbentes en el momento del suministro para evitar los derrames de combustible.



Figura 7: Material absorbente combustible situado en el boquerel. Fuente: <https://www.escuelamaritima.es/blog/%C2%A1accidentes-no-recomendaciones-para-repostar-la-embarcaci%C3%B3n>

- Apagar el motor antes de empezar la operación de suministro y apagar o evitar cualquier elemento que pueda significar una fuente de ignición, como, por ejemplo, material de fumar, teléfonos móviles, equipos electrónicos...
- Implantación en la estación un extintor para líquidos combustibles (incendios tipo B y C).



Figura 8: Extintores cerca del surtidor. Fuente: <https://www.escuelamaritima.es/blog/%C2%A1accidentes-no-recomendaciones-para-repostar-la-embarcaci%C3%B3n>

- Disponer de material de limpieza adecuado para limpiar el suelo en el caso de derrame.
- Formación del personal de la estación para saber cómo actuar en la limpieza de los vertidos. Por ejemplo, un curso donde se especifique cómo utilizar el material

- disponible para limpiar los más pequeños y cómo actuar en el momento haya un charco importante generando una atmósfera inflamable.
- Utilización de equipos y componentes para la protección de explosiones.
 - Realización de inspecciones diarias y antes de cada suministro.

Para aquellos riesgos que han sido clasificados como “No Aceptables” se proponen las siguientes medidas:

- Establecimiento de procedimiento para evitar el sobrellenado del tanque de la embarcación y los depósitos.
- Comprobación diaria del funcionamiento del sistema de ventilación de la caseta de depósitos.
- Implantación y formación de procedimiento para que no se genere electricidad estática en el momento de suministro y cómo mitigarla si se produjera.
- Disponer de material auxiliar para poder señalar el recorrido a realizar por el camión cisterna.
- Formación del equipo de la estación en seguridad vial y primeros auxilios.
- Implantación de inspecciones del camión cisterna antes de acceder a la zona de descarga.
- Utilización de equipos antideslizantes para evitar accidentes por caídas.
- Implantación de sistema de limpieza de depósitos para evitar las impurezas, además de implantación de inspecciones continuas visuales.

La implantación de estas medidas tiene un mayor tiempo de aplicación que aquellas que deriven en riesgos “Intolerables” ya que su corrección no es de extrema urgencia. Aunque aquellas medidas de riesgos que han sido clasificados como “No Aceptables” y tengan una relación inmediata con los de “Intolerables”, deben aplicarse cuanto antes para evitar que se conviertan en accidentes mayores, como son el sobrellenado y la sobrepresión.

El resto de los riesgos que han sido clasificados como “Aceptables” y “Despreciables”, su corrección se deja a elección de la coordinación de la estación, aunque lo correcto sería implantar medidas de corrección para evitar accidentes menores. En el caso de implantar medidas preventivas, el tiempo de corrección sería indefinido o mucho mayor que en los casos anteriores. En el Anexo 2 de este proyecto se pueden encontrar una serie de recomendaciones para la implantación de medidas correctoras y/o preventivas.

6 CONCLUSIONES

En el siguiente apartado se pretenden exponer las conclusiones obtenidas como resultado del estudio realizado en el proyecto.

Para construir una instalación de estas características, es aconsejable someterse a una Evaluación de Impacto Ambiental ya que es indispensable para la protección del medio ambiente. La Evaluación de Impacto Ambiental de este proyecto se ha centrado en tener conocimiento de las vulnerabilidades que tiene y así poder proponer una serie de medidas preventivas y/o correctoras después de haber realizado el estudio. Mediante este análisis de vulnerabilidades, se ha contextualizado de manera superficial qué factores son los que presentan mayores riesgos por sus consecuencias tan devastadoras.

