

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y EFECTOS EN LA EVALUACIÓN DE RIESGOS APLICADO A LOS SISTEMAS EMPLEADOS EN BUNKERING

ANALYSIS OS FAILURE MODES EFFECTS IN THE EVALUATION OF RISKS APPLIED TO THE SYSTEMS USED IN BUNKERING

MAZURKIEWICZ RODRÍGUEZ, Héctor José

Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICYT)-Panamá

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5953-5171>

hector.mazurkiewicz@unicyt.net

Recibido: 11-05-2022; **Aceptado:** 15-06-2022

Resumen

En las actividades del transporte marítimo se utilizan diversos métodos y técnicas para evaluar los riesgos de las operaciones, donde una clasificación amplia se corresponde con los métodos simplificados y los métodos complejos, tal que estos últimos se sub-clasifican en cualitativos y cuantitativos. En las operaciones de bunkering o carga de combustible gabarra-buque, se emplean tanto los métodos simplificados como los complejos, cada uno con sus características particulares, pero en común todos buscan evaluar los riesgos ofreciendo datos e información, los cuales permitan generar planes y acciones para eliminar o minimizar incidentes y accidentes en dichas operaciones. Este trabajo de investigación estudió el método complejo cualitativo denominado análisis de modos de fallo y efectos (FMEA por sus siglas en inglés) aplicado al bunkering, siguiendo para ello una metodología del tipo documental de nivel descriptivo, en otras palabras, se describió cualitativamente el análisis de modos de fallo y efectos en la evaluación de riesgos aplicado a los sistemas empleados en la operación de carga de combustible llamado bunkering. La búsqueda, selección y análisis de contenido sobre el evento de estudio de las unidades o documentos, que como

Como citar este artículo (APA): Mazurkiewicz Rodríguez, H. J. . (2022). ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y EFECTOS EN LA EVALUACIÓN DE RIESGOS APLICADO A LOS SISTEMAS EMPLEADOS EN BUNKERING. *Latitude*, 2(16), 44–78. <https://doi.org/10.55946/latitude.v2i16.196>

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Compartir igual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0) [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

resultado fueron 8, se realizó en el año 2020. Las categorías establecidas para el análisis temático surgieron de la revisión teórica de los trabajos de autores como la International Marine Contractors Association [IMCA], International Maritime Organization [IMO], International Naval Surveys Bureau [INSB], entre los más destacados. Una de las conclusiones del estudio es: los efectos más comunes resultantes del análisis son la pérdida parcial o total de la funcionalidad del componente, subsistema o sistema en general; obstrucción, derrame o contaminación del combustible; posibilidad de incendio; imposibilidad de establecer comunicación entre gabarra y buque, y entre el personal de la misma gabarra; y pérdida de la presión de bombeo de combustible.

Palabras clave: bunkering, FMEA, evaluación de riesgos, carga de combustible, gabarra-buque.

Abstract

In maritime transport activities, various methods and techniques are used to assess the risks of operations, where a broad classification corresponds to simplified methods and complex methods, such that the complex are sub-classified into qualitative and quantitative. In bunkering or barge-ship fueling operations, both simplified and complex methods are used, each with its particular characteristics, but in common they all seek to assess risks by offering data and information, which allow the generation of plans and actions to eliminate or minimize incidents and accidents in these operations. This research work studied the complex qualitative method called failure modes and effects analysis (FMEA) applied to bunkering, following a descriptive-level documentary-type methodology, in other words, the analysis was qualitatively described of failure modes and effects in the risk assessment applied to the systems used in the fuel loading operation called bunkering. The search, selection and content analysis on the study event of the units or documents, which as a result were 8, was carried out in 2020. The categories established for the thematic analysis emerged from the theoretical review of the works of authors such as the International Marine Contractors Association [IMCA], International Maritime Organization [IMO], International Naval Surveys Bureau [INSB], among the most prominent. One of the conclusions of the study is: the most common effects resulting from the analysis are the partial or total loss of the functionality of the component, subsystem or system in general; fuel clogging, spillage or contamination; possibility of fire; impossibility of establishing communication between the barge and the ship, and between the personnel of the same barge; and loss of fuel pump pressure.

Key words: bunkering, FMEA, risk assessment, fuel loading, barge-ship.

Introducción

El El transporte marítimo es una actividad industrial-comercial que históricamente representa un sector de gran importancia para la vida y desarrollo de la sociedad moderna, prácticamente mueve el comercio internacional mundial, y por tal razón, la seguridad en dicho

sector es un factor crucial de la actividad misma. En la industria en general, y en el transporte marítimo en particular, el análisis de riesgos es una técnica esencial en la elaboración de planes, estrategias, métodos y cualquier mecanismo que contribuya a la seguridad tanto de las personas, como de los bienes y el propio medio ambiente, pues utiliza los datos e información disponible en los procesos e instalaciones para identificar cualquier peligro y así poder estimar los riesgos subsecuentes. En pocas palabras, todo lo concerniente a la seguridad se sujeta a la gestión del riesgo.

Ahora bien, siendo el riesgo una probabilidad de ocurrencia de un evento o situación indeseada, éste se puede y se debe anticipar y prevenir para que no induzca las consecuencias desfavorables sobre las personas, el medio ambiente, los procesos, la producción, las instalaciones u otros bienes materiales. Para ello se recurre a la evaluación de riesgos a través de diversos métodos y técnicas apoyadas en el análisis, no en simples percepciones las cuales, principalmente, garantizan una toma de decisiones para reducir o hasta eliminar dichos riesgos.

Entre las operaciones portuarias y relacionadas al transporte marítimo, se encuentra el bunkering, el cual es un término que define las operaciones de carga de combustible a un buque el cual requiere consumir este producto para poder navegar, es decir, el repostaje necesario hecho por los buques, eso incluye a los petroleros, pero no a su actividad de transporte de combustible. Panamá es uno de los países líderes de estas operaciones de negocio mundial, dada su situación privilegiada y principalmente por las actividades del Canal de Panamá.

Estas son razones más que suficientes para concebir a la seguridad en dicho sector, como un factor crucial de la actividad misma, en vista que las operaciones de carga de combustible gabarra-buque requieren de continuas, eficaces, precisas y actualizadas evaluaciones de riesgos las cuales prevengan accidentes y daños a las personas involucradas en el proceso, al medio ambiente marino, a los buques u otras embarcaciones, además, bienes materiales intervinientes en tales operaciones, de ahí la importancia de este trabajo.

Este estudio buscó responder cómo es y cuáles son las características del análisis de riesgos aplicando el análisis de modos de fallo y efectos en el sector marítimo-portuario, específicamente en las actividades de operación de carga de combustible gabarra-buque, mejor conocido como bunkering; a través de un proceso metodológico llevado a cabo en el año 2020 y basado en revisión bibliográfica, análisis temático y en la experiencia del propio autor de esta investigación.

Tuvo como objetivo general describir el análisis de modos de fallo y efectos en la evaluación de riesgos aplicado a los sistemas empleados en la operación de carga de combustible llamado bunkering., al mismo tiempo, caracterizar los sistemas de operación de carga de combustible gabarra-buque, mejor conocido como bunkerin, identificar los componentes de los sistemas utilizados en la operación de bunkering, definir los posibles modos de fallo de los sistemas de operación de bunkering, especificar los posibles efectos o consecuencias originados por los modos de fallo de los sistemas de operación de bunkering y detectar los riesgos de los sistemas de operación de bunkering aplicando la técnica de análisis de modos de fallos efectos (FMEA).

Metodología

De acuerdo con Arias (2012), las investigaciones descriptivas consisten en caracterizar hechos, fenómenos, grupos o individuos, con la finalidad de establecer su estructura y comportamiento. Mientras que, las investigaciones de tipo documental son aquellas las cuales se basan en un proceso de búsqueda, recuperación, análisis e interpretación de datos obtenidos por otros investigadores y registrados en fuentes documentales. Entonces, sin duda, este estudio se clasifica dentro de la tipología documental de nivel descriptivo, pues para poder responder, cómo es y cuáles son las características del análisis de riesgos aplicando el análisis de modos de fallo y efectos en las actividades de operación de carga de combustible gabarra-buque, se recurrió a la descripción de este evento de estudio a través del proceso implícito en la investigación documental.

