



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

*Estudio y Simulación de la Evacuación de un Buque*

### **Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNO:** Ignacio Rivera Dodero

**DIRECTORES:** Roberto Bellas Rivera

Javier Martínez Torres

**CURSO ACADÉMICO:** 2017-2018

Universida<sub>de</sub>Vigo





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*Estudio y Simulación de la Evacuación de un Buque*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Cuerpo General

Universida<sub>de</sub>Vigo



## **RESUMEN**

La seguridad de las vidas humanas en la mar es primordial a la hora de diseñar un buque y adiestrar a la tripulación. El rápido crecimiento de las tecnologías, sirve, en gran medida, para realizar estudios y simulaciones sobre la evacuación de edificios y buques, consiguiendo así unas instalaciones más seguras con una optimización de costes.

El presente Trabajo de Fin de Grado pretende realizar una simulación de evacuación en el buque anfibia y portaerones Juan Carlos I, que tiene una alta capacidad de personal, tanto de dotación como de tropas embarcadas.

En primer lugar, se estudiará la normativa internacional aplicable y el plan de evacuación existente. Posteriormente se elaborará un modelo del buque mediante un programa informático que permite delimitar las distintas estancias, pasillos, puertas y escalas a partir de la disposición general del buque. Con el mismo programa, se introducirán los datos relativos a la población del buque: grupos, comportamientos y velocidades. Con los datos introducidos se realizarán varias simulaciones de evacuación del personal. Tras la realización de las mismas, se estudiarán los resultados de manera estadística para adquirir una perspectiva completa de los datos obtenidos.

Por último, se han extraído unas conclusiones sobre la importancia del estudio de la normativa, su uso durante el diseño del buque y posteriormente, durante el adiestramiento del personal.

## **PALABRAS CLAVE**

Evacuación, Simulación, Naval Ship Code, Organización Marítima Internacional, Juan Carlos I.



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar me gustaría agradecer la guía y ayuda prestada de los tutores Roberto Bellas Rivera y Javier Martínez Torres, ya que sin su dedicación no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

También me gustaría agradecer la implicación del CF Touza Gil, ya que ha sido una persona clave para la obtención de la información necesaria para la realización del presente TFG.

Me gustaría mencionar a mis compañeros de promoción y amigos por su gran apoyo y por tener la paciencia necesaria a lo largo de todo este tiempo.

Finalmente, mencionar a toda mi familia por su apoyo incondicional y por estar siempre al pie del cañón en los momentos difíciles.





# CONTENIDO

Contenido .....	1
Índice de Figuras .....	3
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos .....	9
1.1 Introducción .....	9
1.2 Objetivos .....	10
1.3 Metodología .....	10
1.4 Disposición de la memoria.....	10
2 Estado del arte .....	13
2.1 La evacuación en buques .....	13
2.1.1 Evacuación de buques de pasaje.....	13
2.1.2 Evacuación del buque de guerra .....	16
2.2 Normativa.....	18
2.2.1 Convenio SOLAS .....	18
2.2.2 Normativa OMI mediante el Comité de Seguridad Marítima (MSC) .....	20
2.2.3 El Naval Ship Code .....	23
2.2.4 Doctrina de la Armada Española .....	26
2.3 Simulación del proceso de evacuación .....	28
2.3.1 Modelización de procesos de evacuación.....	28
2.3.2 Herramientas informáticas para el análisis de la evacuación .....	29
3 Desarrollo del TFG.....	31
3.1 Proceso de construcción del modelo .....	31
3.1.1 Cubiertas .....	32
3.1.2 Escalas y escaleras .....	32
3.1.3 Personal.....	33
3.1.4 Modelo final del buque .....	35
3.2 Simulación del abandono de buque del JCI.....	36
3.2.1 Casos simulados.....	37
3.2.2 Datos utilizados para la simulación .....	37
3.3 Estudio estadístico.....	38
3.3.1 Análisis descriptivo .....	38
3.3.2 Diagramas de caja.....	39
3.3.3 Test de distribución.....	40

4 Resultados .....	43
4.1 Simulación en Pathfinder .....	43
4.1.1 Caso 1 .....	43
4.1.2 Caso 2a.....	46
4.1.3 Caso 2b .....	47
4.1.4 Caso 3 .....	47
4.1.5 Caso 4a.....	48
4.1.6 Caso 4b .....	48
4.2 Análisis estadístico de los datos.....	49
4.2.1 Análisis descriptivo .....	49
4.2.2 Diagramas de cajas .....	50
4.2.3 Test de distribución.....	51
5 Conclusiones y líneas futuras .....	53
5.1 Conclusiones .....	53
5.2 Líneas futuras .....	54
6 Bibliografía.....	55
Anexo I: Planos del Juan Carlos I .....	57
Anexo II: Resultados simulación Pathfinder de colas y caminos .....	61
AII.1 Caso 1 .....	61
AII.2 Caso 2a .....	63
AII.3 Caso 2b .....	66
AII.4 Caso 3 .....	68
AII.5 Caso 4a .....	70
AII.6 Caso 4b .....	73
Anexo III: Glosario de términos y acrónimos .....	76

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Herald of Free Enterprise [3].	15
Figura 2-2 Costa Concordia [6].	16
Figura 2-3 Sewol refloatado [7].	16
Figura 2-4 HMS Sheffield tras ataque argentino [8].	17
Figura 2-5 USS Stark tras impacto de misiles [9].	18
Figura 2-6 USS Cole tras ataque terrorista [10].	18
Figura 2-7 Esquema de tiempos de la evacuación simplificada.	21
Figura 2-8 Esquema de tiempos de la evacuación perfeccionada.	23
Figura 3-1 Buque Juan Carlos I [24].	31
Figura 3-2 Ejemplo de cubierta del JCI realizado con Pathfinder.	32
Figura 3-3 Ejemplo de escaleras realizado en Pathfinder.	33
Figura 3-4 Edición de perfil de una población en Pathfinder.	34
Figura 3-5 Edición de la velocidad de los perfiles en Pathfinder.	34
Figura 3-6 Ejemplo de acciones en una conducta.	35
Figura 3-7 Modelado final del JCI en Pathfinder.	36
Figura 3-8 Ejemplo de rampa hinchable en buque militar australiano [25].	36
Figura 3-9 Puntos de reunión para abandono de buque en la cubierta 02 del JCI [26].	37
Figura 3-10 Esquema de tiempos realizado en la simulación.	38
Figura 3-11 Ejemplo de un diagrama de cajas.	40
Figura 4-1 Escala de colores de la formación de colas.	43
Figura 4-2 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 1).	44
Figura 4-3 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 1).	44
Figura 4-4 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 1).	44
Figura 4-5 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 1).	44
Figura 4-6 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 1).	45
Figura 4-7 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 1).	45
Figura 4-8 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 1).	45
Figura 4-9 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 1).	45
Figura 4-10 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 1).	46
Figura 4-11 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 1).	46
Figura 4-12 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 1).	46
Figura 4-13 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 1).	46
Figura 4-14 Diagrama de cajas de los 6 casos presentes en la simulación.	51
Figura 4-15 Histogramas del caso 1 al caso 2b.	52
Figura 4-16 Histogramas del caso 3 al caso 4b.	52

Figura A1-1 Planos desde Doble Fondo hasta Cubierta 4.....	58
Figura A1- 2 Planos desde Cubierta 3 hasta Cubierta 01.....	59
Figura A1- 3 Planos desde Cubierta 02 hasta Nivel 06.....	60
Figura A2-1 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 1).....	61
Figura A2-2 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 1).....	61
Figura A2-3 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 1).....	61
Figura A2-4 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 1).....	61
Figura A2-5 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 1).....	62
Figura A2-6 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 1).....	62
Figura A2-7 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 1).....	62
Figura A2-8 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 1).....	62
Figura A2-9 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 1).....	62
Figura A2-10 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 1).....	63
Figura A2-11 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 1).....	63
Figura A2-12 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 1).....	63
Figura A2-13 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 2a).....	63
Figura A2-14 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 2a).....	63
Figura A2-15 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 2a).....	64
Figura A2-16 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 2a).....	64
Figura A2-17 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 2a).....	64
Figura A2-18 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 2a).....	64
Figura A2-19 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 2a).....	64
Figura A2-20 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 2a).....	65
Figura A2-21 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 2a).....	65
Figura A2-22 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 2a).....	65
Figura A2-23 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 2a).....	65
Figura A2-24 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 2a).....	65
Figura A2-25 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 2b).....	66
Figura A2-26 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 2b).....	66
Figura A2-27 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 2b).....	66
Figura A2-28 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 2b).....	66
Figura A2-29 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 2b).....	66
Figura A2-30 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 2b).....	67
Figura A2-31 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 2b).....	67
Figura A2-32 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 2b).....	67
Figura A2-33 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 2b).....	67

Figura A2-34 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 2b).....	67
Figura A2-35 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 2b).....	68
Figura A2-36 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 2b).....	68
Figura A2-37 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 3).....	68
Figura A2-38 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 3).....	68
Figura A2-39 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 3).....	68
Figura A2-40 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 3).....	69
Figura A2-41 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 3).....	69
Figura A2-42 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 3).....	69
Figura A2-43 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 3).....	69
Figura A2-44 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 3).....	69
Figura A2-45 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 3).....	70
Figura A2-46 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 3).....	70
Figura A2-47 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 3).....	70
Figura A2-48 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 3).....	70
Figura A2-49 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 4a).....	70
Figura A2-50 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 4a).....	71
Figura A2-51 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 4a).....	71
Figura A2-52 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 4a).....	71
Figura A2-53 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 4a).....	71
Figura A2-54 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 4a).....	71
Figura A2-55 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 4a).....	72
Figura A2-56 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 4a).....	72
Figura A2-57 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 4a).....	72
Figura A2-58 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 4a).....	72
Figura A2-59 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 4a).....	72
Figura A2-60 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 4a).....	73
Figura A2-61 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 4b).....	73
Figura A2-62 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 4b).....	73
Figura A2-63 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 4b).....	73
Figura A2-64 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 4b).....	73
Figura A2-65 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 4b).....	74
Figura A2-66 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 4b).....	74
Figura A2-67 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 4b).....	74
Figura A2-68 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 4b).....	74
Figura A2-69 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 4b).....	74

Figura A2-70 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 4b).....75  
Figura A2-71 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 4b).....75  
Figura A2-72 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 4b).....75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Factores que han afectado al éxito (verde) o fracaso (rojo) de 15 evacuaciones marítimas según J.M. Chertkoff [2]. .....	14
Tabla 2-2 Capítulos en los que se divide el NSC [1]. .....	24
Tabla 2-3 Categorías de personas que pueden llegar a embarcar en un buque de guerra según el NSC [1].....	25
Tabla 3-1 Parámetros de velocidades según sexo y cuerpos para la simulación.....	37
Tabla 4-1 Datos estadísticos de los casos 1 a 2b .....	49
Tabla 4-2 Datos estadísticos de los casos 3 a 4b .....	50





# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 Introducción

“Bien chicos, procurad lo mejor para las mujeres y niños, y sálvese quien pueda”. Estas fueron las últimas palabras del Capitán Edward Smith, pocos minutos antes de que el transatlántico Titanic se hundiese en las gélidas aguas del Atlántico Norte. En este accidente perecieron una enorme cantidad de personas debido a una pobre preparación tanto del barco como de las personas en el abandono del buque. Lamentablemente el caso del Titanic no ha sido el único y a pesar de las nuevas tecnologías y normativas existentes, siguen apareciendo nuevos casos en los que el abandono del buque resulta un fracaso.

A raíz del hundimiento del Titanic se elaboró en 1914 una legislación de carácter internacional conocida como Convenio SOLAS (*Safety Of Life At Sea*) que elaboraba una serie de propuestas para garantizar la seguridad de la vida en la mar. El Convenio SOLAS fue convocado en un total de 5 ocasiones (1914, 1929, 1948, 1960 y 1974) para aumentar todavía más la seguridad de las personas.

Con la creación de la OMI (Organización Marítima Internacional) se mantuvieron las normas y se desarrollaron otras nuevas que aumentaban la seguridad en la navegación, pero fue con la creación de la circular 1033 de la MSC (Comité de Seguridad Marítima) y sus posteriores actualizaciones, la circular 1238 y la 1533, con las que se crearon las bases para mejorar en gran medida la seguridad de los buques durante su período de construcción o bien, durante la revisión de los mismos.

En el caso de los buques militares, no están obligados a seguir las normas establecidas por la OMI, sin embargo, se vio necesaria la realización de una normativa de carácter voluntario por parte de las distintas Armadas para garantizar la seguridad de las personas integradas en las dotaciones de los buques de guerra, así como de aquellas personas que no formasen parte de la tripulación pero que estén embarcadas. Esta necesidad desembocó en la creación de la NSC (*Naval Ship Code*) que prácticamente se basa en la adaptación de la OMI en los barcos militares en todo aquello que sea posible.

Finalmente, hay que tener en cuenta que cada Armada dispone de una doctrina propia para la elaboración del Plan de Abandono del buque. En el caso de la Armada Española, esta doctrina se encuentra en la D-CP-09 (Doctrina de Control de Plataforma). En esta publicación se cuenta paso a paso la elaboración del Plan de Abandono del buque, y los distintos modos de ejecutarlo. Además en la D-CP-09 explica también las directrices individuales de la tripulación en el caso de que ocurra una emergencia y se tenga que abandonar el buque.

Una vez tenido en cuenta todos estos aspectos, gracias a la información proporcionada por el buque JCI (Juan Carlos I) y publicaciones de la Armada, se ha desarrollado un modelo del barco con su personal a través de la herramienta Pathfinder, para lograr las simulaciones del abandono de buque

siguiendo los casos del NSC. Tras la realización de las mismas, el presente Trabajo Fin de Grado pretende estudiar los puntos de saturación y de formación de colas, así como los tiempos necesarios para la evacuación del mismo, consiguiendo así dar un tiempo de evacuación con un alto porcentaje de seguridad.

## **1.2 Objetivos**

Este Trabajo de Fin de Grado tiene por objetivos el modelado y simulación, para su posterior estudio, del buque insignia de la Armada Española, el Juan Carlos I. Para ello se ha realizado un modelo del buque, en el que se implementan las cubiertas, obviando los mamparos verticales y se detallan los compartimentos, puertas, pasillos y escalas, tomando como información la disposición general del buque en formato PDF, obtenido mediante el sistema Galia de la Armada.

Una vez realizadas las simulaciones pertinentes, se procederá al estudio de los valores de tiempos obtenidos así como de los tramos en los que se producen las colas. Tras esto, se pretende mediante el uso de la herramienta Matlab, concluir el estudio de tiempos con un pronóstico del tiempo en el que debería ser realizado el abandono con un alto porcentaje de seguridad, además de observar si existe una distribución normal, o no, en la evacuación de los 6 casos de estudio. En caso de que se observara una solución para reducir la concentración de la población en las colas observadas, se aportará.

Además, este trabajo, cumple una de las líneas futuras, elaboradas en el Trabajo de Fin de Grado del actual A.N. Don Cosme Vázquez Tomé.

## **1.3 Metodología**

Para realizar las distintas simulaciones, ha sido necesario observar el plan de abandono de buque del buque Juan Carlos I, para así, establecer los puntos de reunión, el personal que pertenece a cada punto y por tanto a cada estación de abandono de buque, y las rutas de evacuación desde dichos puntos de reunión.

Debido a que el buque corresponde a un barco militar, se ha seguido la normativa correspondiente al NSC, en el cual se establecen 6 casos a tener en cuenta. También se ha tenido en cuenta que dependiendo de la situación en la que se encuentre el buque, los tiempos de respuesta son distintos y que el Equipo de Control y Salvamento debe ser el último en abandonar el buque realizando acciones de destrucción o inutilización de equipos, y de rescate si hiciese falta.

En la simulación intervienen un total de 1119 personas entre la dotación del buque y la Fuerza de Desembarco, a los cuales se han dividido, a su vez, entre hombres y mujeres y se les ha proporcionado unas características distintas, mediante datos obtenidos por la Armada. Se han parametrizado los perfiles de la población, que simula tanto la dotación como la Fuerza de Desembarco, y las conductas de estos para simular de la manera más realista posible la evacuación.