Mediante la técnica cualitativa SWIFT, tal y cómo se ha descrito a lo largo del proyecto, se pretende identificar cuáles son los riesgos de los diferentes nodos de los diferentes subsistemas que tiene la instalación estudiada. La identificación de estos riesgos se ha realizado dando respuesta a diferentes preguntas que se han ido planteando, evaluando cada paso que se da en la operación de suministro a embarcaciones. Gracias a esta técnica, se han planteado desviaciones del funcionamiento normal de la instalación, que quizá, si no se hubiese realizado una lista de palabras de efecto inmediato, no se hubiesen detectado. Con esta técnica se han identificado los diferentes riesgos de cada nodo planteado como son los vertidos de combustibles, las atmósferas inflamables, la diferencia de caudal, la manera en que se trasvasa el combustible, la apertura tanto del tanque de la embarcación como de los depósitos, el sobrellenado, los accidentes humanos provocados por el camión, que el barco se quede a la deriva, etc.

Una vez detectado todos los riesgos que tiene la instalación, se han clasificado numéricamente mediante el método cuantitativo de la Teoría de los Conjuntos Difusos. En un primer lugar, se ha trabajado con números difusos, y por el método del centroide, se han convertido en números reales donde se han clasificado en diferentes clases. Gracias a esta clasificación realizada con esta técnica, se ha concluido que en la estación de suministro existen dos riesgos que pueden ocasionar peores consecuencias: el derrame de combustible y la generación de atmósferas inflamables. Estos dos riesgos han sido clasificados como intolerables por las consecuencias ambientales y perjudiciales para la salud humana que tienen. Deben implantarse de forma inmediata todas las medidas preventivas y correctoras propuestas. También, se puede concluir que existen riesgos con menor potencial como son los accidentes por choques por el camión, las impurezas de los depósitos, la electricidad estática y las sobrepresiones o sobrellenados. Estos dos últimos riesgos están íntimamente relacionados con aquellos nombrados que son "Intolerables". Si ocurren pueden ocasionar derrames de combustible o atmósferas inflamables, por ello, deben ser los primeros que se corrijan con las medidas correctoras propuestas para que no ocurran y si ocurriesen, que sus consecuencias sean mínimas ya que podría terminar en accidentes mayores. Los demás riesgos deben corregirse poco a poco en el momento que el responsable de la instalación lo considere.

A pesar de los peligros existentes en la estación de suministro que dan lugar a accidentes con una gran repercusión, hay que puntualizar que, si los procedimientos se realizan correctamente y bajo supervisión, los accidentes son mínimos y puede desarrollarse con normalidad la actividad.

Una de las ventajas que tiene la combinación de estas dos técnicas, es la rápida identificación de riesgos mediante la técnica SWIFT por el planteamiento de diferentes preguntas sin tener que fijar una palabra guía, y poder clasificar de manera más sencilla los riesgos identificados. Los dos métodos aplicados se complementan ya que uno es totalmente cualitativo y responde a la primera parte del análisis de riesgos, y el otro cuantitativo ayuda a asignarle un número y un rango a cada riesgo para poder hacer la clasificación de una manera menos subjetiva. Sin embargo, una de las desventajas de aplicar estas técnicas es que en la técnica de identificación de riesgos normalmente se suele realizar en equipos de trabajo para que surjan más desviaciones del funcionamiento normal pero el presente proyecto está realizado por una persona y eso no es posible, por tanto, hay un mayor esfuerzo y limitación en conocer todos los riesgos de la instalación.

Este proyecto se han podido aplicar conceptos generales de todo el grado estudiado, como por ejemplo la asignatura de Máquinas Hidráulicas, donde he podido rescatar conceptos de la teoría de fluidos, comportamientos de los líquidos al ser transportados dentro de un recipiente y el funcionamiento de las bombas. Aunque, en especial he podido utilizar la asignatura Tecnología de Medio Ambiente ya que he aplicado los conocimientos que tenía sobre el tratamiento de residuos peligrosos para identificar los riesgos y la Evaluación de Impacto Ambiental. También, he podido aplicar conocimientos de la asignatura de Proyectos ya que me ha dado las bases para poder desarrollar este trabajo.