Se hace necesario subrayar que, este trabajo es un estudio original a pesar de estar basado en fuentes secundarias, pues posee un enfoque propio, con criterios, conceptualizaciones, reflexiones fundamentados en el análisis hecho por el autor y en su experiencia propia. En suma, se realizó una revisión bibliográfica de acuerdo a los siguientes pasos o procedimientos:

- (a) Se definieron los objetivos del estudio;
- (b) Se realizó la búsqueda bibliográfica considerando los procedimientos de:
 - a. Establecimiento de las estrategias de búsqueda y los criterios de selección de documentos (ver tabla 1);

- b. Consulta en fuentes documentales y bases de datos;
- (c) Se organizó la información y los contenidos en matrices de análisis temático;
- (d) Se realizó un análisis de contenido de acuerdo a las categorías establecidas en las matrices, a partir de la revisión teórica sobre el análisis de riesgo y el bunkering;
- (e) Se redactaron los resultados;
- (f) Se elaboraron las conclusiones del estudio.

Tabla 1

Estrategias de búsqueda y criterios de selección

Guías de búsqueda	Descripción de las guías
Fuentes	Bibliotecas universitarias; Base de datos electrónica: Google Scholar.
Idiomas de las fuentes	Español; Inglés.
Descriptor de búsqueda	Operaciones de carga de combustible gabarra-buque; <i>Bunkering</i> ; Análisis de modos de fallo y efectos; <i>Failure Modes and Effects Analysis</i> .
Operadores de búsqueda avanzada	Operadores lógicos: and (y), or (o), not (no); Operador de búsqueda exacta: Comillas (“”).
Criterios de inclusión en búsqueda	Libros de texto y artículos científicos; Trabajos de fin de grado y de maestría o fin de master.
Criterios de exclusión en búsqueda	Publicaciones con data mayor a 10 años; Artículos comerciales y de opinión; Trabajos que no vinculen el bunkering y el análisis de riesgos; Trabajos con baja calidad científica y/o académica.

Fuente: elaboración propia

Con respecto al análisis de contenido, éste se orientó por las categorías establecidas en la revisión teórica del tema objeto de estudio, es decir, se realizó un análisis temático, pero para lograr todos los objetivos específicos propuestos, primordialmente fue necesario seguir la

metodología del análisis de modos de fallo y efectos, de acuerdo con sus procedimientos sistemáticos aplicado a las operaciones de bunkering. Es por ello que, a continuación, se describe resumidamente la metodología FMEA, según lo establecido por la IMCA (2016).

Pasos previos:

- (a) Definir claramente los objetivos del análisis;
- (b) Conformar el equipo de especialistas que participarán en el análisis;
- (c) Establecer el o los estándares que deberá cumplir el FMEA;
- (d) Establecer los límites de los sistemas que se analizarán;
- (e) Definir los procedimientos de reporte;
- (f) Organizar toda la información disponible de los sistemas.

Pasos iniciales:

- (g) Identificar el sistema y subsistemas, procesos, operaciones, equipos, maquinarias y componentes instalados y asociados;
- (h) Identificar los posibles modos de fallo y sus causas;

Pasos avanzados:

- (i) Evaluar los efectos o consecuencias de cada modo de fallo identificado.
- (j) Determinar las medidas necesarias para mitigar los riesgos relacionados a cada modo de fallo;
- (k) Establecer los métodos de detección de fallos y acciones correctivas;
- (l) Organizar auditorías para la embarcación;
- (m) Elaborar un informe preliminar del FMEA.

Pasos finales:

- (n) Considerar los ensayos y pruebas necesarias para probar las conclusiones del FMEA desarrollado;
- (o) Formular un programa de pruebas y ensayos del FMEA;
- (p) Organizar, en el muelle y en el mar, pruebas prácticas viables del FMEA;
- (q) Asesorar sobre las dudas e inquietudes del FMEA.

Por último, pero algo que fue necesario definir al comienzo del FMEA, son los niveles de gravedad de las fallas, estableciéndose en esta metodología los siguientes:

- (a) Gravedad tipo 1: Falla catastrófica (causará emergencia de la operación de bunkering).
- (b) Gravedad tipo 2: Falla crítica (causará un período prolongado de cese de operaciones).
- (c) Gravedad tipo 3: Falla grave (causará una pérdida temporal de la capacidad de operación).
- (d) Gravedad tipo 4: Falla menor (causará un mantenimiento o reparación menor no programado).

Desde la De Larrucea (2015) afirma que, en la época actual donde existen diversos modelos contemporáneos de análisis de riesgos, es totalmente factible obtener predicciones sobre los fenómenos observados; donde por prudencia se prefiere adoptar el primero de los sentidos, describiendo y formulando sus elementos básicos. Otra de sus afirmaciones es: “En materia de seguridad todo se reduce al riesgo: el análisis del riesgo, la evaluación del riesgo y de manera principal la gestión del riesgo. La seguridad es una opción de riesgo” (p.31); entonces, la seguridad marítima debe ser abordada de una manera global.

Al respecto, Rubio Romero (2000) propone, muy bien fundamentado y de manera amplia y detallada, una clasificación de la evaluación de riesgos basada en los métodos simplificados y los métodos complejos (ver cuadro 1). Los primeros, es decir, los métodos simplificados, se emplean cuando se considera que los riesgos no inducirán consecuencias catastróficas; mientras que los métodos complejos se emplean cuando se espera que las consecuencias sean graves o muy graves, pero también cuando la estimación precisa del riesgo requiera conocimientos profundos o técnicas y equipos complicados.

En todo caso, la evaluación de riesgos es un proceso sistemático donde se aplican métodos para identificarlo, estimarlo, controlarlo y hacer seguimiento a los resultados obtenidos para

priorizar las acciones encaminadas a lograr la efectividad de la prevención. Mientras que, el análisis del riesgo es el proceso dirigido a identificar el peligro y estimar el riesgo, es decir, el análisis es una parte de la evaluación (International Maritime Organization [IMO], 2002).

Cuadro 1

Clasificación de evaluación de riesgos

CLASIFICACIÓN DE EVALUACIÓN DE RIESGOS	
1	2
MÉTODOS SIMPLIFICADOS	MÉTODOS COMPLEJOS
1.1. Valoración simple o método ABC 1.2. Método binario del INSHT 1.3. Método William T. Fine 1.4. Métodos de más de tres factores	2.1. Métodos de evaluación de riesgos de accidente 2.2. Métodos cualitativos 2.2.1. Métodos cualitativos específicos para riesgos mayores <ul style="list-style-type: none"> - Análisis histórico - Análisis preliminar de riesgos - ¿Qué ocurriría si? - Listas de comprobación (Check List) - Análisis de seguridad de los trabajos - Análisis de riesgos y operabilidad (Hazop) - Análisis de modos de fallo y efectos (AMFE o FMEA) - Análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (AMFEC) - Otros métodos: UCSIP, MOSAR, DELPHI, Índice de Dow 2.2.2. Métodos cualitativos específicos para el cálculo del riesgo de incendio 2.2.3. Evaluación del riesgo en máquinas UNE-EN-1050:1997 2.3. Métodos cuantitativos

Fuente: elaboración propia a partir de Rubio Romero (2000)

Los diversos métodos y técnicas de evaluación de riesgos nombrados en el cuadro 1, perfectamente son aplicables en la industria marítima, específicamente en el transporte marítimo y operaciones portuarias, de hecho, en la práctica llegan a utilizarse en pares o conjuntos, unos para complementar otros, siempre y cuando se justifique la inversión en recursos humanos y materiales, además del tiempo. Pero hay una técnica en particular que recibe especial atención en las actividades del transporte marítimo, esa es el FMEA.