## **1.4 Disposición de la memoria.**

La memoria se ha estructurado en un total de cinco apartados que engloban la totalidad del trabajo. Tras una breve introducción al tema, aclaración de los objetivos marcados y explicación de la metodología a seguir, se ha desarrollado en el apartado “Estado del arte” una explicación de los accidentes ocurridos recientemente. Tras estos, se ha estudiado la normativa que siguen los buques en la actualidad tanto civiles como militares, haciendo hincapié en los últimos debido al objeto del TFG. Finalmente, en este capítulo se introducen los distintos programas de simulación entre los cuales se destaca Pathfinder, por ser el utilizado en el diseño del buque.

Posteriormente en el capítulo 3, Desarrollo del TFG, se ha explicado los pasos a seguir para la elaboración del modelo del buque, así como los datos introducidos en la simulación para asemejarla lo

más posible a la realidad. Siguiendo a esto, se ha detallado la manera con la que se ha estudiado la información obtenida a través de las simulaciones mediante la herramienta Matlab para así llegar a unos resultados en el cuarto capítulo y unas conclusiones finales en el último apartado.



## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 La evacuación en buques

Durante una navegación, pueden ocurrir distintas situaciones, tales como un incendio, una inundación o un corrimiento de carga, que impliquen una evacuación del buque y en algunos casos es necesario un estudio exhaustivo para conseguir proteger en su totalidad la vida de aquellos que se encuentran dentro. Dentro del amplio abanico de buques, es interesante estudiar la evacuación en los buques de pasaje por la cantidad de vidas humanas que se encuentran en su interior, y los buques de guerra por sus constantes situaciones de peligro para el buque y su dotación.

#### 2.1.1 Evacuación de buques de pasaje

En cuanto a tipos de buques más afectados por una evacuación, evidentemente son los grandes cruceros de pasaje, que llegan a alojar en su interior 6000 personas, entre tripulación y pasajeros, siendo éstos la mayor fuente de problemas, ya que debido a la duración de los viajes (una o dos semanas) no están suficientemente familiarizados con el buque. Es por ello, por lo que han despertado un gran interés en el estudio de la evacuación.

En 1999 J.M. Chertkoff y R.H. Kushigian [1] tras estudiar una serie de evacuaciones en instalaciones, principalmente terrestres, se determinó que aquellos procesos de evacuación que terminaron con sucesos trágicos compartían unos factores similares, mientras que aquellos en los que los sucesos terminaron con cierta normalidad carecían de dichos factores. Estos factores son:

1. Obstrucción en los pasillos.
2. Gran número de ocupantes.
3. Escaso conocimiento de las rutas de escape.
4. Escaso adiestramiento.
5. Excesiva apreciación de la importancia de la emergencia.
6. Excesiva percepción de la falta de tiempo.
7. Excesivo uso de la salida principal.
8. Escaso liderazgo.
9. Alta densidad de ocupación.
10. Congestión al otro lado de las salidas.

Con estos factores, J.M. Chertkoff realizó un estudio sobre 15 casos de evacuaciones en un buque en los cuales, 12 acabaron en tragedia mientras que 4 transcurrieron con normalidad.

**Tabla 2-1 Factores que han afectado al éxito (verde) o fracaso (rojo) de 15 evacuaciones marítimas según J.M. Chertkoff [2].**

BUQUE	AÑO	LUGAR	CAUSA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lady Elgin	1860	Lago Michigan	Colisión		X	X		X	X	X	X		
Sultana	1865	Río Mississippi	Explosión	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Princess Alice	1878	Río Támesis	Colisión	X	X	X		X	X	X	X	X	
General Slocum	1904	Río del Este	Fuego	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Titanic	1912	Atlántico Norte	Colisión	X	X		X	X	X	X	X		X
Empress of Ireland	1914	Río Lorenzo	Colisión	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Estland	1914	Río Chicago	Zozobra	X	X		X		X	X	X		X
Lusitania	1915	Atlántico Norte	Torpedo	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Morro Castle	1934	Atlántico Norte	Fuego	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Noronic	1949	Toronto	Fuego	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Yarmouth Castle	1965	Mar Caribe	Fuego	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Republic	1909	Atlántico Norte	Colisión	X	X		X	X					
Andrea Doria	1956	Atlántico Norte	Colisión	X	X	X		X	X				
Viking Princess	1966	Mar Caribe	Fuego	X	X								
Prinsendam	1980	Golfo Alaska	Fuego	X	X				X				

A pesar de que el problema de la evacuación se ha estudiado ampliamente en edificios de altura, en un buque existen factores de gran importancia que no son de especial relevancia en la evacuación de los edificios: [2]

- Velocidad de hundimiento del buque.
- Condiciones meteorológicas.
- Comunicación con los medios de rescate.
- Tiempo hasta la llegada de los medios de rescate.
- Conocimientos y capacidad de supervivencia en la mar.

Estos factores muestran que no solo es necesario la evacuación en un buque sino que también es necesaria una correcta instrucción y comunicación tras el abandono del mismo.

### *2.1.1.1 Principales catástrofes*

A lo largo de la historia han sido muchos los buques que han sufrido una catástrofe, siendo seguramente el Titanic el más famoso de ellos. Aun así, las siguientes catástrofes que se van a analizar corresponden a una época más actual en la cual ya existía una normativa exigente que dificultaba en gran medida el suceso de tragedias.

El primer caso a analizar es el del Herald of Free Enterprise [2]. El 6 de marzo de 1987 salió del puerto de Zeebrugge con destino a Dover, llevando a 539 personas y 131 vehículos. A pesar de que el

buque cumplía con la normativa, la negligencia del personal provocó que uno de los portones del buque, el de proa, se quedara abierto y por tanto acabara inundándose en un tiempo aproximado de 3 minutos provocando la pérdida total del buque y de la vida de 193 personas.



**Figura 2-1 Herald of Free Enterprise [3].**

En 2012 el Costa Concordia, que cumplía también con la normativa vigente, encalló cerca de la costa de las Islas Giglio. Tras el accidente del buque perecieron 32 personas a pesar de la cercanía a costa [4]. Tratándose de un buque tan moderno, y produciéndose el naufragio tan cerca de costa, se pone de manifiesto que la evacuación no se produjo eficientemente. Cabe destacar, que desde que se produjo la brecha, hasta que se dio el informativo de emergencia general, pasaron un total de 50 minutos, tiempo durante el cual sólo se informaba de que existía una avería eléctrica. Sólo 9 minutos después, se dio la orden de abandono de buque, cuando todavía faltaban bastantes pasajeros por llegar a los puntos de reunión. [5] El Costa Concordia acaba teniendo una escora de prácticamente 90 grados, la cual dificulta en gran medida el proceso de abandono de buque. Además, el tiempo de la evacuación se eleva a aproximadamente unas 6 horas, siendo este tiempo mucho mayor al establecido por la IMO MSC 1238 que es de un máximo de 110 minutos, de los cuales corresponderían hasta un máximo de 80 minutos para la llegada al punto de reunión y un máximo de 30 minutos para el abandono del buque desde el punto de reunión



Figura 2-2 Costa Concordia [6].

Como último caso de ejemplo, el 16 de abril de 2014, en una navegación entre Incheon y Jedu, el Sewol, un buque surcoreano, naufragó provocando la pérdida de 300 personas. Aunque la causa se desconoce con exactitud, la tragedia se achaca a un exceso de carga, aproximadamente 3608 toneladas siendo un valor muy por encima del permitido [4]. Aun así, la pérdida de vidas podría haberse evitado si el comandante del Sewol hubiese realizado un abandono de buque eficiente además de abandonar el buque sin asegurar el salvamento de bastantes pasajeros.

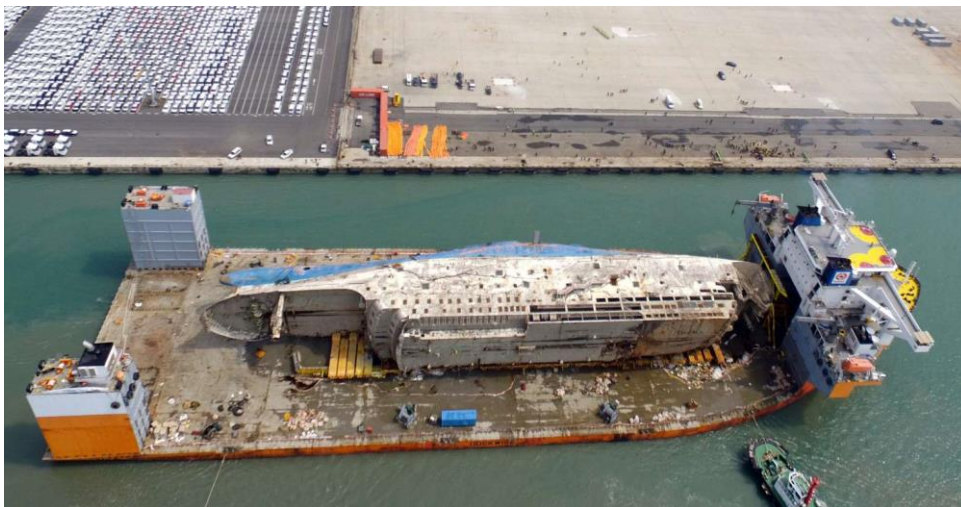


Figura 2-3 Sewol reflotado [7].

### 2.1.2 Evacuación del buque de guerra

Aunque en un buque de guerra el personal sea mucho menor, por norma general, al de un buque de pasaje, las situaciones de peligro a las que se enfrenta son mucho mayores y es por ello, por lo que la tripulación debe estar perfectamente instruida en el abandono de buque. Además, la tripulación no sólo debe estar instruida en el abandono, sino que también debe ser capaz de reparar las averías causadas por una colisión o por un acto de una fuerza enemiga con el fin de descartar la opción de abandono de buque hasta que no haya otra opción.

En un buque de guerra la orden de abandono de buque es exclusiva del Comandante tras estudiar la situación del barco y aceptar que ya no hay posibilidad de restablecer las capacidades del mismo a



través de los grupos de seguridad interior y es por ello, por lo que el abandono de buque es la última opción. La importancia que se le da a los temas de seguridad y evacuación es creciente en las misiones militares. De esta forma, la seguridad en los buques de la Armada ha adquirido gran importancia y como consecuencia, se realiza la instrucción y adiestramiento adecuado para salvaguardar la vida de sus tripulaciones. Según el Capitán de Navío de la Royal Navy S. Taylor [1], existen otros factores que conciernen a las marinas actuales y que consiguen que la seguridad de las dotaciones cobren mayor importancia. Estos factores principalmente son:

- Sistemas tecnológicamente complejos que implican una gran inversión en las dotaciones para su buen uso y mantenimiento.
- La reducción de las dotaciones es cada vez más importante para la elaboración de los nuevos buques de guerra debido a que cada vez se complica más la captación de las dotaciones.
- Es necesario dar a conocer públicamente que se han llevado a cabo todas las acciones posibles para asegurar la vida de los militares que operan fuera de su país.

### 2.1.2.1 Principales catástrofes en buques de guerra

Aunque las principales catástrofes de buques de guerra se pueden encontrar en las batallas navales disputadas a inicios y mediados del siglo XX, en este apartado, se mostrarán ejemplo más recientes para dejar ver que siempre es posible que ocurra una incidencia y más aún en un buque de guerra.

El 4 de mayo de 1982, durante la Guerra de las Malvinas, la fragata británica HMS Sheffield se encontraba en una condición de combate relajada debido a la numerosa aparición de falsos contactos. Finalmente 2 aviones argentinos detectan a la flota británica y lanzan 2 misiles Exocet de los cuales uno penetra en el HMS Sheffield, sin llegar a detonar, provocando un gran incendio debido al combustible del misil. Debido al incendio, que no pudo ser apagado, murieron 21 hombres [1] y el buque tuvo que ser abandonado, aunque de una forma controlada.



Figura 2-4 HMS Sheffield tras ataque argentino [8].

El 17 de mayo de 1987 durante la Primera Guerra del Golfo la fragata USS Stark fue atacada por un Dassault Mirage F1 iraquí con 2 misiles, de los cuales sólo uno de ellos explotó provocando la muerte de 37 marineros además de una gran escora y un incendio. A pesar de lo ocurrido, el buque no tuvo que ser abandonado debido a la rápida y eficaz actuación de la dotación, además del auxilio exterior recibido, que consiguió adrizar el buque y sofocar el incendio. Cabe destacar que en el momento del ataque, Estados Unidos (EEUU) no se encontraba en guerra con Irak y por tanto no se encontraban en situación de zafarrancho de combate.



**Figura 2-5 USS Stark tras impacto de misiles [9]**

Finalmente, como muestra de que estos incidentes suceden, el 12 de octubre de 2000, el USS Cole sufrió un ataque terrorista provocando la muerte de 39 marineros en aguas de Yemen. El buque no tuvo que ser abandonado pero sufrió grandes daños y tuvo que ser llevado de vuelta a EEUU sobre el buque sumergible MV Blue Merlin [1].



**Figura 2-6 USS Cole tras ataque terrorista [10]**

## **2.2 Normativa**

### *2.2.1 Convenio SOLAS*

Tras el famoso hundimiento del trasatlántico Titanic, buque de pasaje con 296 metros de eslora y 28 de manga, con 1317 pasajeros y 885 tripulantes, se creó en 1913 la primera Convención sobre la Seguridad de la vida en el mar en Londres, y posteriormente en 1914 se convirtió en el primer Convenio internacional para la seguridad de la vida en la mar conocido como SOLAS.

Tras dicha tragedia, el Convenio SOLAS pasó a ser el más importante sobre seguridad de la navegación marítima, y ha sido convocado en un total de 5 ocasiones.

### *2.2.1.1 Convenio de 1914*

A principios del siglo XX, hubo un auge en el transporte por mar debido al gran número de personas que emigraron de Europa a América debido a la Primera Guerra Mundial que provocó numerosos naufragios [2].

Tras el convenio de 1914, se introdujeron una serie de normas relativas a la seguridad de la vida humana en la mar, como seguridad en la navegación, construcción de los buques, obligación del uso de radiotelegrafía y medidas contra incendios entre otras [11]. La versión SOLAS de 1914, se estructura en setenta y cuatro artículos que se desarrollan a lo largo de ocho capítulos y una Regulación anexa que describe gran parte de los artículos. Aunque dicho Convenio pretendía entrar en vigor en julio de 1915, debido al estallido de la Gran Guerra, no pudo ser así. A pesar de esto, el Convenio de 1914 sentó las bases de las principales disposiciones adoptadas y desarrolladas a lo largo de los años.

### *2.2.1.2 Convenio de 1929*

En este convenio, además de acudir representantes de 18 países, se actualizan las normas de SOLAS 1914 y se añade un anexo sobre Reglamentación Internacional para la prevención de abordajes. Además, por primera vez, los buques de carga poseen normas que los privilegian [12].

### *2.2.1.3 Convenio de 1948*

Debido al progreso de la tecnología, el convenio de 1929 quedó desfasado y era necesario la actualización del mismo. Por ello en este nuevo convenio se mejoraron matices como el compartimentado estanco en buques de pasaje, normas de estabilidad, mantenimiento de servicios esenciales en caso de emergencia, protección de las escaleras principales mediante mamparos y troncos. El reglamento para prevenir abordajes en la mar fue revisado y se actualizaron los servicios de meteorología y de vigilancia de hielos [2].

### *2.2.1.4 Convenio de 1960*

En este convenio, que tuvo numerosas mejoras tecnológicas, asistieron un total de 55 países y fue la primera celebrada por la OMI con sede en Londres.

Muchas de las medidas de seguridad exclusivas a los buques de pasaje se extendieron también a los buques de carga, especialmente aquellas relacionadas con la fuente de energía eléctrica y alumbrado de emergencia. En cuanto a los dispositivos de salvamento, se llegó a tal punto que las balsas salvavidas podían en algunos casos sustituir a los botes salvavidas. También se revisaron reglas sobre el transporte de mercancías peligrosas y se redactaron primeras prescripciones sobre los buques nucleares [13].