Finalmente, este Trabajo de Final de Grado, con el objetivo de realizar un análisis de riesgos de una estación de suministro de combustible, contribuye a cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible ya que trata de identificar y clasificar aquellos riesgos para proponer unas medidas preventivas y correctoras que ayuden a conseguir (1) un agua más limpia, (8) un crecimiento económico, (11) ciudades más sostenibles, (12) un consumo responsable y (14) respetar la vida submarina.

7 BIBLIOGRAFÍA

7.1 DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

- [D.1] Análisis de riesgo de procesos industriales. [Consultado Julio 2022] Disponible: <<https://www.tuvsud.com/es-es/industrias/quimica-procesos/seguridad-procesos/prevencion-perdidas-loss-prevention/analisis-riesgo-hazop-zha-fmea>>
- [D.2] Análisis Histórico de Accidentes. [Consultado Julio 2022] Disponible: <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3142/50084-2.pdf?sequence=2>>
- [D.3] Autoridad portuaria de Valencia. [Consultado Junio 2022] Disponible: <<https://www.valenciaport.com/comunidad/valencia/el-puerto/>>
- [D.4] Contaminación del suelo. [Consultado Julio 2022] Disponible: <<https://envira.es/es/contaminacion-del-suelo-causas-y-soluciones/>>
- [D.5] Diferenciador. *Diferencia entre riesgo y peligro*. [Consultado Julio 2022] Disponible: <<http://www.diferenciador.com/diferencia-entre-riesgo-y-peligro/>>
- [D.6] Funcionamiento repostaje embarcación. [Consultado Agosto 2022] Disponible: <<https://disfrutamediterraneo.com/como-repostar-una-embarcacion/>>
- [D.7] GUIAR. *Accidentes graves, ejemplos históricos*. [Consultado Julio 2022] Disponible: <<https://guiar.unizar.es/1/Accident/Accidentes.htm>>
- [D.6] Medidas de prevención, corrección y seguimiento de emisiones difusas. [Consultado Agosto 2022] Disponible: <<https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/calidad-aire-cambio-climatico/contaminacion/apcas/medidas-prevencion-correccion-seguimiento-emisiones-difusas>>
- [D.7] Objetivos de Desarrollo Sostenible. [Consultado Agosto 2022] Disponible: <<https://ods.mma.gob.cl/que-son-los-ods/>>
- [D.8] Precauciones para repostaje barcos. [Consultado Agosto 2022] Disponible: <<https://uniservice98.com/la-carga-de-combustible-en-barcos-y-sus-precauciones/>>

- [D.9] Procedimiento descarga de camiones cisterna. [Consultado Agosto 2022] Disponible: <<https://globalestacionesdeservicio.com/descargar-combustible-estacion-de-servicio/>>
- [D.10] Procedimiento descarga de camiones cisterna. [Consultado Agosto 2022] Disponible: <<https://grupopantoja.com/como-descargar-una-cisterna-combustible/#:~:text=Identificar%20tanque%20y%20boca%20de,de%20los%20acoples%20y%20manguera>>
- [D.11] Recomendaciones para repostaje barcos. [Consultado Agosto 2022] Disponible: <<https://www.escuelamaritima.es/blog/%C2%A1accidentes-no-recomendaciones-para-repostar-la-embarcaci%C3%B3n>>
- [D.12] Reducción contaminación del agua. [Consultado Agosto 2022] Disponible: <<https://www.fundacionaquae.org/wiki/reducir-contaminacion-agua/>>

7.2 TRABAJOS FINAL DE GRADO

- [T.1] Alonso Fernández Francisco. “Relación entre los métodos de inferencia difusa y la programación lógica multiadjunta”. Cádiz, Universidad de Cádiz, 2019.
- [T.2] Baixauli Pérez María Piedad. “Análisis de Riesgos almacenamiento de productos inflamables en el Puerto de Valencia”. Valencia, Universidad de Valencia, 2014.
- [T.3] Cabrelles Martínez Verónica. “Análisis de Riesgos de una industria de fabricación de piensos compuestos”. Valencia, Universidad de Valencia, 2014.