De acuerdo con el IMCA (2016), el Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) o en español: Análisis de Modo de Fallo y Efectos (AMFE), es una técnica de análisis de riesgos que se aplica a los sistemas técnicos asociados a las embarcaciones en alta mar, particularmente, pero no es específico, para los sistemas de posicionamiento dinámico los cuales se encargan de

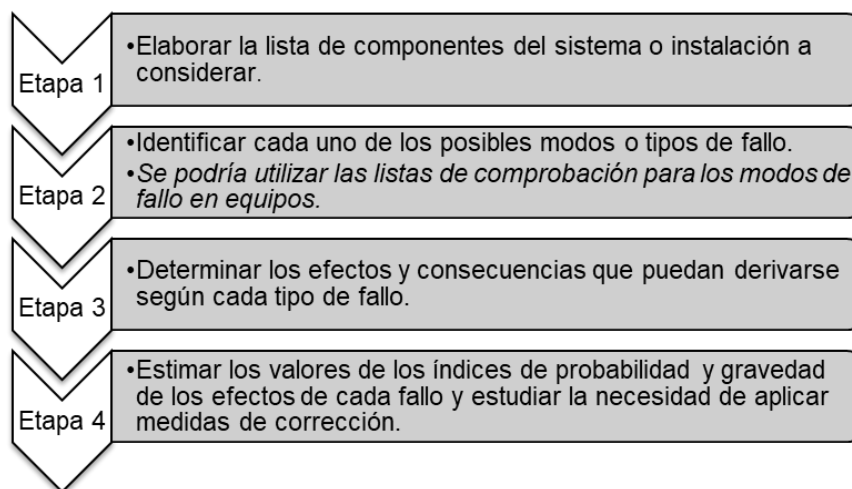
mantener el buque en una posición exacta mediante las hélices. Se subraya entonces, que el FMEA es una técnica la cual destaca entre las buenas prácticas de la industria del transporte marítimo.

En general, el FMEA consiste en la elaboración de listas o tablas que contienen los posibles fallos de un sistema o instalación, desde sus componentes individuales hasta el sistema como un todo, también, incluye los modos de fallo, la detección y los efectos de cada uno de ellos. Un fallo se puede definir como una función anormal de un elemento, componente o dispositivo del sistema, pero también una función prematura, o fuera de rango, otros.

Por su parte, los efectos corresponden al resultado de la consideración la cual se hace sobre cada uno de los fallos que han sido definidos previamente en el sistema. La mayor aplicación del FMEA suele ser en la etapa previa a la elaboración de un árbol de fallos, debido a que permite un buen conocimiento del sistema o instalación, pero tal como lo señala AENOR (1997) c.p. Rubio Romero (2000), podría ser más adecuado el empleo de otros métodos cuando los procedimientos operativos son muy importantes, pues el FMEA no considera directamente los errores humanos. Por, sobre todo, la técnica puede utilizarse en cualquiera de las fases de diseño, construcción, instalación, modificación y operación. En la figura 1 se muestra las etapas para la aplicación del FMEA.

Figura 1

Etapas del análisis de modos de fallo y efectos



Fuente: elaboración propia a partir de Rubio Romero (2000)

Además, el equipo necesario para aplicar el FMEA suele ser de dos personas con experiencia y con buenos conocimientos del sistema en general que se va a analizar y de las funciones de los elementos o componentes, así como de toda la línea de proceso. Es muy importante que el equipo también domine otros métodos y técnicas de análisis de riesgos, pues resultan ser complementarios del FMEA, por ejemplo, el método comparativo de listas de comprobación.

También, es necesario aclarar que existe una variación del FMEA y al cual se le denomina: Análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (AMFEC o FMECA por sus siglas en inglés), el cual incluye los modos de fallo producto de los errores humanos, y el análisis cuantitativo de la criticidad de los riesgos. En la tabla 2 se presenta un formulario tipo ejemplo para un análisis FMEA con índice de gravedad, es decir, un FMECA.

Tabla 2

Formulario tipo ejemplo para la aplicación de un FMECA

Análisis de Modos de Fallo y Efectos					
Buque:		Fecha:			Pág.
Sistema:		De:			
Referencia:		Analista:			
Id	Componente	Modo de Fallo	Detección	Efectos	Índice de gravedad
C001	Válvula automática principal	Abierta en modo normalmente cerrada	Visual	Derrame de fluido Posible incendio	4
		Corroída	Visual	Obstrucción Difícil apertura o cierre	3
		Golpeada	Visual	Vibraciones continuas	2

Fuente: elaboración propia

Para el ejemplo presentado en la tabla 2, el índice de gravedad se ha representado mediante una escala del 1 al 4, donde el valor 1 representa un fallo sin efectos adversos; el valor 2 indica que los posibles efectos no requieren, como medida de corrección, detener el proceso, es decir, una parada del sistema; el valor 3 es un indicativo para realizar una parada normal, pues el riesgo es importante; finalmente el valor 4 del índice de gravedad es un peligro inminente tanto para el personal como para las instalaciones, por lo cual se requiere una parada de emergencia.

De forma particular el IMCA (2016) afirma que, en el caso de un buque, el FMEA es parte de su programa de seguridad con regulaciones internacionales, normas y procedimientos

estándares establecidos por la ingeniería de confiabilidad. Su aplicación se considera necesaria, pues se asume como cierta la Ley de Murphy, la cual establece: «todo lo que puede fallar, fallará»; además, por lo general fallará en el peor de los momentos, es decir, no se sabe cuándo ocurrirá. Resumidamente, el FMEA debe considerarse, sobre todo, como un elemento de seguridad necesario para la evaluación de la capacidad de un buque y sus sistemas, para realizar su función de manera segura y adecuada.

Finalmente, los resultados del análisis deben incorporarse a los manuales de emergencias, operaciones y mantenimiento de la embarcación. Así, los operadores junto con el personal de ingeniería requieren conocer qué acciones correctivas se necesitan hacer cuando se presenta un fallo en el sistema; el personal de mantenimiento, o por lo menos los supervisores de mantenimiento, requieren saber el impacto de un equipo o todo un sistema cuando esté fuera de servicio con motivo de un fallo; y el equipo de evaluación de riesgos debe estar totalmente familiarizado con el contenido del FMEA para realizar de manera exitosa sus reuniones periódicas.

Resultados

La aplicación de las estrategias de búsqueda y criterios de selección de los documentos o unidades de análisis, permitió centrar la revisión sólo en los documentos que realmente fueron pertinentes e importantes para el estudio. De esta manera se obtuvo como primer resultado, el conjunto de unidades de análisis mostrado en la tabla 3, es decir, un total de 8 artículos de investigación publicados entre los años 2011 y 2019.

Tabla 3

Lista de Unidades de Análisis Resultantes

Título del documento	Año	Autores
Operaciones de bunkering: B/T Petrobay	2019	Quintana, D.
Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF)	2019	Salazar López, B.
Operaciones de bunkering: B/T Spabunker Sesentayuno	2018	Alfonso, I.
Operaciones de bunkering en el Estrecho de Gibraltar – Gibunker 100	2018	Salazar, J.

Metodología para la evaluación del riesgo en instalaciones portuarias	2017	Romero Faz, D.
Bunkering	2015	Méndez Suárez, Ch.
Los servicios de bunkering en los puertos	2011	Camarero, A., López, C., Camarero, A. y González, N.

Fuente: elaboración propia

Una vez analizado e interpretado los contenidos ordenados en las matrices de análisis temático, se obtuvieron los resultados de acuerdo con lo planteado en los objetivos de investigación, es decir, las características de los sistemas de operación de bunkering, sus subsistemas y componentes, los modos de fallo y sus posibles efectos o consecuencias, y finalmente, los riesgos del sistema según el FMEA.

Características de los sistemas de operación de carga de combustible gabarra-buque (Bunkering).

El término *Bunkering* define las operaciones de carga de combustible a un buque el cual requiere consumir este producto para poder navegar, es decir, el repostaje (acción de reposición de combustible u otros suministros en una nave) que necesitan hacer los buques, eso incluye a los petroleros, pero no a su actividad de transporte de combustible. Dicho término proviene de la palabra «Búnker», nombre genérico dado al combustible para producir la energía de los buques, el cual es “una sustancia pesada, negra, sucia, viscosa y muy difícil de manejar y de limpiar” (Camarero, López, Camarero y González, 2011, p. 31). Sin embargo, el término bunkering se ha generalizado de tal manera que se puede emplear para cualquier actividad relacionada a la operación de avituallamiento (es la acción de abastecer) de los buques, por ejemplo, de agua y hielo, pero es significativamente más utilizado para referirse a la carga de combustible gabarra-buque.

Los tipos de combustible marino usados con más frecuencia en los buques son el IFO¹ 380 cSt y el IFO 180 cSt, siendo el primero de ellos el más utilizado por el comercio mundial de bunkering.