El Convenio de 1960 tenía el objetivo de mantenerse actualizado a partir de enmiendas destacando las enmiendas de 1966, 1969 y 1973 que trataban sobre medidas especiales de seguridad contra incendios, especificaciones sobre roscos y chalecos salvavidas y dispositivos de salvamento respectivamente [2].

Este sistema de enmiendas había resultado satisfactorio en otros tratados internacionales debido a que contaban con un número de países relativamente pequeños. Para que una enmienda fuese aceptada, se debía tener la aprobación de dos tercios de los países miembros y tras 12 meses, estas entraban en vigor. Pero debido al alto número de países participantes en este convenio, las enmiendas tardaban bastante tiempo en convertirse en legislación internacional, lo que provocó que la OMI decidiera la introducción de un nuevo Convenio SOLAS [13].

### *2.2.1.5 Convenio 1974*

El Convenio de 1974 es el último en vigor y posiblemente siga siéndolo durante mucho tiempo debido al procedimiento de enmiendas que permite la actualización de este a lo largo de los años. Este sistema de enmiendas, a diferencia del de 1960, se basa en la hipótesis de que todos los países

miembros están a favor a menos que den a conocer sus objeciones tomando medidas para ello. El artículo VIII explica que las enmiendas de los capítulos II a VIII se considerarán aceptadas en un plazo de 2 años, a menos que sean rechazados por un tercio de los países miembros o por un número de países tal que representen el 50% del tonelaje bruto de la flota mercante mundial en un plazo especificado [13].

Cabe destacar que en este convenio no se discutió sobre la revisión del Reglamento de Abordajes debido a que unos años antes se tomó la decisión de que pasara a ser un documento internacional separado.

### *2.2.2 Normativa OMI mediante el Comité de Seguridad Marítima (MSC)*

En cuanto a la evacuación en buques de pasaje, la circular 1033 MSC “Directrices provisionales para el análisis de la evacuación de los buques de pasaje nuevos existentes” es la primera normativa completa sobre evacuación de buques, que ha sido actualizada con la circular 1238 [2] y posteriormente con la circular 1533. En esta circular hay dos posibles métodos distintos para dichas directrices provisionales con el objetivo de determinar y eliminar las congestiones que puedan producirse. Estas son el análisis simplificado de la evacuación y el análisis perfeccionado de la evacuación que se encuentran en el anexo 2 y en el anexo 3 respectivamente de la MSC 1533.

Antes de explicar los tipos de análisis, es necesario definir ciertos términos para así poder entender la normativa.

- Carga de personas: es el número de personas consideradas en los cálculos relativos al abandono.
- Tiempo de reacción (R): es el tiempo que transcurre hasta que la gente reacciona a la situación. Empieza en el momento que se avisa la emergencia y acaba cuando el individuo empieza a moverse para llegar a la estación de reunión.
- Tiempo de desplazamiento (T): este tiempo está definido como el que transcurre desde que las personas se empiezan a desplazar tras la alarma, hasta que llegan a las estaciones de reunión y de ahí a las estaciones de las embarcaciones.
- Tiempo de embarque (E) y tiempo de lanzado (L): ambos juntos implican el tiempo que dura el desembarco por parte de todas las personas.
- Tiempo de respuesta: trata de reflejar el tiempo perdido en los movimientos iniciales de la evacuación tras la alarma.
- Tiempo de desplazamiento individual: es el tiempo que tarda una persona en llegar a la estación de reunión desde su posición inicial.
- Tiempos de reunión individual: es la suma entre el tiempo de respuesta y el tiempo de desplazamiento individual.
- Tiempo total de reunión: es el tiempo de reunión individual máximo.

#### *2.2.2.1 Primer tipo de análisis de la evacuación*

Para realizar este tipo de análisis es necesario tener en cuenta una serie de hipótesis con las respuestas de las personas y con las condiciones del buque. Primeramente, se considerará que todas las personas empezarán la evacuación al mismo tiempo, y no se obstaculizarán entre ellos. Todos los pasajeros y la tripulación irán por las rutas de evacuación principales. La velocidad inicial, dependerá de la densidad de personas presentes en el buque y asumiendo que el flujo es únicamente por las rutas de evacuación. También se supondrá que todos los medios necesarios para la evacuación estarán disponibles. Las personas no tienen ningún tipo de desplazamiento y finalmente, se aplicará un factor de seguridad para el movimiento del buque, las características físicas de las personas y la visibilidad correspondiente debido a la emergencia que pueda surgir [14].

Además, se tendrán en cuenta cuatro casos para la evacuación del barco. Un primer caso (Caso 1) para evacuación de noche, un segundo (caso 2) para realizarla durante el día, y un tercer y cuarto caso (caso 3 y caso 4) para evacuaciones secundarias en la que los caminos son los más largos.

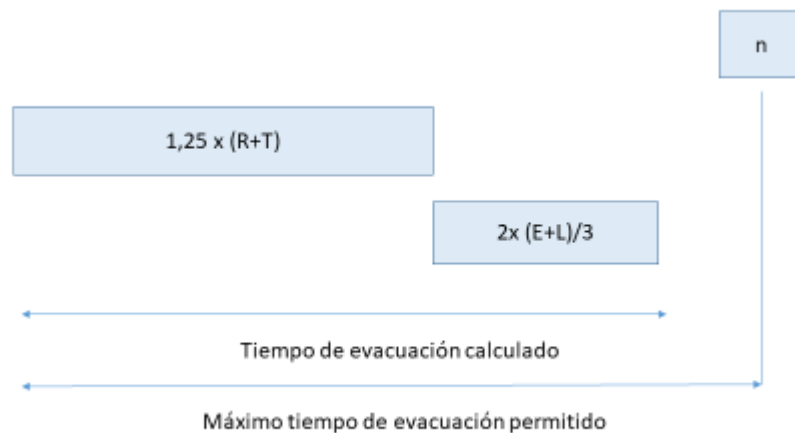
En la nueva actualización (la circular 1533) se añaden además dos tipos de escenarios para que sean considerados. Un caso 5 que debe ser considerado cuando exista una cubierta al aire libre que pueda ser usada por los pasajeros y el área de la misma sea mayor de 400 m<sup>2</sup> o en su defecto, acomode a más de 200 personas. En este caso, se debe considerar que dicha cubierta se debe analizar como un espacio público en el que existe una densidad inicial de 0,5 personas/m<sup>2</sup>. Finalmente, un caso 6 que se estudia cuando los puntos de reunión y las balsas salvavidas se encuentran alejados y por tanto hay que tener en cuenta el tiempo de viaje de uno a otro. Además, la congestión producida frente a los puntos de embarque de las balsas salvavidas se debe tener en cuenta.

En cuanto a los cálculos para hallar el tiempo de evacuación, se debería tomar como tiempo de reacción (R) un periodo de 10 minutos por la noche y de 5 minutos por el día, y como tiempo de embarque y lanzado se deberán calcular de manera separada mediante los resultados de pruebas a escala real en barcos y sistemas de evacuación parecidos, o mediante la información proporcionada por el fabricante. Si no se pudiese calcular el tiempo de embarque y lanzado mediante las dos maneras anteriores, se asumirá que E+L equivale a 30 minutos.

Las fórmulas que a continuación se muestran son las estipuladas para evacuar el barco, donde la n será de 60 minutos en barcos *Roll-on, Roll-off* (Ro-Ro) o de no más de 3 zonas verticales principales y de 80 minutos en barcos con más de 3 zonas verticales principales:

$$1,25 (R+T) + 2/3 (E+L) \leq n \quad (1)$$

$$E+L \leq 30 \text{ min} \quad (2)$$



**Figura 2-7 Esquema de tiempos de la evacuación simplificada.**

Para identificar posibles congestiones durante la evacuación, se deberá observar si la densidad es igual o superior a 3,5 personas por metro cuadrado, o si hay una acumulación de más de 1,5 personas por segundo entre un punto inicial y la salida [14].

En cuanto a la documentación que hay que poseer para validar el análisis, se deberá tener las hipótesis básicas iniciales, las representaciones esquemáticas de las zonas analizadas, la disposición inicial de los individuos en cada escenario considerado, la metodología utilizada para el análisis, si esta difiere de la aquí mostrada, los detalles de los cálculos, el tiempo total del abandono y la identificación de los puntos de congestión.

En caso de que no se cumplan con los requerimientos del abandono de buque descritos anteriormente se deberá, para buques nuevos, corregir lo necesario en el diseño para que así se cumplan los tiempos descritos. En caso de que el buque ya esté construido y no cumpla con los

requerimientos, se deberán tomar las medidas pertinentes para reducir las congestiones, y por tanto los tiempos, en los puntos mostrados por el análisis.

### 2.2.2.2 Segundo tipo de análisis de la evacuación

El objetivo del análisis perfeccionado de la evacuación, es el identificar y eliminar en todo lo posible, las congestiones que se puedan producir a lo largo de una evacuación, debido al movimiento natural de los pasajeros y tripulación a lo largo de las rutas de evacuación e incluso teniendo en cuenta la posibilidad de que la tripulación tenga que ir en sentido contrario al de los pasajeros. También, el presente análisis tiene como objetivo el demostrar que existe una flexibilidad suficiente a la hora del abandono, teniendo en cuenta que algunas rutas de evacuación estén total o parcialmente inhabilitadas.

Este sistema está basado en una serie de marcas de referencia en distintos escenarios y por tanto se deben asumir una serie de suposiciones. Primero, se deben considerar a todos los pasajeros y tripulantes como personas únicas y con habilidades y tiempos de reacción específicos. Además todos deberán evacuar el buque por las principales rutas de evacuación. Se deberá asumir que, a menos que se indique, todos los medios de evacuación estarán disponibles. Como factor de seguridad, se tomará un valor de 1,25 para los cálculos para asumir los fallos de la simulación tales como que los pasajeros seguirán a la perfección las indicaciones de la tripulación y que el humo generado por los posibles incendios en el buque no afectará a la conducta de las personas entre otras.

En este tipo de análisis, se tomarán como mínimo cuatro tipos de escenarios. Uno para la noche y otro para el día (caso 1 y caso 2 respectivamente), y otros dos casos más considerando que haya una reducción en la capacidad de las rutas de escape tanto por la noche como por el día (caso 3 y caso 4) [14]. Para estos cuatro casos, además se tendrá en cuenta lo siguiente:

- En el caso 1 se supondrá que todos los pasajeros se encuentran en sus camarotes al igual que 2/3 de los miembros de la tripulación. Del tercio remanente, un 50% estará inicialmente en los puestos de servicio y se comportarán como pasajeros. Un 25% se encontrarán en las estaciones de emergencia sin otra función predeterminada y el 25% restante se encontrará en los puestos de reunión, teniéndose que trasladar hasta los camarotes de los pasajeros, de forma contraria al flujo de la evacuación, y después volverá a los puestos de reunión.
- En el caso 2, los espacios públicos serán ocupados por el 75% de los pasajeros, y la tripulación estará distribuida de tal manera que 2/3 se comportarán como pasajeros pero con velocidad y tiempo de reacción correspondiente a un miembro de la tripulación y distribuidos en los espacios públicos y en los camarotes de la tripulación por igual. El 1/3 restante, se distribuirá de tal manera que un 50% se situará en los puestos de servicio, un 25% estarán en las estaciones de emergencia y el 25% restante se encontrarán en los puestos de reunión y deberán dirigirse a los camarotes de los pasajeros. Además este último 25% no será considerado en la simulación una vez lleguen a los camarotes.
- En el caso 3 y 4 solo se tendrá en cuenta la zona vertical principal que genere el mayor tiempo de reunión. Se deberían considerar dos alternativas para ambos casos, además la alternativa 1 debería ser considerada si es posible. La alternativa 1 se basa en considerar inutilizable la ruta de evacuación con más capacidad. La alternativa 2 se basa en suponer que el 50% de las personas que se encuentren en las zonas verticales principales vecinas a la zona vertical principal considerada, serán forzadas a utilizar dicha zona. La zona vertical vecina con mayor número de población debería ser la seleccionada.

Las fórmulas que a continuación se muestran son las estipuladas para evacuar el barco, donde la  $n$  será de 60 minutos en barcos Ro-Ro o de no más de 3 zonas verticales principales y de 80 minutos en barcos con más de 3 zonas verticales principales, además tanto el tiempo de desplazamiento como el de reacción, están especificados en el apéndice de la circular 1238:

$$1,25 T + 2/3 (E+L) \leq n \quad (3)$$

$$E+L \leq 30 \text{ min} \quad (2)$$

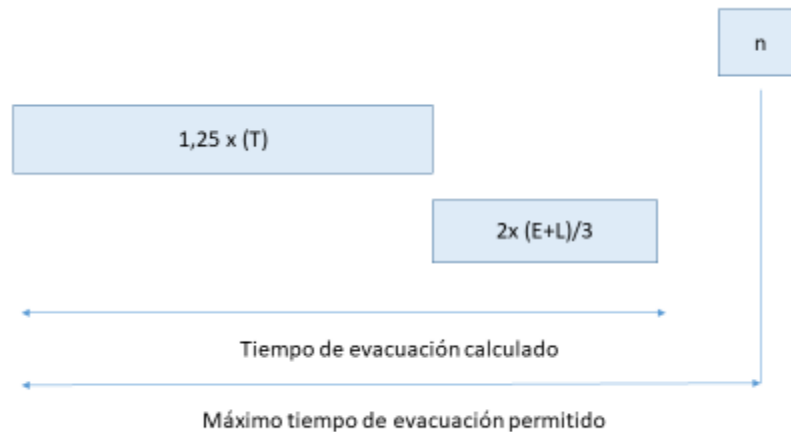


Figura 2-8 Esquema de tiempos de la evacuación perfeccionada

En caso de que no se cumplan con los requerimientos anteriormente descritos, se procederá de igual manera que para el caso simplificado.

### 2.2.3 El Naval Ship Code

El *Naval Ship Code* es el equivalente para buques militares del Convenio SOLAS y de la normativa IMO. Debido al tipo de misiones que realizan, la seguridad en estos buques es un aspecto de vital importancia. Debido a la diversidad existente en los buques militares y por tanto a las distintas misiones que pueden realizar, se hace complejo elaborar un reglamento específico para los buques de guerra [15].

El NSC está estructurado para su desarrollo en capas, en las cuales, tanto la definición del objetivo global como los objetivos presentes en cada uno de los capítulos en los que se divide el NSC, fueron determinados por el Grupo Especializado, grupo de especialistas de la Organización del Tratado Atlántico Norte (OTAN) en clasificación y seguridad de buques de guerra, y la explicación de cada capa fue distribuida a un Grupo de Estudio, conjunto de personas encargadas del desarrollo de un capítulo del código. Las etapas mencionadas son por orden de secuencia las siguientes [1]:

1. Objetivo Global: Es responsabilidad del Grupo Especializado, y establece el objetivo global del reglamento.
2. Objetivo: El Grupo Especializado se encarga de determinar las metas de cada capítulo en que se estructura el código.
3. Área funcional: A través de técnicas de análisis de riesgos, se identifican los puntos para los que se detallarán requisitos y criterios de identificación. Un Grupo de Estudio, integrado por expertos, se encarga de cada área funcional.
4. Requisitos: Se fijan los requisitos que debe cumplir el buque.
5. Verificación: Se establece un criterio de aceptación a través del cual, se comprueba que el buque cumple con los requisitos acordados.
6. Justificación: Es el documento que demuestra que el buque cumple las metas marcadas por el código.

#### 2.2.3.1 Objetivos del NSC

El NSC, que siguiendo la nomenclatura OTAN se conoce como *Allied Naval Engineering Publication* (ANEP-77), está organizado en diez capítulos, estando cada uno de estos centrados en las distintas áreas funcionales.

Tabla 2-2 Capítulos en los que se divide el NSC [1].