7.3 PROYECTOS DE EJECUCIÓN

- [P.1] Calvo Fernández Sara. “Estudio de Impacto Ambiental de recuperación de la playa marineta casiana”. Ministerio de Transición Ecológica, 2019.
- [P.2] Castellano Noguera Sandra. “Instalación de almacenamiento de combustible para suministro a embarcaciones”. Autoridad Portuaria.

Ministerio de Fomento, 2016.

7.4 NORMATTIVA

- Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, relativa al control de riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Directiva 2014/52/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
- Ley 9/2018, de 5 de diciembre, por la que se modifica la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
- Norma española UNE_EN_31010_2011
- Norma española UNE_ISO_31000_2010
- Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

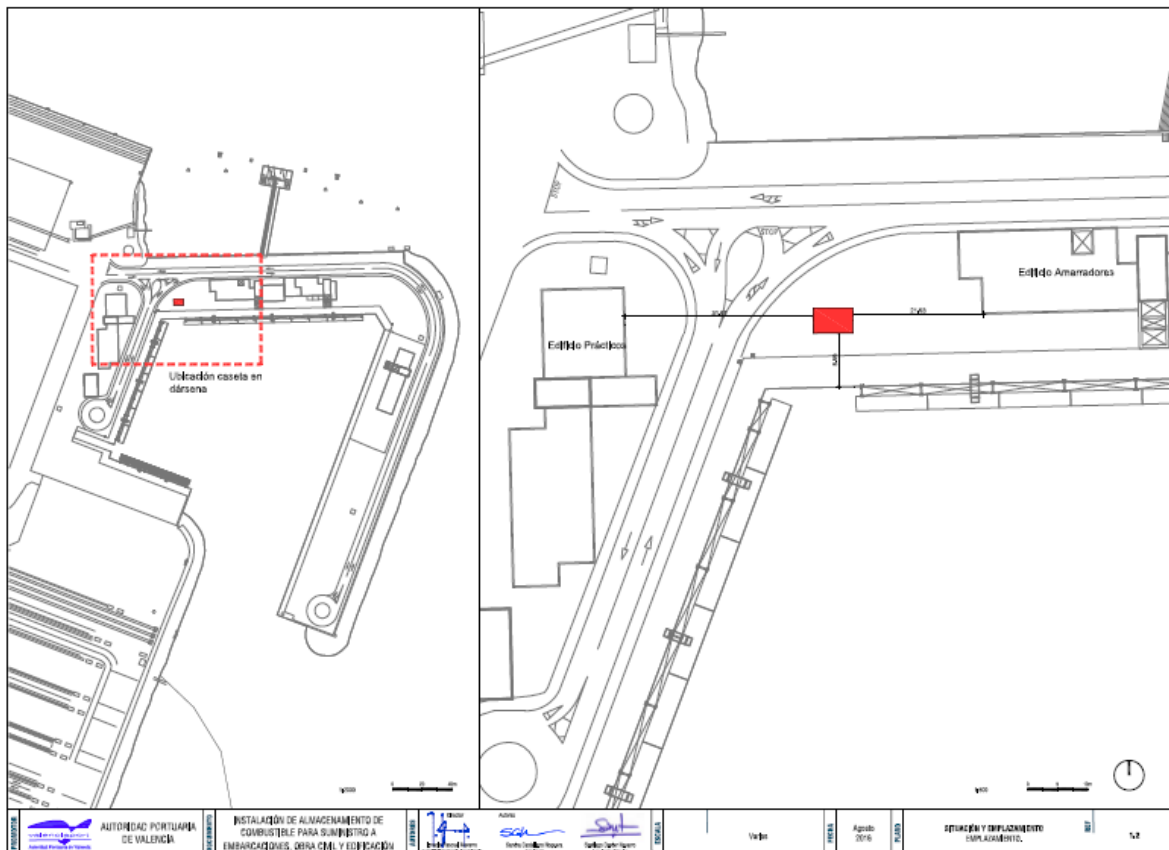
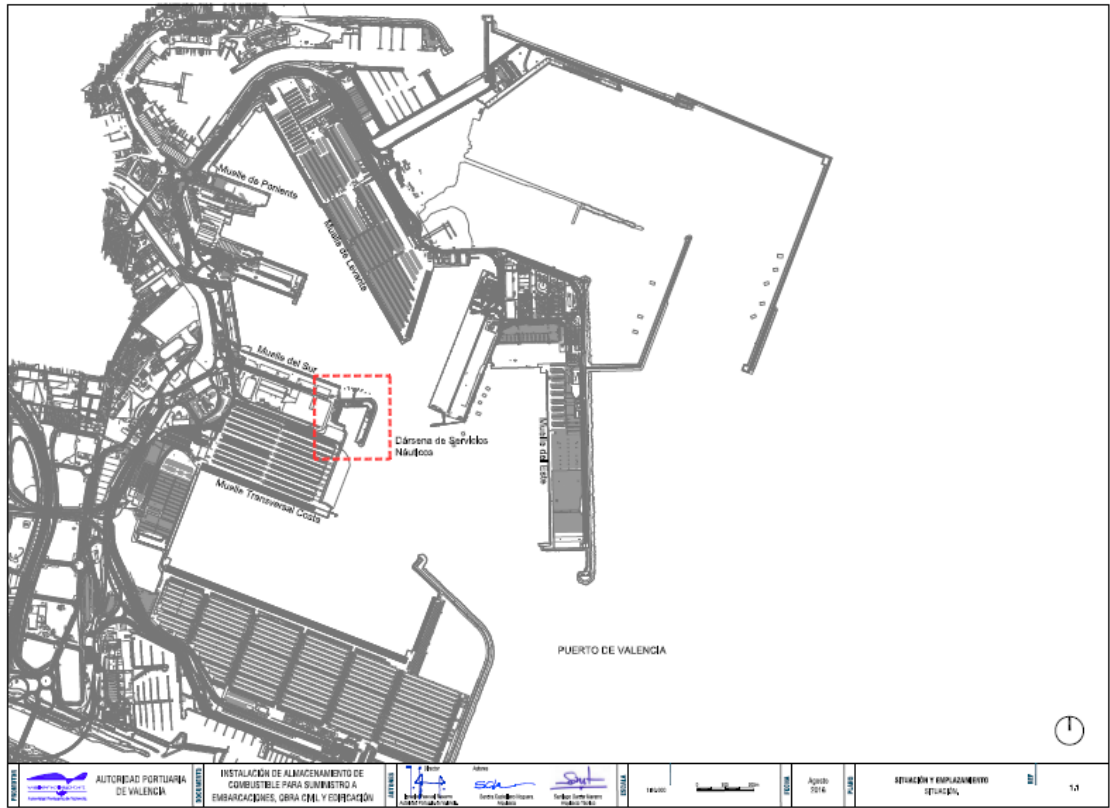
7.5 ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