¹ IFO: Nomenclatura industrial para el combustible marino: Intermediate Fuel Oil (Fueloil Intermedio) según la norma ISO 8217, el cual es una mezcla de combustibles pesados de petróleo y gasóleo (Camarero et al., 2011).

Los combustibles marinos son un producto resultante de la destilación del crudo por parte de las refinerías, cuando se produce gasolina, diésel, nafta, gasóleo y otros productos destilados, es decir, el fueloil residual, cuyo precio es relativamente bajo comparado con los refinados, eso incluye al diésel y gasoil marino. El consumo de combustible marino por buque es muy elevado, por ejemplo, un buque pequeño de unas 30.000 toneladas de peso muerto consume en promedio diario durante la navegación, unas 21 toneladas de fueloil.

Conviene subrayar que, Singapur es el principal puerto de bunkering de todo el mundo. Además, son varios los actores quienes intervienen en el bunkering como actividad comercial, la actuación de todos garantiza la calidad y seguridad de las operaciones, estos son: los consignatarios de los buques, los operadores de gabarras y camiones cisternas, los laboratorios de análisis de calidad de combustible, las autoridades portuarias, las aseguradoras, entre otros.

Con respecto a las operaciones de carga de combustible, este es un proceso que inicia con la comunicación entre el consignatario del buque y el proveedor del combustible, es decir, la empresa de bunkering, y finaliza cuando el combustible es entregado o cargado al buque. Mientras que, el procedimiento completo de carga de combustible gabarra-buque, consiste en realizar los pre-controles de entrada y de las tareas a cometer, establecer acuerdos entre el buque y la gabarra cisterna, y efectuar los procedimientos de carga.

Estos últimos deben estar bien regulados y cumplir con normativas vigentes de seguridad; también, todos y cada uno de los operarios quienes intervienen en el proceso de la carga de combustible, tienen que estar cualificados y dominar y aplicar las medidas de seguridad adecuadas a cada buque en particular. Precisamente hablando de medidas de seguridad en los procedimientos, estas deben asegurar que los riesgos relacionados con la operación de carga hayan sido evaluados y se hayan realizado todos los correctivos y controles requeridos para amenorar dichos riesgos.

Ahora bien, el bunkering se puede realizar de dos maneras: con el buque fondeado, o dentro del puerto. En la primera modalidad, es decir, fuera del puerto, el buque se amarra al fondo marino o lacustre de forma segura, mientras la gabarra cisterna se sitúa a su lado para preparar el procedimiento de carga de combustible; es una modalidad con muchas ventajas, entre ellas, no requiere desviaciones de la ruta del buque, hay ahorro de tiempo y dinero (tasas portuarias y demás costes de atraque e impuestos), pero, implica muchos riesgos y por eso se prohíbe en algunos países. Por su parte, la modalidad de bunkering dentro del puerto, se lleva a cabo con la gabarra cisterna en el agua junto al buque en atraque, lo cual permite muchas veces la carga del

combustible mientras se está cargando o descargando la mercancía objeto del transporte, lo cual representa un ahorro de tiempo.

Bien sea en una modalidad u otra, siempre hay varias cuestiones a tomar en cuenta, una de ellas es la medición correcta del volumen de combustible suministrado, el cual por lo general se realiza con caudalímetros y midiendo el volumen de los tanques antes y después de la carga. Otro asunto, también requisito, es analizar la calidad del combustible suministrado, por ello se toman muestras durante la operación de carga ante la posibilidad que surja alguna disputa. Otra característica del bunkering, son las regulaciones internacionales y de cada país para evitar la contaminación ambiental con motivo de esta operación, específicamente el derrame o vertido de combustible al agua y las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera terrestre.

Finalmente, en relación con características de los sistemas de operación de carga de combustible gabarra-buque, a continuación, se presenta un sinóptico de las operaciones:

- (a) Inicio de la maniobra de bunkering: la gabarra solicita permiso para dirigirse hacia el buque, una vez concedido, se informa al punto de control el nombre del barco y las características del suministro (tipo y cantidad de combustible). Ya próximo al buque, el capitán de la gabarra llama al capitán del buque para indicar cómo se realizará la maniobra, por lo cual, deberá dar órdenes a su tripulación para coger los cabos. Cuando la gabarra está abarloada al buque, se entrega la documentación y un radio portátil para mantener contacto permanente con el oficial a cargo del suministro.
- (b) Entrega de documentación previa: se refiere a documentación sobre el suministro de combustible, compromisos de seguridad en general y protección ambiental (check list de
- (c) la gabarra), formulario para ser cumplimentado por el capitán del buque (datos del buque, lista de seguridad o check list del buque), otros anexos. Cuando los formularios y documentos son firmados por el capitán y devueltos a la gabarra, se da inicio al proceso de acople.
- (d) Acople de mangueras: en la gabarra, el marinero con ayuda del bombero, usan las grúas para izar las mangueras hacia el buque y así la tripulación de éste pueda realizar la conexión correspondiente.

- (e) Inicio de la carga de combustible: se procede poco a poco con el bombeo del combustible de la gabarra al buque (descarga de la gabarra). La presión de bombeo se irá aumentando hasta el valor fijado en los documentos previos.
- (f) Bunkering: primero, se lleva una hoja de control de horario de las operaciones; por otro lado, el marinero se encarga de llevar el control del suministro observando el contador del tanque, y con un cronómetro cuenta la cantidad de metros cúbicos de combustible los cuales se han suministrado en 1 minuto, luego lo multiplica por 60 para saber el caudal de combustible por hora (m^3/h). Durante toda la carga de combustible, la tripulación del buque permanecerá de guardia vigilando que no haya fugas entre el *manifold* y la manguera. También, durante todo el periodo de suministro, se tomarán las muestras por goteo, 2 para el buque y 3 para la gabarra.
- (g) Fin del suministro: cuando el marinero haya determinado el cumplimiento del suministro contratado, progresivamente disminuirá la presión de línea hasta que las bombas se paren por completo.
- (h) Desconexión: el personal involucrado en el acople de mangueras, hará la desconexión y recogida de las mismas.
- (i) Entrega de documentación final: ya terminado el proceso, se le entrega al buque la documentación con las especificaciones del combustible suministrado y las muestras correspondientes, mientras que la gabarra se queda con sus respectivas copias y muestras de combustible.
- (j) Fin del bunkering: en la gabarra se llena el libro de registro de hidrocarburos, donde se apuntan entre otras cuestiones, el lugar de desembarque, la identidad de los tanques descargados, la condición de los tanques, lastrado de los tanques de carga, lavado con crudo, y otras operaciones asociadas.

Sistemas y componentes que se requieren para la operación de bunkering

- (a) En este Gabarra cisterna: es un barco generalmente de fondo plano, lo cual facilita su varada en las playas, esto es una ventaja al no necesitar muelles o embarcaderos para cargar o

descargar. Normalmente no son autopropulsadas, requiriendo ser remolcadas por un bote; sin embargo, hay gabarras con poca maquinaria propulsora, que, aunque no están diseñadas para una amplia navegación, tienen la independencia suficiente como para navegar hasta las zonas de fondeo y realizar así el suministro de combustible. También son lo suficientemente grandes y bien diseñadas para hacer varios suministros sin necesidad de regresar al puerto para repostar combustible.

- (b) Tripulación de la gabarra: debe haber mínimo cuatro tripulantes para realizar el servicio de bunkering, ellos son el capitán, jefe de máquinas, marinero y bombero. Cada uno cualificado para la labor que realizan en la gabarra, además, de funciones de emergencia en caso de incendio, derrames y contaminación, abandono de la nave y hombre al agua.
- (c) Sala de máquinas: está conformada por motores y generadores, los primeros generan la potencia para la autopropulsión de la gabarra, mientras que los generadores son máquinas eléctricas las cuales transforman la energía cinética del motor en electricidad para alimentar a la gabarra. En ambos casos se tienen máquinas principales y auxiliares, es decir, la gabarra tiene redundancia de máquinas para garantizar sus operaciones.
- (d) Caldera: este es un elemento dentro de la sala de máquinas, el cual tiene la función de mantener el combustible (fuel oil) a una temperatura determinada para que no se solidifique y obstruya el suministro. Sus componentes principales son: tanque, serpentines, aceite, quemador, motor ventilador, bomba, tuberías y aislante térmico.
- (e) Sistema propulsor y de gobierno: cuando la gabarra tiene la capacidad de autopropulsión, requiere de hélices de propulsión y de gobierno para poder dirigirse hacia la zona de fondeo y posicionarse junto al buque, además de poder regresar al puerto con total independencia y maniobrabilidad, un ejemplo de ellas, son las hélices timón o hélices azimutales Schottel.
- (f) El combustible: es considerado en las categorías de mercancía como una carga peligrosa, debido a que puede causar daños a la tripulación, la gabarra, al buque, a otras mercancías cercanas y al medio ambiente. Típicamente esta carga puede ser: Fuel pesado, fuel bajo en azufre, gasoil marino, diesel oil marino, y mezclas de fuel con diésel o gasoil. Con respecto a las muestras, se tienen que tomar y almacenar por el periodo de 1 año, son 5 muestras, de ellas 3 se quedan en la gabarra: Muestra custodia, muestra Cepsa y muestra Marpol 73/78 gabarra;

y 2 se quedan en el buque: Muestra buque y muestra Marpol 73/78 buque (todas las muestras se certifican).