Capítulo	Título
I	Generalidades
II	Estructura
III	Estabilidad y flotación
IV	Instalaciones de máquinas
V	Instalaciones eléctricas
VI	Seguridad contra incendios
VII	Escape, evacuación y rescate
VIII	Radiocomunicaciones
IX	Seguridad en la navegación
X	Transporte de mercancías peligrosas

Este código es aplicable a todos los buques que según CONVEMAR (Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho de Mar), corresponden a buques de guerra, guardacostas o de cualquier área perteneciente a la seguridad y protección. Aun así es decisión de cada país el aplicar los requerimientos del código. A pesar de que el presente reglamento es de uso militar, el NSC está basado en su mayor parte a la normativa IMO y así lo refleja en el preámbulo del código.

De todos los capítulos correspondientes al NSC, para este Trabajo de Fin de Grado nos centraremos en el capítulo VII. Aun así cabe destacar que en capítulo I, el cual habla de las generalidades, explica que la seguridad de las dotaciones debe ser sopesada en todas las situaciones y condiciones operativas en las que pueda estar el buque [1]. Tras estudiar el capítulo I, cabe destacar que el objetivo principal del capítulo sobre el escape, evacuación y rescate se puede resumir como el proporcionar una evacuación efectiva para todas las personas embarcadas, además de proporcionar un medio efectivo de evacuación del barco y de rescate de las personas en la mar. Además hay una serie de detalles que deberían ser considerados para la elaboración de los modelos matemáticos necesarios para el estudio y análisis de la evacuación del buque. Entre estos detalles cabe destacar la consideración de las situaciones operativas del buque junto con las distribuciones del personal a bordo, teniendo en mente la máxima capacidad de personas que se pueden llegar a embarcar en algún momento, en todo el ciclo de vida del buque, suponiendo además las averías más probables que el buque pudiese sufrir. Todo esto debe suceder del modo más eficiente posible.

### 2.2.3.2 Personal embarcado

Debido a la gran diversidad de misiones en las que operan los buques de guerra hoy en día, el personal embarcado no se reduce exclusivamente a la dotación del buque sino que además existen otras topologías. El Capítulo I del NSC considera hasta un total de seis categorías de personal embarcado:



Tabla 2-3 Categorías de personas que pueden llegar a embarcar en un buque de guerra según el NSC [1]

<b>Término</b>	<b>Definición</b>
<b>Dotación</b>	Personal que transporta el buque para su control, operación y mantenimiento. Se espera que sean disciplinados, estén en buena forma física y tengan un excelente conocimiento del buque y su equipo de seguridad
<b>Fuerzas embarcadas</b>	Personas que transporta el buque, que no pertenecen a su dotación, pero que están relacionadas con la misión del mismo. Se espera de ellos que sean disciplinados, estén en buena forma física y tengan un buen conocimiento del buque y su equipo de seguridad.
<b>Personal Especial</b>	Personas que transporta el buque, que no pertenecen a su dotación, pero que están relacionadas con la misión específica del mismo. En esta categoría se encuadra el personal de plana mayor, científico, ingenieros e inspectores que en un momento dado pueden embarcar. Se espera de ellos que sean disciplinados, estén en buena forma física y conocen suficientemente el buque y su equipo de seguridad.
<b>Heridos</b>	El NSC no hace provisiones ante la presencia de heridos a bordo
<b>Pasajeros</b>	Personas embarcadas que no se encuadran en ninguna de las tres primeras categorías. Los visitantes, autoridades o familiares se incluyen en esta categoría. El NSC se refiere a ellos como “personas no familiarizadas con el buque”
<b>Personas transportadas en emergencia</b>	Personas procedentes de una evacuación.

En el presente Trabajo de Fin de Grado, nos centraremos en el estudio de la evacuación de la dotación y del personal del cuerpo de Infantería de Marina, siendo este, perteneciente a la categoría de fuerza embarcada. Por tanto, las grandes diferencias entre los dos grupos a estudiar, se basarán en la forma física y el conocimiento sobre el buque.

### 2.2.3.3 Casos a tener en cuenta en la verificación

Para poder analizar el proceso de evacuación del barco, el NSC se basa de nuevo en la MSC/Circular 1238 de la IMO para el análisis de la evacuación, ya que la nueva actualización de la misma aún no se ha implementado. Esta circular, como se explicó anteriormente, explica dos posibles métodos para el estudio, simplificado y avanzado. Aun así, se verifica que las acciones realizadas son conformes con lo descrito en el Capítulo VII del NSC siempre y cuando sea posible evacuar el buque intacto en menos de 30 minutos, o sea posible escapar y evacuar el barco intacto en menos de 60 minutos si disponen capacidad Ro-Ro y zonas verticales de fuego inferior a tres, o en menos de 80 minutos para el resto de casos. Para ello se considerará un mínimo de seis casos [1]:

- Caso 1: Tránsito normal durante la noche, por lo que la dotación se divide en personal de guardia y personal descansando en los sollados.
- Caso 2 a: Tránsito normal durante el día. La dotación que no esté de guardia, estará realizando trabajos.
- Caso 2 b: Zafarrancho de combate.
- Caso 3: Igual al caso 1.
- Caso 4 a: Igual al caso 2 a.

- Caso 4 b: Igual al caso 2 b.

Para los escenarios 3, 4 a y 4 b, y al igual que en la normativa IMO, sólo para la zona vertical que genere mayor tiempo de viaje, se tendrán en cuenta las siguientes alternativas.

- Alternativa 1: Sólo el 50% de las escalas en la zona vertical estará disponible.
- Alternativa 2: El 50% de la población de las zonas verticales vecinas a la zona vertical estudiada entrará en la misma.

### *2.2.4 Doctrina de la Armada Española*

En la Armada Española, además de seguir el NSC, tiene una doctrina que le permite establecer una conducta de la manera más efectiva, tanto para el abandono de buque en sí mismo, como para redactar el “Plan de Abandono de Buque” acondicionado a cada clase de barco. La doctrina usada es la D-CP-09 en su décimo capítulo que habla específicamente sobre el abandono de buque. Esta doctrina explica también que hacer con los documentos o dispositivos que contengan información clasificada, ya que en un buque de guerra, estos abundan y no se puede poner en compromiso la seguridad de la información clasificada.

#### *2.2.4.1 Plan de abandono de buque*

El presente plan, es un plan que debe adaptarse a cada tipo de buque, además debe considerar los siguientes aspectos [16]:

- Reparto del personal en las distintas estaciones del buque.
- Asignación del personal a las balsas salvavidas. Hay que destacar, que el material de supervivencia del buque son las balsas salvavidas, quedando descartadas otras embarcaciones como RHIBs (*Rigid-Hulled Inflatable Boat*), zodiacs, balleneras e incluso helicópteros, aunque estos puedan ser usados en las distintas secuencias del abandono.
- Conducta para controlar la incorporación del personal a las distintas estaciones e ir en busca de los faltos.
- Procedimiento para obtener las novedades de cada estación, Equipos de Control y Salvamento y balsas.
- Puntos de distribución de alimentos.
- Puntos de recogida y abandono de heridos.
- Listas de comprobación referentes a la estanqueidad, inutilización de equipos, información del buque, etc.
- Misiones del personal y del Equipo de Control y Salvamento.
- Puestos de mando y comunicaciones entre los distintos grupos del Equipo de Control y Salvamento.

#### *2.2.4.2 Deberes y responsabilidades del personal*

La D-CP-09 explica el cometido específico del personal del barco. Por tanto, establece las funciones que deben asumir el Comandante del Buque, el 2º Comandante, los Jefes de Servicio en general, el Jefe de Servicio del Sistema de Combate, el Oficial de Derrota, el Oficial de Comunicaciones, el Oficial Habilitado, el Oficial de Maniobra, el Oficial de Seguridad Interior, el personal enfermero, los grupos de control y salvamento, los Jefes de Estación y todo el personal. Este último define unas directrices comunes a toda la dotación y personal embarcado que están enfocadas al socorro de heridos, mantenimiento de la condición de estanqueidad “ZEBRA” y hacer caso a las normas de circulación de manera ordenada y en silencio.

#### *2.2.4.3 Equipo de Control y Salvamento*

Los Equipos de Control y Salvamento (ECS) son un colectivo reducido de la dotación que se encarga de realizar las últimas acciones imprescindibles antes de evacuar el buque. Son los encargados

de controlar que el personal que evacúa lo hace de manera correcta, colaborar con el salvamento del resto del personal y del material o de la destrucción de este último en caso necesario [16].

En el momento en el que se ordene “preparación para el abandono del buque”, el personal que pertenece a este equipo, se dirige y pone bajo las órdenes de los respectivos Jefes de Grupo. Estos grupos pueden ser el grupo de puente, el cual es mandado por el Comandante y al cual pertenece el Oficial de Derrota, el grupo de cubierta, que está mandado por el 2º Comandante y al cual pertenece el Oficial de Maniobra, el grupo de máquinas, el cual está mandado por el Jefe del Subcontrol de Energía y Propulsión en la central de máquinas, el grupo de Seguridad Interior, que está bajo las órdenes del Oficial de Seguridad Interior en la central de Seguridad Interior y por último el grupo de Sanidad, que está al mando del Jefe del Subcontrol de Sanidad en la cubierta principal o punto de control del personal en la cubierta. Aun así, a pesar de pertenecer a todos estos grupos, tiene unas misiones comunes en todos los grupos, tales como: salvar a personal que quede rezagado, intentar retrasar el hundimiento del buque, completar la inutilización o destrucción de la documentación o de los sistemas e incluso acelerar el hundimiento del buque si esto fuera necesario [16].

#### 2.2.4.4 Instrucciones individuales para el Abandono

A pesar de que muchas lesiones pueden producirse en el momento de la catástrofe, otras muchas pueden ocurrir después, mientras se evacúa el barco. Estas otras causas pueden ser debidas a llevar mal puesto los equipos de salvamento antes de saltar al agua, por incendios provocados en la superficie del agua debidos a combustibles o incluso por saltar por sotavento que es a donde deriva el buque y puede aproximarse hacia el personal. Muchas de estas lesiones se pueden evitar haciendo caso a las precauciones normales para evacuar el barco tales como las siguientes:

- A ser posible, abandonar el buque completamente vestido y jamás con el casco puesto. Además si el abandono se produce en aguas frías, es aconsejable embadurnarse las partes más desprotegidas de la ropa con grasas. También es aconsejable beber agua antes de abandonar el buque.
- Antes de lanzarse al agua es aconsejable recordar las indicaciones sobre distancia y rumbo a costa y viento y echar al agua todo aquello que pueda flotar y por tanto facilitar el abandono.
- Abandonar el barco por barlovento para escapar cuanto antes del naufragio.
- Evitar saltar desde la cubierta, siendo preferible descolgarse a través de la cabuyería.
- No inflar el chaleco hasta estar en el agua.
- En caso de que hubiese combustible alrededor del buque, se desactivará el sistema de inflado automático del chaleco y bucear hasta salir de la zona del combustible. Una vez alejados del combustible, para evitar que las llamas provocadas por este se acerquen hacia nosotros, hay que nadar hacia barlovento.

#### 2.2.4.5 Ejecución del Abandono

El abandono del buque, es una orden exclusiva del Comandante del mismo y puede realizarse de dos maneras bien diferenciadas:

- a) Urgente: Este abandono se realiza cuando la pérdida del buque es inminente y no hay tiempo para efectuar el abandono de manera ordenada. En este caso, el personal acudirá a las balsas salvavidas directamente y el arriado de otros medios distintos a las balsas salvavidas, tendrá última prioridad. Por tanto a la voz de “Abandono de buque urgente”, el personal realizará las acciones imprescindibles de su responsabilidad y acudirán a las balsas de manera automática. Por esta razón, todo el personal debe conocer el procedimiento de arriado de las balsas salvavidas.
- b) Controlado: En este tipo de abandono, el tiempo es suficiente como para poder realizarlo de manera ordenada y organizada, distribuyendo la evacuación en tres fases.

En la primera fase, a la orden del Sr. Comandante, se dará la voz de “Preparación para el abandono del buque, aguas (amigas/enemigas/neutrales) profundas o poco profundas. Destruir/ inutilizar equipos”. Tras esta voz, se realizan las acciones correspondientes para destruir o inutilizar los equipos, se organizan los distintos equipos de control, se transmiten los mensajes de socorro correspondientes, etc.

Se tocará Zafarrancho de Combate para Abandono de Buque, ya que el buque no tiene por qué estar en esta situación previamente (puede estar en Zafarrancho de Combate, Emergencia en la mar o navegando en situación de II, III o IV vigilancias).

Si no se dice nada en contra, las balsas se arriarán de forma automática e inmediata.

La segunda fase corresponde al abandono en sí por parte del personal, quedando exclusivamente en el buque el Equipo de Control y Salvamento. Además, si se encuentran disponibles, las RHIBs procederán a unir las balsas y a alejarlas del naufragio del buque.

Por último, en la tercera fase se procede al abandono del barco por parte del Equipo de Control y Salvamento. Si es posible, estos acudirán a sus balsas correspondientes a través de las RHIBs o balleneras que previamente se han arriado.

## **2.3 Simulación del proceso de evacuación**

### *2.3.1 Modelización de procesos de evacuación*

Una vez visto que los problemas en las evacuaciones siguen presentes en los barcos actuales, y que por ello hay que seguir unas normas internacionales que regulan la seguridad de las personas en el abandono del buque, es conveniente analizar, mediante el uso de simulaciones generadas por programas informáticos, el flujo de salida de personas para garantizar la seguridad de estos en caso de emergencia. Gracias a estas simulaciones informáticas, se consigue solucionar problemas como la falta de realismo, ya que es difícil reproducir evacuaciones, sin poner en riesgo la seguridad de los participantes [1]. Además se consigue solucionar el problema económico ya que la construcción de prototipos y el uso de un gran número de voluntarios para realizar la simulación, tiene un alto coste e incluso puede ser casi imposible de realizar debido a las grandes dimensiones que tiene la industria naval. Por último, gracias a los programas de simulación, se consigue una mayor veracidad en los resultados obtenidos ya que se pueden simular con todo tipo de parámetros y supuestos y además una cantidad casi ilimitada de veces.

El movimiento de las personas en una situación de emergencia puede ser modelada según dos tipos de escala: macroscópica y microscópica.

La primera adopta aproximaciones de la dinámica de fluidos donde las particularidades de los individuos no son consideradas y no se hacen distinciones en los distintos comportamientos que puedan tener los individuos.

La segunda, se basa en que cada individuo posee un comportamiento particular al que se le añaden unos pesos que permiten priorizar unos actos frente a otros, como los son los aspectos psicológicos y los culturales. Este tipo de modelado, es el utilizado para realizar las simulaciones de sistemas complejos con la presencia de una multitud de interacciones no lineales entre los individuos y los elementos ambientales, donde se incluyen los peligros secundarios como lo son el fuego y humo [17].

Muchos modelos de simulación de las evacuaciones de los buques utilizan las aproximaciones microscópicas usando modelos autómatas móviles, donde las condiciones ambientales como el movimiento del buque o la presencia del fuego afectan a las conductas de la población.

El Modelo de Fuerzas Social (SFM) incluye la representación tanto de fuerzas psicológicas como físicas para poder describir las conductas humanas en condiciones donde existen conglomeraciones. Este tipo de fuerzas son las que permiten simular que las personas no se junten a otras más de una distancia determinada, o que sean capaces de ver que un camino es más corto que otro debido a las colas existentes.

### 2.3.2 Herramientas informáticas para el análisis de la evacuación

En cuanto a los programas para simulaciones más utilizados se encuentran: FDS+Evac, EXODUS, STEPS, Simulex y Pathfinder [18].

- *Fire Dynamic Simulator + Evac (FDS+Evac).*

FDS+Evac es un programa libre y gratuito desarrollado por el *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, Gaithersburg, EEUU [19]. En uno de los módulos del programa, existe la opción de realizar simulaciones de abandono con fuego incluido. Si existe la presencia del fuego, el programa es capaz de reflejar la acción del humo o fuego ante las personas, haciéndolas elegir rutas alternativas.