- [A.1] Barzola Vargas y Rodríguez Chiqui. “Evaluación del riesgo post-sísmico y el efecto adverso que provoca en la actividad humana como es el impacto negativo, mediante técnicas de lógica difusa”. Universidad de Guayaquil, 2017.
- [A.2] Fuentes-Bargues, Bastante-Checo, Ferrer-Chisbert y González-Cruz. “Estudio de técnicas de evaluación de riesgos de accidentes graves en el proceso de evaluación de impacto ambiental”. Universidad Politécnica de Valencia, 2020.
- [A.1] Leal Salazar, Ofelia del Carmen. “Análisis de problemas ambientales y su afectación basada en lógica difusa compensatoria en empresas de la región. Caso tarimas ecológicas”. Universidad Autónoma de Occidente, 2015.

- [A.2] López Rojas y Rodríguez López. “Análisis de riesgos bajo un modelo de lógica difusa en la construcción del proyecto hidroeléctrico Hiroituango”. Fundación Universidad de América, 2021.
- [A.4] Ruz-Vila y Nieto-Morote. “Evaluación del proyecto mediante valoraciones lingüísticas”. Universidad Politécnica de Cartagena, 2012.

ANEJOS

1. ANEJO I. INSTALACIONES EN EL PUERTO DE VALENCIA. PLANOS E IMAGEN





2. ANEJO 2. RECOMENDACIONES PRÁCTICAS DE SEGURIDAD

La aplicación de estas recomendaciones o medidas correctoras tiene que conseguir que los trabajadores realicen su trabajo de forma segura.

Las recomendaciones planteadas se dividen en medidas de prevención y medidas de protección frente a los posibles accidentes causados por los riesgos estudiados en el presente proyecto. La prevención se utiliza para evitar el accidente y la protección para que los daños causados sean menores.

2.1. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

Precauciones y disposiciones generales en la estación

La estación dispondrá de lo siguiente:

- Medidas en caso de incendio o explosión. En caso de incidencia, la estación debe tener estudiado un plan de emergencia del cual se tendrá conocimiento en la caseta del depósito y en el surtidor.
- Disponer del modo de realizar la evacuación ordenada de la instalación en caso de emergencia.
- Información sobre las normas de seguridad y de contaminación.

- Recomendaciones sobre condiciones meteorológicas, teniendo especial atención cuando haya fuertes vientos, corrientes y tormentas eléctricas.
- Informe de otras actividades cerca de la embarcación.
- Informar sobre cómo solicitar la asistencia de emergencia, médica o policial.

Precauciones relacionadas con las conexiones de carga de embarcaciones

Durante el tiempo que la manguera esté conectada a la embarcación, se deben tener las siguientes precauciones:

- No realizar movimientos bruscos con la manguera.
- Disponer de materiales absorbentes en caso de vertido.
- Disponer de material de limpieza y limpiar el casco de la embarcación después de cada suministro.
- Información de cómo actuar en caso de derrame en el surtidor.
- Recordatorios de no producir sobrellenos en los tanques de las embarcaciones.

Control de la presencia de electricidad estática

La electricidad estática se genera habitualmente en las operaciones de carga y descarga de combustible, por ello, es necesario mantener la equipotencialidad de todos los elementos:

- Información en el surtidor de la importancia de apagar el motor y alejar los materiales sensibles de fuentes de ignición.
- Información sobre como conectar a tierra las embarcaciones.
- Revisiones periódicas de puesta a tierra.
- El expendedor deberá emplear ropa y calzado antiestáticos.

Normas y precauciones del camión cisterna en el área de descarga

- El camión solo puede acceder a la zona señalizada de descarga.
- Prohibición de mecheros, cerillas y elementos susceptibles de generar llama en las instalaciones.
- El camión debe incorporar señal acústica de marcha atrás.
- Comprobar que los carteles de los riesgos estén en buenas condiciones.
- Comprobar la existencia de un extintor.
- No superar el límite de velocidad máximo en la instalación.
- Si el camión realiza maniobras más complejas, el equipo de la estación debe ofrecer ayuda.
- Apagar el motor y sistemas eléctricos para realizar la descarga.
- Apertura de las tapas debe realizarse evitando la incidencia de vapores directas al operario colocándose en dirección contraria al viento.
- No abandonar la zona de descarga sin asegurarse que no existen goteos en las bocas del vehículo.
- Prohibición de operaciones de mantenimiento y ajustes de equipos mientras esté en marcha la operación de descarga.

- Guardar un orden estricto a la entrada y salida de los camiones en la instalación para evitar los estacionamientos y el colapso de la estación.

2.2. MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Medidas para la protección contra explosiones

Las medidas de protección contra explosiones se clasifican en los siguientes grupos:

- Medidas organizativas como la formación de los trabajadores, los procedimientos de actuación frente a explosiones o incendios y los planes de evacuación.
- Supresión de la llama utilizando los extintores, pero bajo condiciones seguras para el personal y para las instalaciones.
- Pueden permitirse explosiones seguras bajo condiciones específicas.