- (g) Tanques de carga: una gabarra cisterna posee varios tanques de carga para poder suministrar el tipo de combustible requerido por un buque en particular, un promedio razonable serían 4 tanques. Los mamparos o tabiques divisorios de los tanques, no son mamparos entre ellos, es decir, puede haber flujo entre ellos a través de los pasamamparos cuando son abiertos.
- (h) Otros tanques: las gabarras cuentan con tanques de alastre, tanques de agua dulce, tanques de aceite, tanque de gas – oil.
- (i) Bombas del tanque: la gabarra cuenta con una bomba de carga y descarga por cada tanque, las cuales tienen un panel de control (o botonera de bombas) para que el operador pueda encenderla y apagarla, y aumentar y disminuir la presión para así controlar el caudal de combustible. Hay tanques los cuales poseen dos bombas, esto ocurre cuando el tanque ha sido construido para almacenar más de un tipo específico de combustible, en ese caso, cada bomba se vuelve exclusiva a un tipo en particular. También cuentan con bomba de achique y baldeo.
- (j) Contadores de suministro: la gabarra cuenta con contadores de suministro de combustible, que registra el paso del mismo en unidades de volumen, por ejemplo, metros cúbicos. Estos

aparatos no controlan automáticamente el flujo de combustible cuando se suministra la cantidad contratada, es un operador quien debe bajarle la presión a la bomba.

- (k) Mangueras y grúas: las gabarras cisternas tienen un conjunto de mangueras, y grúas para su izado. El diámetro de cada manguera depende del tipo de combustible que transportará, además, se ubican en varios lugares, por ejemplo, en el centro y en la popa de la gabarra, donde se utilizará para el bunkering la cual convenga tanto para el buque como para la gabarra, uno de los criterios de selección es la ubicación del *manifold* del buque a suministrar.

Muchas veces se debe considerar y resolver el problema de diferencia de francobordo entre la gabarra y el buque a suministrar, pues puede ocurrir que la distancia sea muy alta como para que la grúa de la gabarra logre izar la manguera lo suficiente para realizar la carga de combustible. Cada manguera requiere un cartel indeleble donde se identifique lo siguiente: destinado a

hidrocarburos, fecha de fabricación, presión de servicio, presión de estallido, presión de prueba, fecha de la última prueba, fecha de la próxima prueba.

- (l) Equipos de radiocomunicaciones y posicionamiento: las gabarras deben contar con equipos electrónicos de radiocomunicaciones, radares, GPS, sondas y correderas², dado que, para el bunkering, el capitán de la gabarra debe contactar vía VHF al capitán del buque para realizar la aproximación y para que la tripulación esté preparada para recoger los cabos de la misma y encapillarlos a sus bitas. Estas comunicaciones están regidas por el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (SMSSM), la cual establece el mínimo de equipos a tener cualquier buque de acuerdo a su área de navegación, donde las gabarras cisternas se ubican en la zona A1 del mar, es decir, 20 – 30 Millas Náuticas desde la Costa. Entonces, deben estar equipadas con: 1 radio VHF con DSC, 1 receptor NAVTEX, 1 EPIRB-RLS Categoría I, 1 SART, y 2 radios VHF portátiles.
- (m) Equipos de seguridad y contraincendios: todas las gabarras cisternas deben disponer de medios de salvamento y contraincendios, dado que su carga es catalogada como peligrosa tanto para la tripulación, como para los bienes materiales asociados. En la tabla 4 se listan un conjunto de estos medios, a los cuales se les debe considerar como enunciativos y no taxativos.

Tabla 4 Equipos de seguridad y contraincendios en las gabarras

Medios de salvamento	Medios contraincendios
Aros salvavidas	Cañón lanzapolvo
Aros salvavidas con luz Holmes	Conexión internacional
Aros salvavidas con rabiza	Detector de incendios
Aros salvavidas con señal fumígena	Detector térmico
Balsas salvavidas	Equipo de respiración autónomo (ERA)
Bengalas de mano	Botellas para ERA
Bote salvavidas	Extintor de CO ₂
Chalecos salvavidas	Extintores de polvo seco con carro
Cohete lanza bengalas con paracaídas	Lanza espuma para bombero
Lanzacabos	Mangueras contra incendios
Radar transpondedor	Puesto contraincendios con equipos de bombero
Radiobaliza 406 MHz	Pulsadores contra incendios
Radios VHF portables	Sistema de extinción local por CO ₂
Trajes de inmersión	

Fuente: elaboración propia

² Corredera: Es un instrumento para medir la distancia navegada.

La ubicación en la gabarra de todos y cada uno de los medios de salvamento y contraincendios, debe mostrarse en una pizarra, cuadro o cartel localizado en un área accesible de la misma, por ejemplo, en el área del comedor. Por otra parte, para consolidar estos resultados, en la tabla 5 se clasifican los componentes de acuerdo a su categoría de estáticos o de activos, según el FMEA.

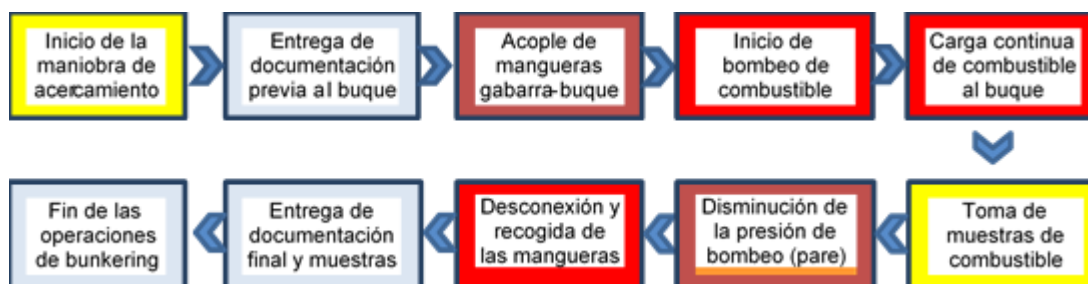
Tabla 5

Componentes de los sistemas de operación de carga de combustible gabarra-buque

Componente Estático o Pasivo	Componente Activo
Botonera de bombas	Motores primarios y auxiliares
Tuberías y válvulas manuales	Hélices timón (sistema de propulsión)*
Mangueras (todos los tipos)	Alternadores primarios y auxiliares
Tanques de combustible y otros tipos	Bombas (de tanques, achique y baldeo)
Recipientes para muestras de combustible	Contadores de suministros
Mamparos y pasamamparos	Grúas
Aros salvavidas (todos los tipos)	Equipos de radiocomunicaciones y posicionamiento (radios y radares)
Balsas, botes y chalecos salvavidas	Detector de incendio
Bengalas y lanzadores (todos los tipos)	Detector térmico
Trajes de inmersión y equipos de inmersión	
Botellas para ERA	
Extintores contraincendios (todos los tipos)	*Remolcador, cuando la gabarra no cuenta con sistema de autopropulsión
Pulsadores contraincendios	
Puestos contraincendios equipado	

Fuente: elaboración propia

Figura 2

Diagrama de procesos del bunkering

Fuente: elaboración propia

Modos de fallo de los sistemas de operación de bunkering

Un modo de fallo es la forma en la cual cualquier componente y proceso del sistema puede afectar el cumplimiento de la operación de bunkering o al proceso siguiente, es por ello que el FMEA recomienda elaborar un diagrama de procesos para facilitar la tarea de su identificación (ver figura 2, donde, a mayor intensidad de color, mayor riesgo). Considerando el diagrama de la figura 2 y los contenidos de las tablas 4 y 5, se procede a elaborar la tabla de modos de fallo según la técnica FMEA (ver tabla 6).