Con este software, es posible realizar escenarios complejos, y tiene en cuenta las interacciones humanas como por ejemplo diferenciar entre jerarquía así como las interacciones con el fuego. Por tanto, el programa tiene ciertas ventajas como ser gratuito, ser libre por lo que se desarrolla a una gran velocidad o una interacción directa con el fuego entre otras, pero en cambio tiene también ciertas desventajas como dificultad en su uso para escenarios complejos, escasa documentación en las versiones más modernas o un alto trabajo computacional.

- EXODUS

Exodus es una plataforma de software creada por *Fire Safety Engineering Group of the School of Computing & Mathematical Sciences of the University of Greenwich* [4].

Dentro de este programa, existe una versión llamada *Maritime EXODUS* que considera el tiempo de percepción de la necesidad de escape de las personas, preparación de los botes salvavidas y acciones preparatorias entre otras. Además todas las consideraciones anteriores se incluirán solo cuando se necesiten dependiendo de las condiciones simuladas. Una prestación de este software es que es capaz de simular también el caso en el que el buque se encuentre escorado a una banda y por tanto considerando las consecuencias que traerá la escora.

Como ventajas destacan la capacidad de modelar escenarios complicados, está en constante desarrollo y tiene un rápido tiempo de computación. Como desventajas se encuentra el elevado precio y que no es posible utilizar licencias de prueba.

- STEPS

*Simulating pedestrian dynamics (STEPS)* es una programa de simulación de personas desarrollado por Mott MacDonald bajo condiciones normales y de emergencia [20].

El programa permite la simulación de estructuras complejas, tiene un desarrollo constante, presenta numerosos casos como referencias y aunque no tiene un modelado complejo para la elección de salidas según el humo que pudiese haber, sí que tiene una interacción directa con otros programas como FDS que sí tienen relación con simulaciones donde el fuego está presente [18].

- SIMULEX

Simulex es un programa que permite definir un edificio y sus ocupantes, simulando su movimiento entorno al edificio en casos habituales o en casos de emergencia [21].

Además, Simulex permite analizar la conducta de los ocupantes en la evacuación de un edificio, identificando los principales problemas y dando soluciones a los mismos.

Como principales ventajas, Simulex es uno de los programas de simulación más usados y por tanto tiene una gran cantidad de casos para usar como referencia y tiene un tiempo de computación rápido. Es fácil de utilizar y de crear la simulación en 3D y los resultados poseen gran veracidad incluso en los modelos de mayor complicación. Aun así, el programa no tiene una interacción directa con el fuego, y es de pago, por lo que el soporte técnico es llevado exclusivamente por los desarrolladores.

- AENEAS

El software AENEAS realiza análisis de evacuaciones de acuerdo con la IMO MSC.1/Circ.1238. Esta herramienta está certificada por la administración alemana BG-Verkehr.

AENEAS permite analizar la evacuación en cualquier fase del proceso de diseño y del periodo de vida del buque. Además, este programa ayuda a evaluar si el diseño se atañe a los requisitos especificados por la IMO. También capaz de incluir los movimientos propios de un buque.

Como ventajas, cabe destacar que este programa muestra una interfaz eficiente de pre procesamiento a partir de datos CAD (*Computer-Aided Design*), además de una rápida simulación y transparencia en el análisis [22].

- PATHFINDER

Es un programa desarrollado por Thunderhead Engineering que se basa en la simulación de la evacuación de las personas. Es capaz de mostrar los resultados mediante una animación en 3D. Pathfinder es capaz de modelar de manera simple estructuras complejas aunque no existe la interacción de las personas con el fuego durante la evacuación [18].

Pathfinder es uno de los programas más usados y está en constante desarrollo. Aunque no es gratis, puede instalarse el programa y usarlo durante un periodo de 30 días de manera gratuita e incluso ofrece licencias de estudiantes durante 6 meses. Aun así, debido a ser un programa relativamente nuevo, no hay muchos trabajos de investigación que puedan ser usados como referencia.

En Pathfinder, se pueden modelar las simulaciones con los dos tipos de escala explicados en el apartado 2.3.1. Además, En Pathfinder, se realiza un mallado de tipo triangular, el cual permite indicar a las personas cual es el camino más corto, y la salida más cercana. Los obstáculos presentes, también son tenidos en cuenta y por tanto, el personal los tomará como un factor más a tener en cuenta a la hora de buscar el camino más corto.

En el presente Trabajo de Fin de Grado, Pathfinder es el programa usado para la simulación del buque Juan Carlos I. La versión utilizada es la de 2018, la cual posee numerosos cambios respecto a la versión de 2017 tales como mejoras en su rendimiento, reparación de fallos en el programa y ajustar la habilidad de las personas para pasar a través de determinados espacios como escaleras o puertas entre otras mejoras [23].

## 3 DESARROLLO DEL TFG

### 3.1 Proceso de construcción del modelo

El buque en el que se basa el Trabajo de Fin de Grado, es el Juan Carlos I el cual, aloja una gran cantidad de personal. El Juan Carlos I es un buque anfibia portaaviones, y es el más grande construido en España. Cuenta con una eslora de 231 metros y una manga de 32 metros, así como un desplazamiento de 26000 toneladas. Debido a su diseño y espacio, es capaz de albergar hasta 1500 personas y tiene funciones tanto de desembarco de unidades de Infantería de Marina, operaciones de vuelo, proyección estratégica y de operaciones no bélicas tales como el apoyo humanitario [24].



Figura 3-1 Buque Juan Carlos I [24].

De todo el personal que puede llevar, se ha centrado en la dotación y la Fuerza de Desembarco consiguiendo de esta manera, un total de 1119 personas. Para poder simular el abandono del buque, se han tenido que modelar las cubiertas del mismo, unir los compartimentos entre sí mediante puertas, pasillos y escotillas, enlazar cada cubierta con las escalas y escaleras y posteriormente distribuir al personal a lo largo del buque, además de elaborar unas conductas que distingan al distinto personal que engloba la simulación. Para todo esto, se han tenido que introducir diversos datos para asemejar la simulación lo más posible a la realidad utilizando todas las opciones que ofrece el programa Pathfinder.

### 3.1.1 Cubiertas

Para la realización de las distintas cubiertas del JCI, se han llevado a cabo diversos pasos. Primero, se ha separado desde un archivo PDF los planos de las distintas cubiertas y se han convertido a un fichero PNG, los cuales se han introducido en el programa Pathfinder. De esta forma se consigue tener un fondo para diseñar el buque. Para importar dichas imágenes, se ha tenido que estudiar las alturas que existen entre las distintas cubiertas realizando algunas simplificaciones en los casos donde hubiese rampas. Para conseguir que todas las imágenes de las cubiertas estuviesen centradas, se observó la distancia entre cuadernas, y se dispuso una distancia específica, igual para todas las imágenes, entre diez cuadernas. Una vez importadas todas las imágenes, se procedió a la realización del modelo simplificado del JCI construyendo los distintos compartimentos de cada cubierta.

El programa distingue dos formas de dibujar los compartimentos. Una en la cual se realizan habitaciones de forma rectangular, que ha sido la opción que se ha utilizado con mayor frecuencia, y otra en la que se permite dibujar los compartimentos de manera irregular consiguiendo así formas circulares y trapezoidales.

Un factor a tener en cuenta es separar los compartimentos según se detallan en los planos para poder situar las puertas entre habitaciones ya que el programa ofrece dos tipos de puertas. Un tipo de puerta sirve, como se ha explicado previamente, para unir distintos compartimentos dentro de una misma cubierta, y la otra puerta sirve para indicar al programa cual es la salida final de la estructura, en el caso del abandono de buque, las balsas salvavidas.

Finalmente, una vez acabada una de las cubiertas, se repite el proceso realizado anteriormente, seleccionando la imagen correspondiente a la nueva cubierta y teniendo en cuenta que para poder modelar a la altura deseada, hay que otorgar al nuevo suelo la característica de “activar como suelo activo” para que así, los nuevos compartimentos se sitúen a la altura deseada.

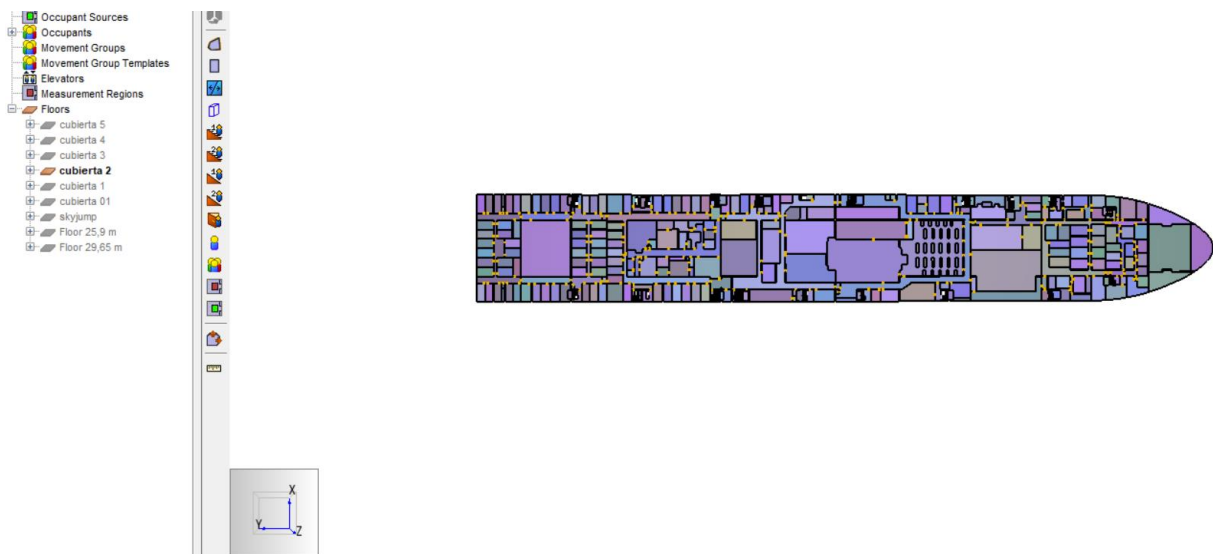


Figura 3-2 Ejemplo de cubierta del JCI realizado con Pathfinder.

### 3.1.2 Escalas y escaleras

Una vez realizadas las distintas cubiertas del buque, se procede a su unión. Pathfinder permite la opción de introducir escaleras para la unión entre pisos de un edificio o cubiertas de un barco. Para su elaboración hay que tener varios factores en cuenta. Primero, es necesario que no haya impedimentos en el recorrido de la escalera ya que sino el programa alertará un fallo y será imposible la correcta simulación del diseño. En el caso de querer diseñar escaleras, es necesario dar una pequeña inclinación a la misma, de esta manera el programa simulará a las personas subiendo o bajando según corresponda en vez de realizando un salto desde la cubierta superior a la inferior y viceversa. Esto ocurre debido a



que el programa necesita de un espacio horizontal para representar la velocidad y si este espacio es nulo, no es capaz de representar la velocidad de manera real. Es por ello que en las escalas se introduce un factor de reducción para conseguir asemejar los valores simulados a los reales.

En el diseño de las escalas y escaleras, es posible ordenar el sentido de uso de las mismas, consiguiendo así, que determinados tramos se realicen en un único sentido, dejando así que se siga el camino propuesto por el plan de abandono del buque. Es importante el uso de esta opción ya que sino se entorpecería el paso del personal que sube a una cubierta con el paso del personal que baja de la cubierta.

Como se ve en la Figura 3-3, es necesario dibujar un tramo que haga de descansillo entre las dos escaleras que juntan las cubiertas. Para la elaboración de dicho descansillo es necesario dibujarlo en una de las cubiertas y posteriormente, con una de las opciones del programa, moverlo a la altura indicada.

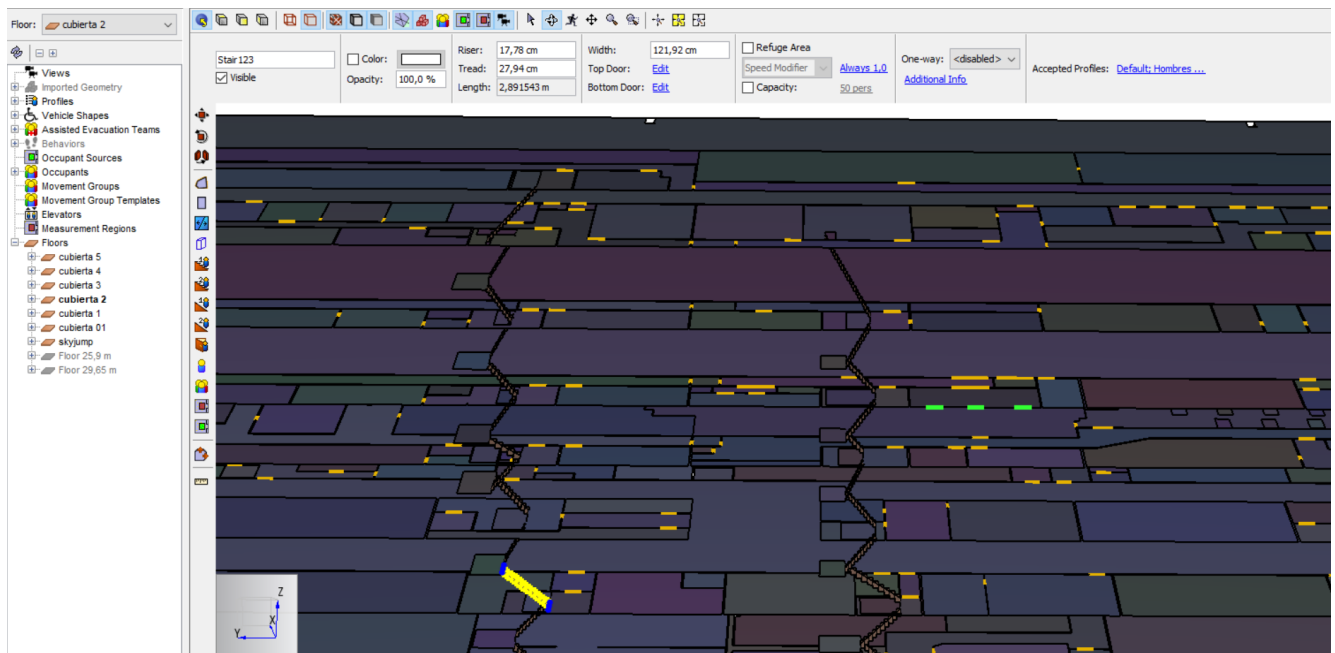


Figura 3-3 Ejemplo de escaleras realizado en Pathfinder.

### 3.1.3 Personal

Una vez realizado el diseño del buque en su totalidad, es necesario rellenarlo con una población para que la simulación tenga sentido. En este caso se ha elegido a infantería de marina como Fuerza de Desembarco y a la dotación. Dentro de estos grupos se ha dividido entre personal femenino y masculino ya que las velocidades presentes en la evacuación difieren según el sexo. En el programa Pathfinder, se da la opción de crear nuevos perfiles de personas en los cuales se pueden modificar datos como la figura representada en la simulación, velocidades que sigan una distribución normal, constante, uniforme, etc.