Protección en caso de derrames durante la carga en embarcaciones o descarga de camiones

Si es durante la carga de embarcaciones:

- El patrón del barco se asegura que todos los tripulantes están fuera de la embarcación y supervisa la operación de suministro.
- En caso de derrame, debe comunicarlo al personal de la estación para actuar mediante el plan implantado de limpieza de vertido.
- Contener el agua contaminada mediante barreras flotantes.
- Retirar el producto derramado por bombeo desde la superficie.

Si el derrame se produce en la descarga:

- Contener el derrame con arena, tierra o materiales absorbentes.
- Retirar el producto derramado mediante el plan de limpieza o por bombeo si es un vertido de mayor tamaño.
- Retirar la tierra contaminada.

Procedimiento de emergencia en caso de incendio

En caso de incendio, dada el tipo de producto existente en la estación, se debe actuar de forma inmediata frente al peor escenario.

- Para combatir un incendio se puede cubrir la superficie afectada evitando que ingrese más oxígeno a la mezcla, por ejemplo, se puede cubrir con espuma.
- No se recomienda utilizar directamente el agua para mitigar el incendio ya que puede esparcir el incendio.

2.3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

- Ropa de protección antiestática e ignífuga.
- Calzado homologado de seguridad antideslizante y antiestático.
- Guantes contra productos tóxicos y agresiones mecánicas.
- Gafas antisalpicaduras.

PRESUPUESTO ECON3MICO

PRESUPUESTO ECONÓMICO

En este apartado se pretende elaborar un presupuesto respecto al coste de la realización del análisis de riesgos de la estación de suministro de combustible para embarcaciones en el Puerto de Valencia.

El presupuesto se divide en dos capítulos:

Capítulo 1. Maquinaria

Capítulo 2. Mano de obra

Para la realización de proyecto se han utilizado equipos informáticos (ordenadores) con aplicaciones ofimáticas (Excel, Word, Adobe Acrobat Reader, Power Point, etc.). El gasto asociado a estos equipos se ha calculado mediante la fórmula:

$$I = \frac{A}{B} \cdot C \cdot D \quad (1)$$

donde

I	Gasto por amortización
A	Meses de uso
B	Tiempo de vida útil
C	Precio de compra
D	Porcentaje de uso

Se ha considerado que el tiempo de vida útil de un ordenador como de las aplicaciones informáticas utilizadas (Excel, Word, Adobe Acrobat Reader y Power Point) es de 5 años. Se han utilizado estos recursos con un porcentaje del 60% el paquete Office y del 40% el Adobe Acrobat Reader DC. Para concluir, el precio del ordenador utilizado es de 730€. En cambio, la suscripción anual a Office 365 Individual cuesta 69 euros, es decir, 5,75 euros mensuales. La suscripción al Adobe Acrobat Reader es de 22 euros anuales, es decir, 1,83 euros mensuales. Los programas se han utilizado durante 5 meses.

Por tanto, los costes de amortización de los materiales utilizados son:

- Ordenador de mesa = $5/5 \cdot 730 \cdot 30\% = 219\text{€}$
- Office 365 = $5/5 (5.75 \cdot 5) \cdot 60\% = 17,25\text{€}$
- Adobe Acrobat Reader = $5/5 \cdot (1.83 \cdot 5) \cdot 40\% = 3,66\text{€}$

El detalle del presupuesto económico es el siguiente:

Concepto	Unidad	Precio unitario (€/Ud)	Cantidad (Ud)	Importe (€)
Maquinaria				239,91
Ordenador de mesa		219	1,00	219
Office 365 individual	Ud	17,25	1	17,25
Adobe Acrobat Reader	Ud	3,66	1	3,66
Mano de obra				3.436,5
Alumno autor	h	8,45	300	2.535
Tutor proyecto	h	18,03	50	901,50
Presupuesto de ejecución material				3.676,82
13% de gastos generales				477,99
6% de beneficio industrial				220,61
Presupuesto de ejecución por contrata				4.375,33
21% IVA				918,82
Presupuesto de inversión				5.294,15

Tabla 15: Presupuesto económico del proyecto

El presupuesto de inversión asciende a la expresada cantidad de CINCO MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y CUATRO EUROS CON QUINCE CÉNTIMOS.