Tabla 6

Modos de fallo del sistema bunkering

Sistema: Bunkering			
Procesos	Subsistemas	Componentes	Modos de fallo
Inicio de la maniobra de acercamiento	Remolque (cuando aplica)	Remolcador	No arrastra o empuja
	Sistema de propulsión	Hélices azimutales	Golpes; ruptura
		Motores	Corrosión y acumulación de partículas; vibración; ruido excesivo; fuga de aceite; fuga de combustible; temperatura elevada
		Alternadores	Voltaje o corriente fuera de rango normal; vibración; ruido excesivo
	Sistemas de comunicación y posicionamiento	Radios	No enciende; no recibe; no transmite
		Radares	No enciende; no detecta otras embarcaciones; no rastrea tormentas
Entrega de documentos previos	Documentación de la gabarra	Documentación sobre combustible	No hay entrega; incompleto
		Check list gabarra	No hay entrega; incompleto
	Documentación del buque	Información del buque	No hay entrega; incompleto
		Check list buque	No hay entrega; incompleto
Acople de mangueras gabarra-buque	Sistema de descarga de la gabarra	Mangueras	Agujeros; abolladuras
		Grúas	Daños físicos
	Sistema de carga del buque	Manifolds del buque	Golpes; corrosión
Inicio de bombeo de combustible	Bombeo de combustible	Válvulas manuales y tuberías	Golpes; corrosión
		Bombas de tanques	No bombea; golpes y rotura; corrosión; no sube la presión; ruido excesivo;

		Botonera de bombas	Daños eléctricos
	Sistema contraincendios	Detectores de incendio y de calor	No hay luz piloto; sucio
		Pulsadores	Daños físicos y/o eléctricos
		Equipos contraincendios	Roturas; abolladuras; vacío
	Sistema de seguridad y salvamento	Medios de salvamento al agua	Roturas; abolladuras
		Radiobaliza 406 MHz	Descargado; no transmite
		Radios portátiles	Descargado; no transmite; no recibe
		Radars transpondedor	Descargado; no detecta; no responde
Carga continua de combustible al buque	Transferencia de combustible entre tanques	Pasamamparos	Daños físicos
	Medición o conteo de combustible cargado	Contadores de suministro	Daños físicos
Toma de muestras	Sistema de toma de muestras de combustible	Recipientes	Roturas; abolladuras; sucio o con partículas extrañas
Disminución de la presión de bombeo y pare	Sistema de bombeo	Bombas Botonera de bombas Válvulas y tuberías	*En procesos previos
Desconexión y recogida de las mangueras	Sistemas de carga y descarga de combustible	Válvulas y tuberías Mangueras y grúas Manifold del buque	*En procesos previos
Entrega de documentación final y muestras	Entrega de documentación final al buque	Documentación final	No hay entrega; incompleto; información errónea
	Entrega de muestras buque	Recipientes con muestra de combustible	Tapas flojas; etiquetas ilegibles
Fin de las operaciones de bunkering	Reporte del procedimiento de carga de combustible surtido	Libro de hidrocarburos	No se escribe; incompleto; información errónea
	Alejamiento de la gabarra y posible retorno al puerto	Gabarra	No navega

Fuente: elaboración propia

Posibles efectos y riesgos originados por los modos de fallo en los sistemas de operación de bunkering

El efecto o consecuencia es el resultado de un fallo. Las consecuencias de cada modo de fallo en la operación, función o estado de determinado componente, se identifica, evalúa y registra

durante un FMEA. Los efectos deben centrarse en el componente específico que se ve afectado por el fallo en consideración; este último podría afectar varios niveles del sistema, incluyendo el sistema global.

Además, según el FMEA, a cada modo de fallo se le debe asignar un valor para la gravedad o consecuencia al ocurrir la falla, tal que, por ser un análisis cualitativo, los valores para este caso son: menor, grave, crítico, y catastrófico (gravedad tipo 4, 3, 2 y 1, respectivamente). Ahora bien, el riesgo es la combinación de la probabilidad y la gravedad del efecto o consecuencia, donde la probabilidad es la frecuencia de ocurrencia por unidad de tiempo. Sobre esta base, se ha elaborado una tabla cualitativa de riesgos, mostrada en la tabla 7, donde se consideran tres valores para los posibles riesgos: aceptable, tolerable e intolerable.

Tabla 7

Tabla cualitativa de riesgos

Probabilidad	Efecto o consecuencia			
	Menor	Grave	Crítico	Catastrófico
Muy improbable	Aceptable	Aceptable	Tolerable	Tolerable
Improbable	Aceptable	Tolerable	Tolerable	Intolerable
Probable	Tolerable	Tolerable	Intolerable	Intolerable
Muy probable	Tolerable	Intolerable	Intolerable	Intolerable

Fuente: elaboración propia a partir de International Naval Surveys Bureau [INSB] (2010)

Con respecto a los criterios para la probabilidad de la falla, esta se ha determinado en función de la secuencia de eventos en escenarios hipotéticos INSB (2010) y con la experiencia del propio autor, definiéndose lo siguiente:

- (a) Muy probable (posibilidad de incidentes repetidos): más a menudo que cada 6 meses;
- (b) Probable (posibilidad de incidentes aislados): una vez cada 5 años, donde el escenario ha ocurrido en el pasado y/o se espera que ocurra en el futuro;

- (c) Improbable (poco probable o no es probable que ocurra): una vez cada 10 años, donde el escenario podría suceder, pero sería sorprendente si lo hiciera;
- (d) Muy improbable (prácticamente imposible que ocurra): una vez cada 30 años o más.

Al mismo tiempo, el riesgo ha sido definido en la tabla 7 en tres niveles de severidad: aceptable, tolerable e intolerable; estas a su vez se agrupan en tres categorías generales que responden a la salud y seguridad de los trabajadores y cualquier persona cercana, el impacto ambiental, y la propiedad material. Así:

- (a) Nivel de riesgo aceptable: es un nivel de riesgo menor cuya falla no degrada el rendimiento de la operación de bunkering más allá de los límites aceptables; por ejemplo, pocas y leves lesiones en las personas, contaminación mínima en el medio ambiente que no requiere respuesta, costos y daños mínimos a los bienes materiales.
- (b) Nivel de riesgo tolerable: corresponde a un nivel de riesgo moderado donde la falla afectará al sistema más allá de los límites aceptables, pero puede ser adecuadamente contrarrestada o controlada; por ejemplo, varias lesiones menores en el personal, poca contaminación que requiera una respuesta corta y limitada, y bajo costo por daños menores a la embarcación y sus equipos o sistemas, pero necesitan reparaciones extensas.
- (c) Nivel de riesgo intolerable: se refiere a un nivel de riesgo extremo, donde la falla creará un peligro para la seguridad; en este caso puede haber muertes del personal o lesiones graves, una contaminación mayor al medio ambiente que requiere medidas a gran escala, y un daño extenso a los bienes materiales con un alto costo monetario.

Sobre la base de los resultados anteriores, todas las tablas mostradas a continuación, complementan la tabla 6 con los posibles efectos y riesgos originados por los diversos modos de fallo. Esta descripción se presenta a partir de la actividad de maniobra de acercamiento.