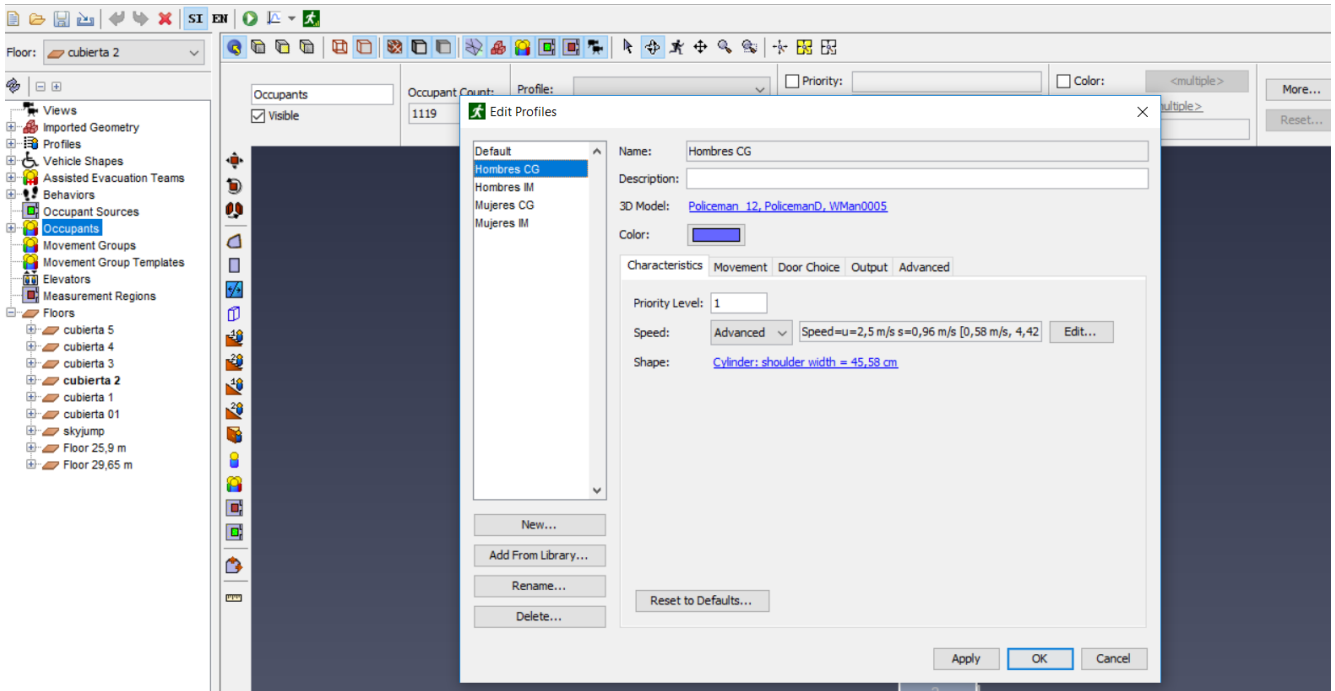


Figura 3-4 Edición de perfil de una población en Pathfinder.

Además, se puede introducir factores de reducción para atravesar distintos compartimentos, puertas o escaleras. Los parámetros de velocidad del personal están basados en datos reales de ensayos realizados por la Armada, los cuales han sido modificados por motivos de confidencialidad, y muestran las distintas velocidades tanto para hombres como para mujeres y tanto para Cuerpo General como para Infantería de Marina. Para introducir los valores sobre las velocidades en las escalas y escaleras, ha sido necesario hallar los valores que representan de forma más adecuada los datos de cada grupo de personas.

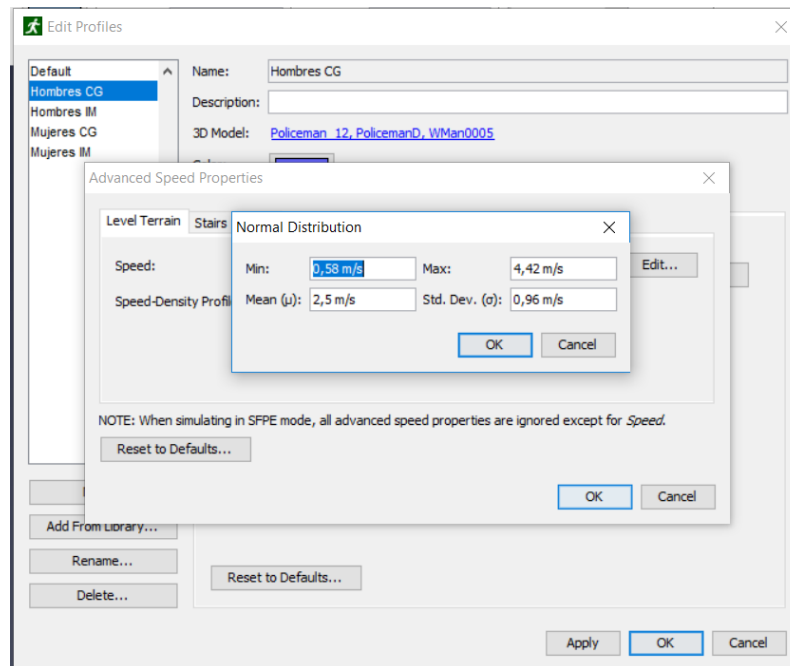


Figura 3-5 Edición de la velocidad de los perfiles en Pathfinder.

Una vez diseñados los perfiles del personal que se va a simular, hay que repartirlo por los distintos compartimentos del buque según el caso de la norma NSC que se esté realizando. Por este motivo, el

personal se distribuirá a lo largo de los camarotes, puestos de guardia, salas de estar, cocina, comedor, etc.

Otro dato imprescindible para la elaboración de las simulaciones, es la creación de distintas conductas que posteriormente serán asignadas a la población creada. Estas conductas permiten seguir las directrices proporcionadas en el Plan de Abandono de Buque. Se han realizado un total de 13 conductas que se han otorgado al personal. En las conductas se puede ordenar un tiempo de espera, la obligación de ir a un compartimento determinado, o seguir un camino fijo que corresponda con la ruta de evacuación.

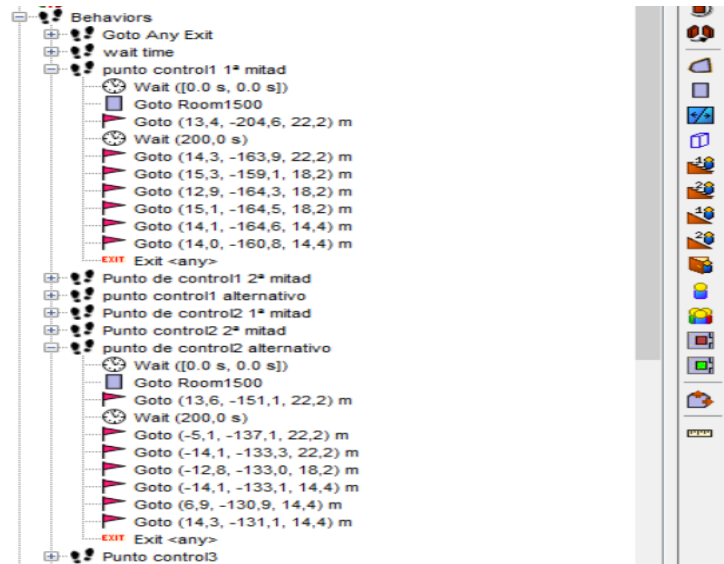


Figura 3-6 Ejemplo de acciones en una conducta.

En las conductas se ha tenido en cuenta la situación en la que se ordene el abandono de buque, pudiendo ser de noche, de día o en la situación de zafarrancho de combate. Es por ello que el tiempo de reacción varía en las tres siendo de entre 5 y 6 minutos para el caso de noche, entre 2 y 3 minutos para el caso de día y de 0 minutos para el caso de zafarrancho de combate en el que se espera que el personal acuda inmediatamente a donde se le ordene. Para el equipo de Control y Salvamento, se le ha otorgado un tiempo tal que sean siempre los últimos en abandonar simulando así, la destrucción e inutilización de equipos.

### 3.1.4 Modelo final del buque

Finalmente, tras realizar cada uno de los pasos anteriores, se realiza por completo el modelo del Juan Carlos I. Es a partir de este, donde se realizan las simulaciones que correspondan, teniendo que revisar que la simulación se ejecute según lo planeado sin que haya ninguna persona obstruida. Si se diese el caso habría que revisar el diseño de nuevo y detectar el problema que, en la mayoría de los casos, corresponde a equivocaciones en la introducción de puertas. El modelado final del Juan Carlos I corresponde a la Figura 3-7.

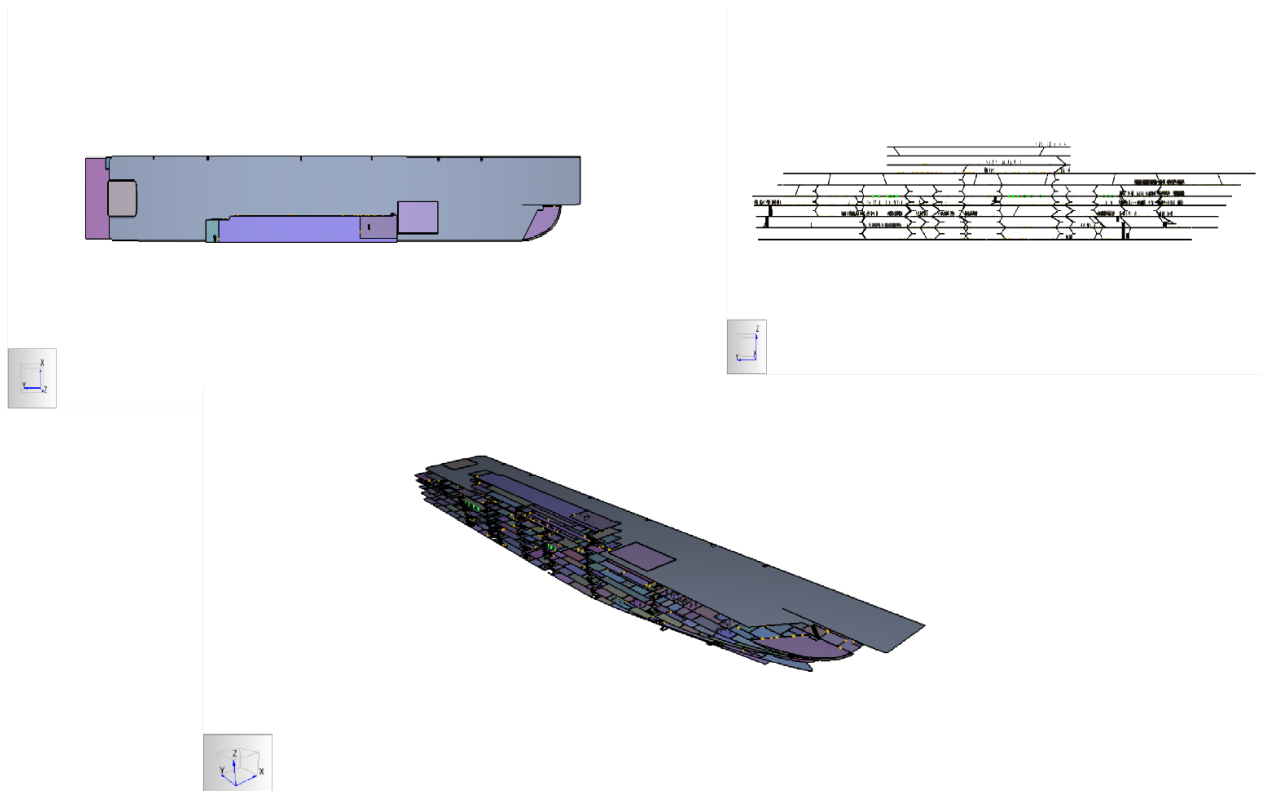


Figura 3-7 Modelado final del JCI en Pathfinder

### 3.2 Simulación del abandono de buque del JCI

Además de todo lo descrito anteriormente, el Juan Carlos I posee una característica particular en cuanto al abandono de buque se refiere. El buque cuenta con un sistema de evacuación en el cual se despliegan unas rampas hinchables que desembocan en las balsas salvavidas, consiguiendo así una rápida y eficaz manera de embarcar en las balsas y reducir los posibles incidentes como caídas a la mar.



Figura 3-8 Ejemplo de rampa hinchable en buque militar australiano [25].

Posteriormente al diseño del buque, y parametrización de los valores de la población y sus conductas, es necesario la realización de las simulaciones para los distintos casos.

### 3.2.1 Casos simulados

Para la simulación del presente Trabajo de Fin de Grado, se han seguido las directrices del NSC, realizando un total de 6 casos.

Estos casos se explicaron en el apartado 2.2.3.3, siendo estos:

- Caso 1: Tránsito normal durante la noche, por lo que la dotación se divide en personal de guardia y personal descansando en los sollados.
- Caso 2 a: Tránsito normal durante el día. La dotación que no esté de guardia, estará realizando trabajos.
- Caso 2 b: Zafarrancho de combate.
- Caso 3: Igual al caso 1.
- Caso 4 a: Igual al caso 2 a.
- Caso 4 b: Igual al caso 2 b.

En los casos 3, 4 a y 4 b se tendrá en cuenta que las escalas y escaleras que estén situadas en la cubierta 02 en proa babor estarán inhabilitadas, teniendo que utilizar las rutas alternativas que ofrece el plan de abandono.

### 3.2.2 Datos utilizados para la simulación

Para realizar la simulación del abandono de buque se supone que el garaje de carga ligera y hangar se encuentra en una situación que dificulta el tránsito de personas y de formaciones debido a la carga presente en el mismo. Por este motivo, los puntos de reunión se encuentran en la cubierta 02 tal y como muestra Figura 3-9



Figura 3-9 Puntos de reunión para abandono de buque en la cubierta 02 del JCI [26].

Para la simulación, ha sido necesario dar a la tripulación y a la Fuerza de Desembarco unas velocidades proporcionadas por la Armada. Estas velocidades difieren entre el sexo y el cuerpo militar al que pertenezcan las personas tal y como se observa en la Tabla 3-1. Por motivos de confidencialidad, los datos que se muestran en la siguiente tabla han sido modificados.

Tabla 3-1 Parámetros de velocidades según sexo y cuerpos para la simulación

	Sexo	Velocidad Pasillo (m/s) Distribución normal	Velocidad Escaleras (m/s)
Cuerpo General	Hombre	(2,24; 0,89)	1,23
	Mujer	(1,33; 0,28)	0,74
Infantería de Marina	Hombre	(1,45; 0,19)	0,80
	Mujer	(1,04; 0,24)	0,57

Además de estos datos, en las conductas que se le añaden a la población de la simulación se han introducido tiempos de reacción que difieren según el caso, ya que no se puede equiparar el tiempo de reacción de una persona que está dormida con la de una persona que se encuentra en la situación de zafarrancho de combate. Para los casos 1 y 3, el tiempo es de entre 5 y 6 minutos, para los casos 2a y 4a el tiempo está entre los valores 1 y 2 minutos y para el caso de zafarrancho de combate que corresponde con los casos 2b y 4b, el tiempo de reacción es nulo ya que se les presupone estar preparados para el abandono del buque. Además se ha añadido un tiempo correspondiente al de dar novedades de personal en los puntos de control señalados en la Figura 3-9 de un total de 200 segundos. Estos tiempos de reacción difieren a los de la OMI, pero se presupone que la población estudiada está entrenada y preparada tanto física como mentalmente para reaccionar con cierta rapidez ante un abandono de buque.

La simulación consta con un total de 1119 personas de las cuales 846 son infantes de marina y las 273 restantes forman parte de la dotación del buque, por lo que las diferencias de velocidades entre los grupos de personas se hacen notables en la simulación.

En la Figura 3-10, se pueden apreciar los tiempos transcurridos para las distintas situaciones que se han dado en la simulación. En este esquema, se tiene en cuenta el tiempo de reacción (R), el tiempo de tránsito (T), el tiempo de destrucción de equipos (D), el tiempo de formaciones para el abandono y el tiempo de embarque en las balsas salvavidas (E+L).