Tabla 8

Maniobra de acercamiento

Proceso: Inicio de la maniobra de acercamiento			
Subsistema: Remolque (*cuando aplica)			
Componentes	Modos de fallo	Efecto potencial de la falla	Nivel del riesgo
Remolcador	No arrastra o empuja	No hay acercamiento de la gabarra al buque	Aceptable
Subsistema: Sistema de propulsión			
Hélices azimutales	Golpes	Alteración en la navegación	Tolerable
	Ruptura	Alteración en la navegación	Tolerable
Motores	Corrosión y acumulación de partículas	Daño general del motor a largo plazo	Aceptable
	Vibración	Daños en otros elementos del motor; generación de ruido excesivo	Aceptable
	Ruido excesivo	Incidencia en la salud del personal	Aceptable
	Fuga de aceite	Lubrica el sitio peligrosamente para el personal; posible incendio	Intolerable
	Fuga de combustible	Posible incendio y paro del sistema	Intolerable
	Temperatura elevada	Daño general del motor a corto plazo	Tolerable
Alternadores	Voltaje o corriente fuera de rango normal	Daño en los equipos electrónicos del sistema	Tolerable
	Vibración	Daños en otros elementos del alternador; generación de ruido	Aceptable

	Ruido excesivo	Incidencia en la salud del personal	Aceptable
Subsistema: Sistemas de comunicación y posicionamiento			
Radios	No enciende	No se produce comunicación entre la gabarra y el buque, no se inicia el acercamiento	Tolerable
	No recibe y/o transmite	No se produce comunicación entre la gabarra y el buque, no se inicia el acercamiento	Tolerable
Radares	No enciende	No hay detección de objetos estáticos y móviles	Tolerable
	No detecta otras embarcaciones	No hay información de la distancia, latitudes y velocidad del buque	Tolerable
	No rastrea tormentas	Debe permanecer en el puerto	Aceptable

Fuente: elaboración propia

Tabla 9

Documentación previa

Proceso: Entrega de documentos previos			
Subsistema: Documentación de la gabarra			
Componentes	Modos de fallo	Efecto potencial de la falla	Nivel del riesgo
Documentación sobre el combustible	No hay entrega; documento incompleto	No puede continuar la operación de bunkering	Aceptable
Check list de la gabarra	No hay entrega; documento incompleto	No puede continuar la operación de bunkering	Aceptable

Subsistema: Documentación del buque					
Información del buque	del	No hay entrega;	documentos incompletos	No puede continuar la operación de bunkering	Acceptable
Check list del buque		No hay entrega;	documentos incompletos	No puede continuar la operación de bunkering	Acceptable

Fuente: elaboración propia

Tabla 10

Acople de mangueras

Proceso: Acople de mangueras gabarra-buque				
Subsistema: Sistema de descarga de la gabarra				
Componentes	Modos de fallo		Efecto potencial de la falla	Nivel del riesgo
Mangueras	Agujeros		Fuga de combustible y peligro de incendio	Intolerable
	Abolladuras		Posible obstrucción del combustible	Acceptable
Grúas	Daños físicos		No hay izado de las mangueras; no se puede iniciar la carga de combustible	Acceptable
Subsistema: Sistema de carga del buque				
Manifolds del buque	Golpes		Imposibilidad de acople de manguera	Tolerable
	Corrosión		Contaminación del combustible	Acceptable

Fuente: elaboración propia

Tabla 11

Bombeo de combustible

Proceso: Inicio de bombeo de combustible			
Subsistema: Bombeo de combustible			
Componentes	Modos de fallo	Efecto potencial de la falla	Nivel del riesgo
Válvulas manuales y tuberías	Golpes	Obstrucción del combustible; aumento de la presión	Tolerable
	Corrosión	Contaminación del combustible	Aceptable
Bombas de tanques	No bombea	No hay descarga desde la gabarra	Aceptable
	Golpes y rotura	Fuga de combustible y peligro de incendio	Intolerable
	Corrosión	Daño general de la bomba a largo plazo	Aceptable
	No sube la presión	No se carga el buque; se incrementa el tiempo estimado de la carga	Tolerable
	Ruido excesivo	Incidencia en la salud del personal	Aceptable
Botonera de bombas	Daños eléctricos	No hay control de las bombas	Tolerable
Subsistema: Sistema contra incendios			
Detectores de incendio y de calor	No hay luz piloto	No detecta incendio	Tolerable
	Sucio	Obstrucción de sensores	Aceptable
Pulsadores	Daños físicos o eléctricos	No se genera alarma de incendio	Tolerable

Equipos contraincendios	Roturas	Pérdidas en la funcionalidad	Tolerable
	Abolladuras	Pérdidas en la funcionalidad	Tolerable
	Vacío	No extingue incendios	Intolerable
Subsistema: Sistema de seguridad y salvamento			
Medios de salvamento al agua	Roturas	Pérdidas en la funcionalidad	Tolerable
	Abolladuras	Pérdidas en la funcionalidad	Tolerable
Radiobaliza 406 MHz	Descargado	No emite señal de localización	Aceptable
	No transmite	No hay señal de localización	Aceptable
Radios portátiles	Descargado	No habrá comunicación en caso de emergencia o accidente	Tolerable
	No transmite y/o recibe	No habrá comunicación en caso de emergencia o accidente	Tolerable
Radar transpondedor	Descargado	No responderá el barrido de un radar	Aceptable
	No detecta y/o no responde	No responderá el barrido de un radar	Aceptable

Fuente: elaboración propia

Tabla 12

Carga continua de combustible

Proceso: Carga continua de combustible al buque			
Subsistema: Transferencia de combustible entre tanques			
Componentes	Modos de fallo	Efecto potencial de la falla	Nivel del riesgo

Pasamamparos	Daños físicos	Imposibilidad de comunicación entre tanques	Acceptable
Subsistema: Medición o conteo de combustible cargado			
Contadores de suministro	Daños físicos	No hay conteo del combustible suministrado	Acceptable

Fuente: elaboración propia

Tabla 13

Toma de muestras del combustible suministrado

Proceso: Toma de muestras			
Subsistema: Sistema de toma de muestras de combustible suministrado			
Componentes	Modos de fallo	Efecto potencial de la falla	Nivel del riesgo
Recipientes	Roturas y/o abolladuras	Derrame y pérdida de la muestra	Acceptable
	Sucio o con partículas extrañas	Contaminación de la muestra	Acceptable

Fuente: elaboración propia

En lo que se refiere a los procesos de disminución de la presión de bombeo y pare, y la desconexión y recogida de las mangueras, hay posibles riesgos potenciales, pero han sido considerados en los procesos previos, dado que los componentes que intervienen son las bombas, botonera de bombas, válvulas, tuberías, mangueras, grúas y manifold del buque.

Tabla 14

Entrega de documentación final y muestras

Proceso: Entrega de documentación final y muestras del combustible suministrado			
Subsistema: Entrega de documentación final al buque			
Componentes	Modos de fallo	Efecto potencial de la falla	Nivel del riesgo
Documentación final	No hay entrega al buque	No hay cierre de las operaciones	Aceptable
	Documento incompleto	No hay cierre de las operaciones	Aceptable
	Información errónea	Demandas legales futuras	Aceptable
Subsistema: Entrega de muestras al buque			
Recipientes con las muestras	Tapas flojas	Derrame y pérdida de la muestra	Aceptable
	Etiquetas ilegibles	No se identifica la muestra	Aceptable

Fuente: elaboración propia

Tabla 15

Fin de las operaciones

Proceso: Fin de las operaciones de bunkering			
Subsistema: Reporte del procedimiento de carga de combustible surtido			
Componentes	Modos de fallo	Efecto potencial de la falla	Nivel del riesgo
Libro de hidrocarburos	No se escribe el libro	Problemas de inventario y de RRHH	Aceptable
	Reporte incompleto	Problemas logísticos y de RRHH	Aceptable
	Información errónea	Problemas de inventario y de RRHH	Aceptable
Subsistema: Alejamiento de la gabarra y posible retorno al puerto			
Gabarra	No navega	Posible choque con el buque	Intolerable

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

A partir de los resultados conseguidos en el estudio, se formulan las conclusiones sobre el análisis de riesgo en las operaciones de carga de combustible gabarra-buque aplicando la técnica de análisis de modos de fallo y efectos, las cuales responden las cuestiones planteadas, es decir, cómo es y cuáles son las características del mismo.

Antes de nada, hay que comenzar con el primer objetivo de investigación, el cual buscó caracterizar los sistemas de operación de bunkering; acá se concluye que estos sistemas poseen características únicas y también comunes con otras operaciones de carga de combustible en buques, estas últimas tienen que ver con los aspectos comerciales, tipo y calidad de los combustibles, toma de muestras, protocolos de comunicación, sistemas de seguridad, maquinarias y equipos, entre otras. Pero, como características únicas del bunkering, esta operación promueve muchas ventajas económicas, logísticas y de tiempo para el buque, pues el mismo no requiere llegar al puerto para abastecerse de combustible, ni modificar su ruta de navegación; además, las técnicas de análisis de riesgos y protocolos de seguridad minimizan los peligros de seguridad para el personal, para la propia embarcación y para el medio ambiente marino.

Seguidamente, sobre el objetivo de investigación que pretendía identificar los componentes de los sistemas utilizados en la operación de bunkering, se concluye que el análisis de modos de fallo y efectos es una técnica, que, entre muchos aportes, ofrece un excelente modo de realizar dicha identificación, el enfoque se centra en categorizar los componentes de los sistemas y subsistemas, en componentes estáticos o pasivos, y componentes activos; de tal manera que, la operación de check list sea más fácil y también simplificar la determinación de los modos de fallo, las consecuencias y los niveles de riesgo. Principalmente, los componentes estáticos se refieren a las máquinas no rotativas y equipos fijos como, válvulas manuales, pasamamparos, tuberías, mangueras, medios de salvamento, tanques y recipientes de combustible, otros, y equipos y aparatos eléctricos pasivos como, panel de control o botonera de bombas y pulsadores contraincendios. En cuanto a los componentes activos, son las máquinas rotativas como, motores, alternadores, bombas, contadores de suministro, otros, y los equipos y aparatos electrónicos activos, como, radares, radios, detectores de incendio, etc.

En lo que se refiere al tercer objetivo de investigación, al definir los posibles modos de fallo de los sistemas de bunkering, se concluye que, de acuerdo a los procedimientos del FMEA el sistema de operaciones se describe en un conjunto de diez procesos clave para lograr el

bunkering de manera exitosa; dichos procesos son: (1) inicio de la maniobra de acercamiento, (2) entrega de documentación previa al buque, (3) acople de mangueras gabarra-buque, (4) inicio de bombeo de combustible, (5) carga continua de combustible al buque, (6) toma de muestras de combustible, (7) disminución de la presión de bombeo y pare, (8) desconexión y recogida de las mangueras, (9) entrega de documentación final y muestras, (10) fin de las operaciones de bunkering. En estos diez procesos existen un conjunto de subsistemas de bunkering y cada uno de ellos posee grupos de componentes pasivos y activos, ya identificados anteriormente, tal que, de acuerdo a las funcionalidades de cada proceso y las consideraciones de probabilidad de falla de cada componente, se definen todos y cada uno de los modos de fallo. Estos se resumen en daños físicos, como, corrosión, abolladuras, roturas, golpes, vibración, ruidos, fugas de combustible y aceite, otros; daños eléctricos, como, falta de carga eléctrica, problemas de encendido y funcionalidad en general, etc.

Ahora bien, al lograr el cuarto objetivo de investigación, se especificaron los posibles efectos originados por los modos de fallo de los sistemas de operación de bunkering, concluyendo que, según los procedimientos del FMEA, una vez que se han definido los modos de fallo de los diversos componentes del sistema, estos se evalúan para identificar las posibles consecuencias y la gravedad de las mismas, tal que, por ser un análisis cualitativo, esas especificaciones se hacen con categorías equivalente a niveles de valores representativos de la severidad de las fallas y de las consecuencias. Entre los efectos más comunes se tienen: pérdida parcial o total de la funcionalidad del componente, subsistema o sistema en general; obstrucción, derrame o contaminación del combustible; posibilidad de incendio; imposibilidad de establecer comunicación entre gabarra y buque, y entre el personal de la misma gabarra; y pérdida de la presión de bombeo de combustible.

Finalmente, sobre el último objetivo de investigación, donde se detectaron los riesgos de los sistemas de operación de bunkering aplicando el FMEA, cabe concluir que este procedimiento se realiza al mismo tiempo cuando se determinan los efectos de cada modo de fallo, pues se usa el criterio de los expertos de operaciones y elaboración del análisis de riesgos. Los riesgos se categorizan en niveles de severidad o gravedad, criterios que se establecen previamente al inicio del FMEA, donde se recomienda que sean simples y bien definidos, tal que, cada efecto de falla sea ubicado en la categoría que mejor encaje, por ejemplo, riesgo bajo, medio, o alto; riesgo aceptable, tolerable, o intolerable; riesgo menor, moderado, o extremo; etc.

Una vez formulado el FMEA de las operaciones de bunkering, el equipo de trabajo, por lo general dos expertos, elaboran una serie de recomendaciones sobre acciones preventivas, correctivas o de mejora, de forma precisa por cada uno de los modos de fallo y efectos definidos en el informe final.

Referencias bibliográficas

Alfonso, I. (2018). *Operaciones de bunkering: B/T Spabunker Sesentayuno*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Recuperado de: <https://riull.ul.es/xmlui/handle/915/9220>

Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Sexta Edición. Editorial Episteme. Caracas

Calvo, J. (2015). *Análisis comparativo de metodologías de evaluación de riesgos*. Trabajo de Grado de Maestría. Universidad de Zaragoza. Facultad de Derecho. Recuperado de: <https://zagan.unizar.es/record/46990/files/TAZ-TFM-2015-1145.pdf>

Camarero, Alberto, López, C., Camarero, Alfonso y González, N. (2011). Los servicios de bunkering en los puertos. *Revista de Obras Públicas*. N° 3519, pp. 31-40. Recuperado de: http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2011/2011_marzo_3519_03.pdf

De Larrucea, J. R. (22 de enero 2015). *Hacia teoría general de la seguridad marítima*. Discurso de ingreso en la Real Academia de Doctores. Recuperado de: <https://raed.academy/wp-content/uploads/2015/02/Discurso-Dr.-Rodrigo.pdf>

International Marine Contractors Association, IMCA (2016). *Guidance on Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)*. IMCA M 166 Rev. 1. Recuperado de: <https://www.imca-int.com/publications/179/guidance-on-failure-modes-and-effects-analysis-fmea/>

International Maritime Organization (5 de Abril 2002). *Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process*. MSC/Circ.1023. MEPC/Circ.392. London. Recuperado de:

<http://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/VisionPrinciplesGoals/Documents/1023-MEPC392.pdf>

International Naval Surveys Bureau [INSB] (4 de Mayo 2010). *Guide for Risk Assessment*. ISM – ISPS Systems Dpt. Recuperado de: [https://www.insb.gr/sites/default/files/INSB-Guide for Risk Assessment.pdf](https://www.insb.gr/sites/default/files/INSB-Guide%20for%20Risk%20Assessment.pdf)

Méndez Suárez, Ch. (2015). *Bunkering*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de La Laguna. Recuperado de: <https://docplayer.es/72151710-Trabajo-fin-de-grado-curso-bunkering-tutor-antonio-j-poleo-mora-alumna-cheyenne-mendez-suarez-grado-nautica-y-transporte-maritimo.html>

Quintana, D. (2019). *Operaciones de bunkering: B/T Petrobay*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Recuperado de: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5939/OPERACIONES%20DE%20BUNKERING%20EN%20EL%20BT%20PETROPORT.pdf;jsessionid=2066ED7AAC645F0AE220CAB009A21ADF?sequence=1>

Romero Faz, D. (2017). *Metodología para la evaluación del riesgo en instalaciones portuarias*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Recuperado de: http://oa.upm.es/48680/1/David_Romero_Faz.pdf

Rubio Romero, J. (2000). *Gestión de la prevención y evaluación de riesgos laborales. Implantación en la industria de Málaga*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Recuperado de: <http://www.biblioteca.uma.es/bbl/doc/tesisuma/16283247.pdf>

Salazar, J. (2018). *Operaciones de bunkering en el Estrecho de Gibraltar – Gibunker 100*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Recuperado de: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/13422/OPERACIONES%20DE%20BUNKERING%20EN%20EL%20ESTRECHO%20DE%20GIBRALTAR%20BF%20GIBUNKER%20100%20.pdf?sequence=1>

Latitude:

Multidisciplinary
Research Journal

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y EFECTOS EN LA
EVALUACIÓN DE RIESGOS APLICADO A LOS SISTEMAS
EMPLEADOS EN BUNKERING

ANALYSIS OF FAILURE MODES EFFECTS IN THE
EVALUATION OF RISKS APPLIED TO THE SYSTEMS USED IN
BUNKERING

Volumen 2, número 16, 2022, julio-diciembre

Salazar López, B. (2019, noviembre 1). Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF). *Ingeniería Industrial Online*. Recuperado el 30 de marzo de 2020 de:
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>