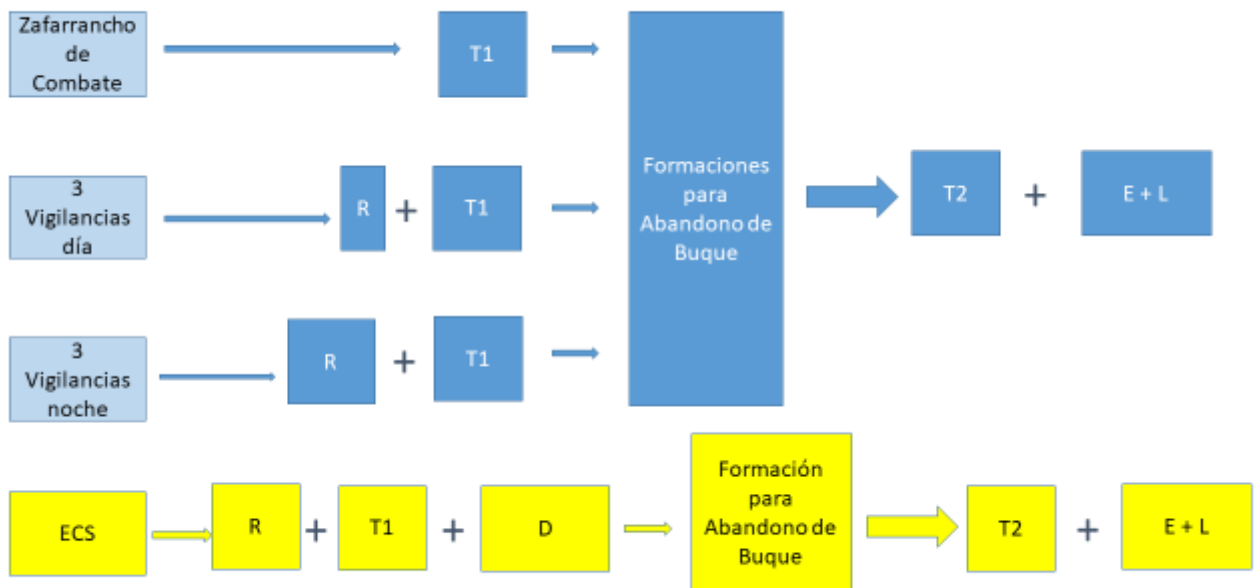


Figura 3-10 Esquema de tiempos realizado en la simulación.

### 3.3 Estudio estadístico

Tras realizar las diversas simulaciones y obtener los tiempos de estas, se procede a realizar un estudio estadístico de los datos y por consiguiente realizar una comparación entre los distintos casos.

#### 3.3.1 Análisis descriptivo

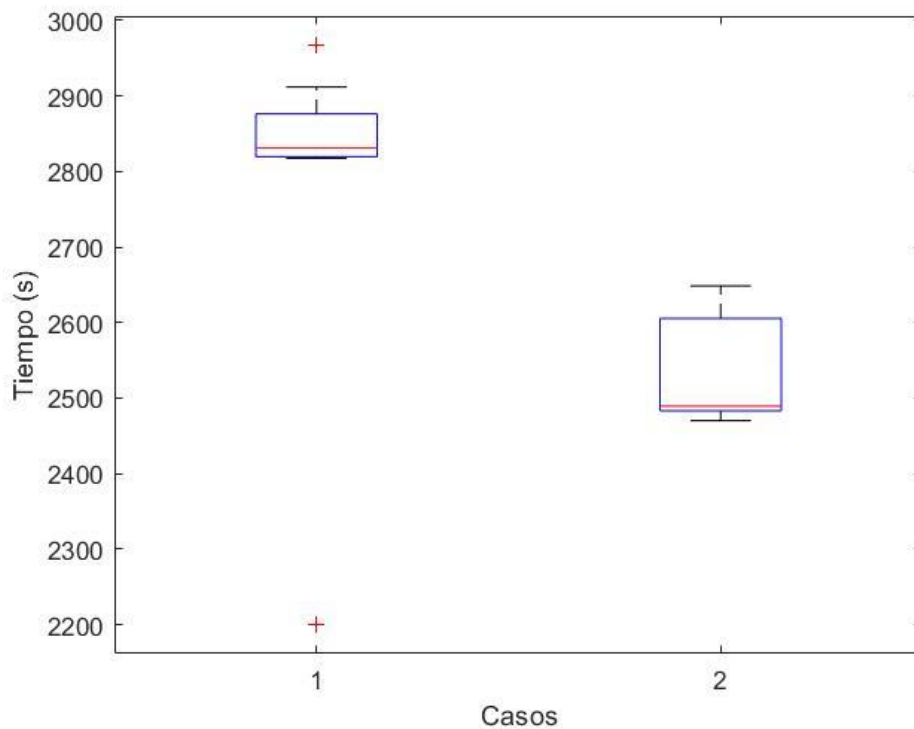
Con la herramienta Matlab, se procede a realizar un análisis descriptivo de los datos obtenidos por la simulación mediante el uso de parámetros de centralización como son la media, mediana, moda y cuartiles. Parámetros de dispersión como son la varianza y desviación típica. Y finalmente, las medidas de forma como son la curtosis y el coeficiente de asimetría. A continuación se explica cada uno de ellos [27]:

- **Media aritmética:** Se define como la suma de todos los datos estudiados divididos entre el número total de datos presentes en el estudio.
- **Mediana:** La mediana es la medida de posición central que deja un número igual tanto a un lado como al otro, siempre y cuando estos valores estén ordenados de mayor a menor o viceversa.
- **Moda:** La moda es el valor más habitual de los datos obtenidos.
- **Cuartil (Q):** Los cuartiles son las medidas de posición que fraccionan los datos obtenidos en cuatro partes de igual frecuencia. Se dividen en el primer, segundo y tercer cuartil.
- **Rango intercuartílico (IQR):** Es la diferencia entre el tercer cuartil con el primero. Con el IQR se obtiene una medida de la dispersión del 50% de los datos.
- **Varianza:** Es la medida de dispersión conseguida mediante la diferencia entre los datos y su media, al cuadrado y dividido entre el número total de datos estudiados. Por tanto la medida de dispersión obtenida se encuentra al cuadrado.
- **Desviación típica:** Es la raíz cuadrada de la varianza, y nos permite obtener la medida de dispersión en las mismas unidades de los datos.
- **Curtosis:** la curtosis mide cuán concentrados están los valores respecto a la zona central de frecuencias. Grandes valores de curtosis, implican que hay una concentración de datos próximos a la media como una elevada frecuencia de valores alejados de la misma.
- **Coefficiente de asimetría:** Nos permite conocer la simetría de la muestra, y en caso de detectar asimetría en el estudio, nos permite conocer por qué lado se encuentra la misma.

### 3.3.2 Diagramas de caja

Los diagramas de caja y bigotes, también conocidos como diagramas de caja, son una representación visual de los datos que muestran los tres cuartiles y los valores máximos y mínimos. De esta forma se consigue una idea general sobre la simetría de los datos analizados y se consigue apreciar la aparición de algún dato que esté muy separado respecto al resto.

El diagrama se compone de tres figuras bien diferenciadas. Primero se observa una caja, cuyos extremos coinciden con el primer y tercer cuartil respectivamente, por lo que la caja muestra el rango intercuartílico. Dentro de la caja se muestra una línea de color rojo que muestra la mediana de los datos analizados. Finalmente fuera de la caja, se muestran dos líneas horizontales, los llamados bigotes, que muestran los valores máximos y mínimos de la muestra considerados como no atípicos. Todos los valores que estén por encima o por debajo de los bigotes respectivamente, serán porque son mayores que el  $Q_3 + IQR * 1,5$ , o porque son menores que el  $Q_1 - IQR * 1,5$  y serán considerados como *outliers* debiendo estudiar las posibles causas. Estos *outliers* se representan mediante unas cruces de color rojo encima o debajo de la caja tal y como se puede ver en la Figura 3-11.



**Figura 3-11 Ejemplo de un diagrama de cajas.**

Como se observa en la Figura 3-11 los diagramas muestran la simetría del conjunto de los datos estudiados, además de que permite comparar los diferentes casos simulados en una sola imagen. Con este diagrama se puede concluir a simple vista que en el caso 1, el tiempo de evacuación es mayor que en el caso 2.

Se puede observar que el caso 1 posee dos *outliers*, uno inferior y otro superior, que muestra la existencia de valores atípicos, los cuales han sido implementados intencionadamente para mostrar cómo se representan dichos *outliers*.

### 3.3.3 Test de distribución

Tras realizar un análisis descriptivo de los datos y realizar una comparación entre los mismos mediante los diagramas de caja, se procede a realizar una comprobación mediante un test de distribución que explique si los valores obtenidos se comportan según una distribución estadística conocida como lo es la normal, exponencial o la de valor extremo.

Para comprobar si sigue una distribución normal, existen varios test como por ejemplo el test de Kolmogorov-Smirnov, el test de Anderson-Darling y el test de Lilliefors entre otros. En este Trabajo de Fin de Grado, se ha utilizado el test de Lilliefors mediante la herramienta de Matlab R2017b.

Este test, se suele utilizar para comprobar si un conjunto de datos sigue una distribución normal, pero también se puede comprobar si estos se corresponden con una distribución exponencial o de valor extremo. Este estudio se considera importante ya que, es interesante comprobar si la evacuación realizada por el personal se comporta según una distribución normal en los 6 casos de estudio, para así poder asegurar con mayor probabilidad los tiempos del abandono.

El test se ha podido ejecutar en Matlab mediante el comando “lilliefors”. De esta forma, se dan dos posibles resultados (h y p) para cada caso, en base a una hipótesis nula que explica que los datos provienen de una distribución normal o, si se especifica, según una distribución exponencial o de valor extremo.



- El resultado  $h$  es una variable binaria en la que el resultado 1, indica que la hipótesis nula ha sido rechazada, y el 0 indica que no se ha sido capaz de rechazarla.
- La variable  $p$  puede tomar valores entre 0 y 1. Un valor  $p$  más pequeño proporciona una evidencia más fuerte en contra de la hipótesis nula [28].



## 4 RESULTADOS

### 4.1 Simulación en Pathfinder

A continuación se van a mostrar imágenes de las simulaciones de los distintos casos en las que se observan las colas y los caminos seguidos además de los tiempos totales de cada caso.

#### 4.1.1 Caso 1

En este caso, el cual corresponde a la evacuación del buque durante el periodo nocturno, se muestran las imágenes de las distintas cubiertas del JCI en las que se pueden apreciar la formación de colas. La formación de colas se representa a través de distintos colores, de morado a rojo, que representan la aglomeración de los evacuados, tal y como se muestra en la Figura 4-1.

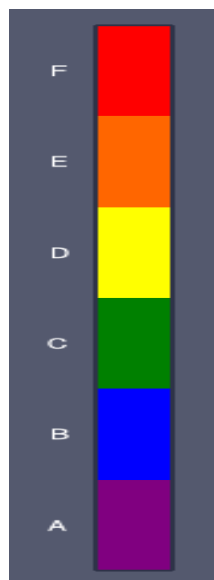


Figura 4-1 Escala de colores de la formación de colas.

Como era predecible, las colas en su momento de mayor tamaño, se producen en torno a las escalas y escaleras, pasillos estrechos y en torno a los camarotes ya que se supone que la mayoría de la tripulación y Fuerza de Desembarco están durmiendo. Además en la cubierta 01, se puede apreciar la formación de una aglomeración de personas, situada a proa en la banda de babor. Aunque no se pueda considerar como producción de cola, el programa identifica las formaciones de las personas en la cubierta 02 como tales.

A continuación se muestran las imágenes de los resultados, excluyendo la cubierta 5 y los niveles superiores a la cubierta 02 debido al poco personal que se ha situado en las simulaciones.

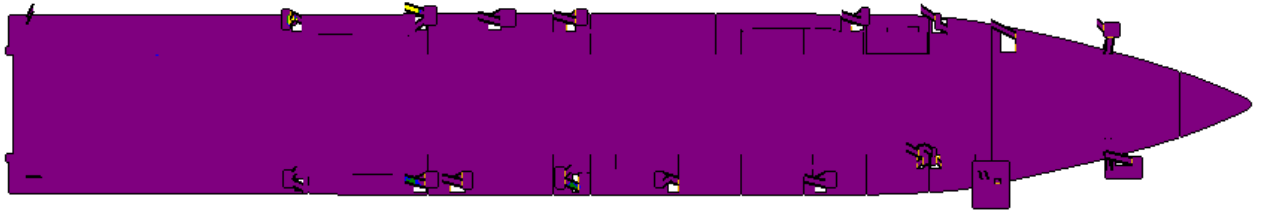


Figura 4-2 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 1).

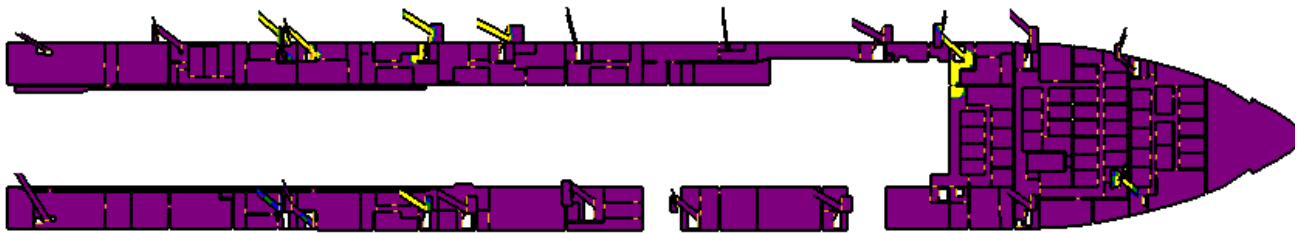


Figura 4-3 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 1).



Figura 4-4 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 1).



Figura 4-5 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 1).

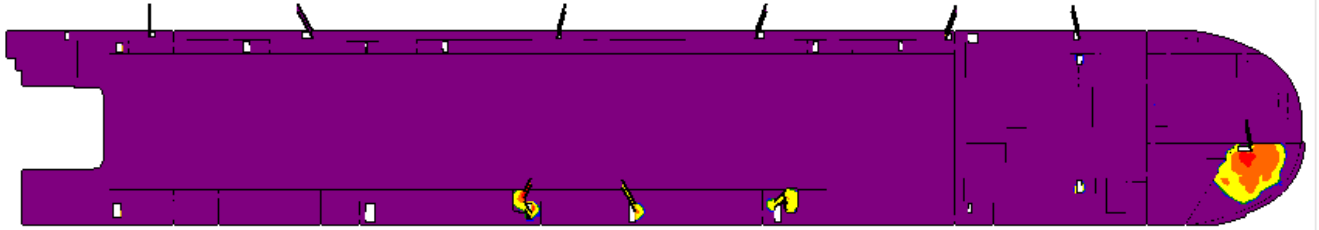


Figura 4-6 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 1).

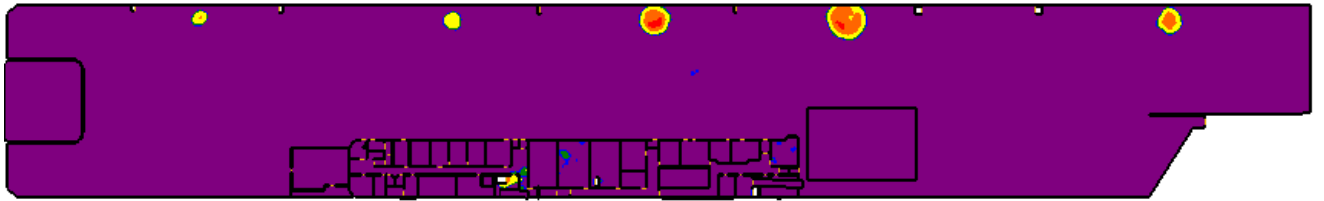


Figura 4-7 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 1).

En las presentes imágenes se pueden apreciar los caminos seguidos por el personal, donde los colores azules representan los colores seguidos por el personal de Cuerpo General, y los colores verdes por los del cuerpo de Infantería de Marina.

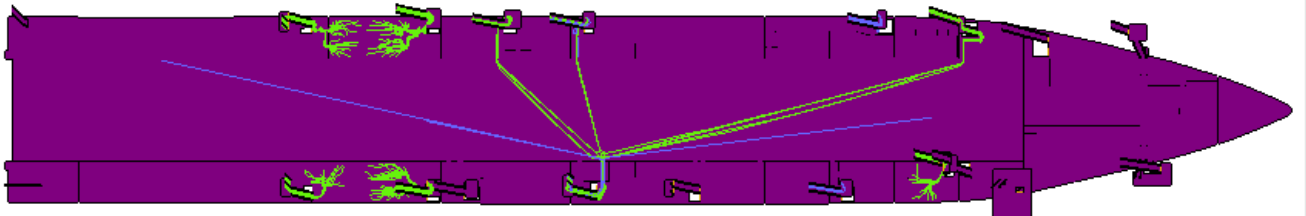


Figura 4-8 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 1).



Figura 4-9 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 1).

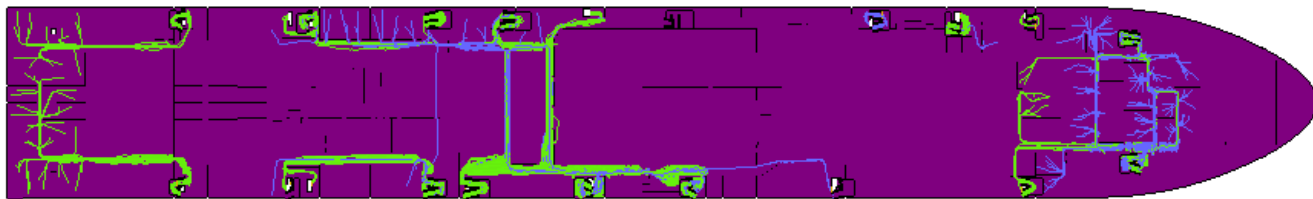


Figura 4-10 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 1).

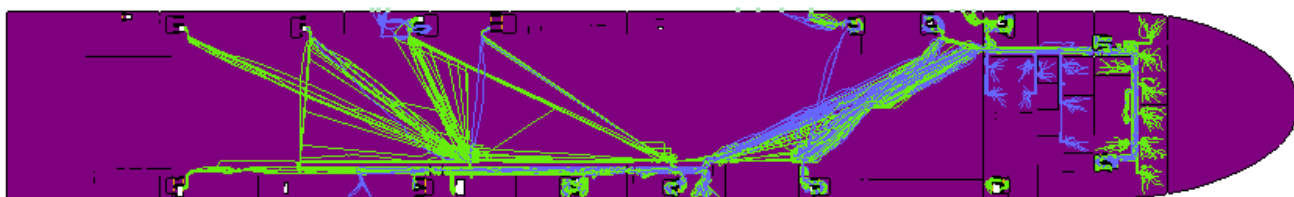


Figura 4-11 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 1).



Figura 4-12 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 1).

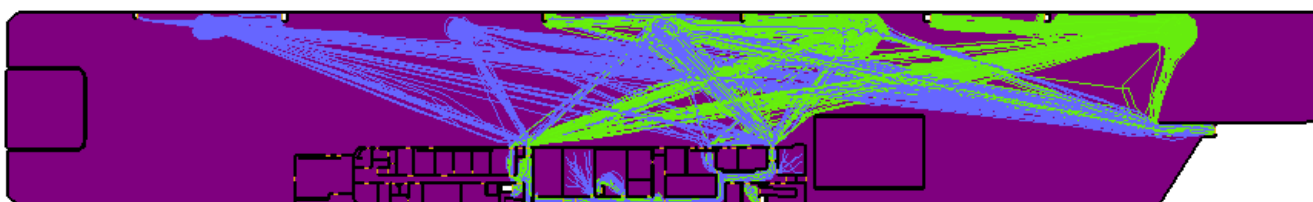


Figura 4-13 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 1).

En el caso 1, el tiempo medio de evacuación es de 2855,6 segundos, que equivale a un tiempo de 47 minutos y 35,4 segundos. En la simulación ya se han incorporado los tiempos de espera y de reacción, siendo el tiempo citado, el tiempo total desde que se da la orden de abandono de buque.

#### 4.1.2 Caso 2a

En el caso 2a, el cual corresponde a la evacuación durante el periodo diurno, se puede apreciar que las colas presentes cerca de las habitaciones se reducen notablemente ya que el personal se encuentra en espacios de trabajo. Aun así, el personal de Infantería de Marina sigue estando en los camarotes o en los lugares de esparcimiento del buque, por lo que sigue habiendo colas.

En este caso, como en el anterior, no se muestran imágenes de la cubierta 5, 03, 04 y 05 ya que son ocupadas por poco personal. Debido a que el personal se sitúa en espacios separados en vez de estar casi todos en sus camarotes, se observa que las colas se reducen y en consecuencia no hay tanta conglomeración en los puntos críticos tal y como se muestra en el AII.2 Caso 2a ya que los colores son más amarillentos y las áreas de conglomeración se reducen.

En el AII.2 Caso 2a, se pueden apreciar también las imágenes que muestran los caminos seguidos por el personal. Se puede observar que en la cubierta 3, los caminos representados son prácticamente de la Fuerza de Desembarco ya que en este caso, la tripulación no se encuentra en sus camarotes.

En el caso 2a, el tiempo medio de evacuación es de 2544,5 segundos que convertido a minutos hace un tiempo total de 42 minutos y 24,5 segundos. Este tiempo es 6 minutos menor que en el caso 1 debido a los tiempos de reacción, los cuales son menores, y a que debido a que el personal se encuentra más disperso por el buque, la formación de colas disminuye.

#### *4.1.3 Caso 2b*

El caso 2b, el cual corresponde a la situación de zafarrancho de combate, es el caso con menor tiempo de evacuación debido a dos motivos. Primero, al igual que en el caso 2a, el personal se encuentra distribuido por el buque, y además se presupone un tiempo de reacción nulo. Aun así las colas son apreciables a lo largo de las distintas cubiertas.

En el AII.3 Caso 2b se muestran las imágenes correspondientes a la mayor formación de colas de la cubierta 4 a la cubierta 02.

Como se puede apreciar, las colas son prácticamente iguales y en los mismos puntos que en el caso anterior, pero en este caso, debido a que el personal no tiene ningún tiempo de espera, y por tanto comienzan la evacuación al mismo tiempo, las colas formadas en este caso son ligeramente superiores que en el caso 2a, ya que en el segundo caso hay un intervalo de tiempo en el que la población comienza la evacuación.

En cuanto a los caminos seguidos por el personal mostrados en el AII.3 Caso 2b, son prácticamente los mismos que en el caso 2a

En el caso 2b, la evacuación se ejecuta en un tiempo medio de 2285,4 segundos que se corresponde a un tiempo total de 38 minutos y 5,4 segundos. Este tiempo es el menor de todos los casos y se corresponde con lo esperado ya que en esta situación no hay tiempo de reacción y la población simulada ejecuta la evacuación tras la orden de abandono de buque.

#### *4.1.4 Caso 3*

Este caso corresponde con la situación de noche de nuevo pero con la peculiaridad de que la mitad de los troncos situados en la banda de babor de la cubierta 02, están inutilizados por lo que el personal tiene que recurrir a la utilización de un camino secundario. Por este motivo y tal como se preveía, el tiempo en la evacuación aumenta debido a la formación de mayores colas en las escalas y escaleras que anteriormente no eran tan usadas.

Tras el análisis de las imágenes del AII.4 Caso 3, se puede apreciar que aumentan la aglomeración del personal evacuado en las cubiertas 1, 01 y 02, sobretodo en la escala de proa de la cubierta 01 y en las escaleras centrales de estribor de la cubierta 1.

En el AII.4 Caso 3 se muestran las imágenes correspondientes a los caminos seguidos por el personal, donde se puede apreciar el cambio de las líneas que muestran el recorrido durante el abandono de buque. Estos cambios se producen en las cubiertas afectadas por la eliminación de los troncos.

En el caso 3, el tiempo medio de evacuación es de 3019,5 segundos o, lo que es lo mismo, 50 minutos y 19,5 segundos siendo, este tiempo, el mayor de todos los casos simulados. Es lógico obtener este resultado ya que además de ser de noche y por tanto incluir tiempos de reacción mayores, se añade el input de utilizar caminos alternativos que implican mayores colas en la evacuación.

#### *4.1.5 Caso 4a*

En este caso, la evacuación se realiza durante el día y con el mismo inconveniente que en el caso anterior. Debido a la falta de troncos, el tiempo aumenta con respecto a su caso homólogo 2a pero a pesar del tiempo perdido por las colas producidas por los caminos alternativos, el tiempo medio final se asemeja en gran medida con el caso 1.

Al igual que en el caso anterior, la gran diferencia con respecto al caso 2a se encuentra en las cubiertas 1, 01 y 02 ya que es donde afectan los troncos suprimidos. En el AII.5 Caso 4 se encuentran todas las imágenes correspondientes a este caso.

Como era de esperar, las colas aparecen en los mismos lugares que en el caso anterior pero se puede observar que las colas en la proa de la cubierta 01 disminuyen, mientras que las producidas en las escalas del través de estribor de la cubierta 1 aumentan. Esto se debe seguramente a que el personal proviene de lugares distintos en ambos casos, ya que en el caso anterior la mayoría del personal provenía de los camarotes, los cuales en el caso de Cuerpo General abundan en proa, y en este caso el personal se encuentra en sus puestos de trabajo por lo que las escaleras centrales tienen un mayor uso.

En el AII.5 Caso 4 se muestran los caminos realizados por los ocupantes del buque. Hay que destacar las imágenes correspondientes a las cubiertas 1, 01 y 02 ya que las demás cubiertas se comportan de la misma manera que en el caso sin inconveniente en los troncos.

En este caso, al igual que en el caso anterior, se observa como los caminos que se realizaban en hacia los troncos de la cubierta 02 desaparecen, aumentando los caminos hacia la escala de proa y hacia la isla de la cubierta de vuelo.

En el caso 4a, el tiempo medio transcurrido desde que se da la orden de abandono de buque hasta su evacuación por parte del personal, es de un total de 2860,4 segundos, lo que equivale a un tiempo de 47 minutos y 40,4 segundos. El tiempo transcurrido, tal y como se dijo anteriormente, se asemeja al del caso 1, siendo este ligeramente superior.

#### *4.1.6 Caso 4b*

Finalmente, el caso 4b que corresponde con la situación de zafarrancho de combate posee el menor tiempo de los casos en los que fallan los troncos, como era de esperar. Las colas producidas se asemejan al caso anterior aunque se observan ciertas diferencias cuya explicación reside seguramente, al igual que en los casos 2a y 2b, a la diferencia de tiempos con los que reacciona el personal ya que en el caso 4a, existe un intervalo de tiempo mientras que en el caso 4b el tiempo es nulo para todos excepto para el equipo de control y salvamento.

En el AII.6 Caso 4b se encuentran todas las imágenes correspondientes a las colas producidas en este caso.

Como se comentó anteriormente, las colas se producen prácticamente en las mismas zonas que en el caso anterior a pesar de que existan ciertas diferencias como las comentadas anteriormente.

En cuanto a los caminos realizados por el personal mostrados en el AII.6 Caso 4b, coinciden con los del caso 4a.

El tiempo medio total en este caso es de 2747 segundos que equivale a un tiempo de 45 minutos y 47 segundos, siendo este tiempo menor al del caso 1. A pesar de que exista la inutilización de ciertos troncos, este tiempo es lógico debido a que el personal se encuentra en la situación de zafarrancho de



combate y por tanto el tiempo ahorrado debido a la rápida reacción es mayor que el tiempo de espera en las colas producidas por las deficiencias.

## 4.2 Análisis estadístico de los datos

Tras obtener los resultados de las simulaciones realizadas con el programa Pathfinder, se procede a realizar un estudio estadístico de los valores mediante un análisis descriptivo, el diagrama de caja y un test de distribución.

### 4.2.1 Análisis descriptivo

Se observa en los datos recogidos por la Tabla 4-1 y la Tabla 4-2, que existe una diferencia notable entre los 3 primeros casos (con troncos operativos) y los 3 últimos (con troncos inoperativos).

Se puede apreciar a simple vista que los tiempos medios en los casos 1 a 2b, son menores que en los casos 3 a 4b, a excepción del caso 4b que resulta menor que el caso 1 debido a los motivos explicados en el apartado 4.1.6. Además se puede apreciar que el error típico es mayor en los casos 3, 4a y 4b demostrando así que las variaciones producidas por causas distorsionantes tanto desconocidos como conocidos.

Se puede observar también que los valores máximos y mínimos de los 3 primeros casos son menores que los respectivos de los 3 últimos casos, a excepción del caso 1, el cual es muy parecido al caso 4a, y superior al caso 4b, demostrando que el factor noche es de vital importancia.

En cuanto al coeficiente de asimetría, se puede apreciar que en los 3 primeros casos, este es positivo indicando que hay asimetría positiva y por tanto hay más datos con tiempos superiores a la moda. En cambio, en los 3 últimos casos, los valores de los coeficientes de simetría son más cercanos a 0 implicando que la desviación que haya tanto a derecha como a izquierda es pequeña y por tanto se aproximan más a una distribución normal.

Tabla 4-1 Datos estadísticos de los casos 1 a 2b

<b>Caso1</b>		<b>Caso2a</b>		<b>Caso2b</b>	
<b>Media</b>	2855,605	<b>Media</b>	2544,4800	<b>Media</b>	2285,3550
<b>Error típico</b>	15,985	<b>Error típico</b>	21,9125	<b>Error típico</b>	22,7620
<b>Mediana</b>	2831,530	<b>Mediana</b>	2521,9050	<b>Mediana</b>	2246,2800
<b>Desviación estándar</b>	50,5496	<b>Desviación estándar</b>	69,2934	<b>Desviación estándar</b>	71,9798
<b>Varianza de la muestra</b>	2555,2646	<b>Varianza de la muestra</b>	4801,5806	<b>Varianza de la muestra</b>	5181,0979
<b>Curtosis</b>	1,5077	<b>Curtosis</b>	-1,7966	<b>Curtosis</b>	0,0932
<b>Coefficiente de asimetría</b>	1,5259	<b>Coefficiente de asimetría</b>	0,3933	<b>Coefficiente de asimetría</b>	1,1586
<b>Rango</b>	150,0000	<b>Rango</b>	176,7500	<b>Rango</b>	209,0000
<b>Mínimo</b>	2817,5300	<b>Mínimo</b>	2471,7800	<b>Mínimo</b>	2219,2800
<b>Máximo</b>	2967,5300	<b>Máximo</b>	2648,5300	<b>Máximo</b>	2428,2800
<b>Suma</b>	28556,0500	<b>Suma</b>	25444,8000	<b>Suma</b>	22853,5500

Tabla 4-2 Datos estadísticos de los casos 3 a 4b

<b>Caso3</b>		<b>Caso4a</b>		<b>Caso4b</b>	
<b>Media</b>	3019,4800	<b>Media</b>	2860,3550	<b>Media</b>	2746,9800
<b>Error típico</b>	29,9731	<b>Error típico</b>	24,1020	<b>Error típico</b>	34,5956
<b>Mediana</b>	3022,1550	<b>Mediana</b>	2839,0300	<b>Mediana</b>	2759,6550
<b>Desviación estándar</b>	94,7832	<b>Desviación estándar</b>	76,2173	<b>Desviación estándar</b>	109,4010
<b>Varianza de la muestra</b>	8983,8583	<b>Varianza de la muestra</b>	5809,0840	<b>Varianza de la muestra</b>	11968,5806
<b>Curtosis</b>	0,3306	<b>Curtosis</b>	-1,3446	<b>Curtosis</b>	-0,4508
<b>Coficiente de asimetría</b>	-0,3804	<b>Coficiente de asimetría</b>	0,3995	<b>Coficiente de asimetría</b>	-0,6248
<b>Rango</b>	329,5000	<b>Rango</b>	213,7500	<b>Rango</b>	313,0000
<b>Mínimo</b>	2837,7800	<b>Mínimo</b>	2756,2800	<b>Mínimo</b>	2569,5300
<b>Máximo</b>	3167,2800	<b>Máximo</b>	2970,0300	<b>Máximo</b>	2882,5300
<b>Suma</b>	30194,8000	<b>Suma</b>	28603,5500	<b>Suma</b>	27469,8000

#### 4.2.2 Diagramas de cajas

Tras ver el análisis descriptivo de los datos obtenidos, se procede a analizar mediante un diagrama de cajas, los resultados de la evacuación atendiendo a su homogeneidad.

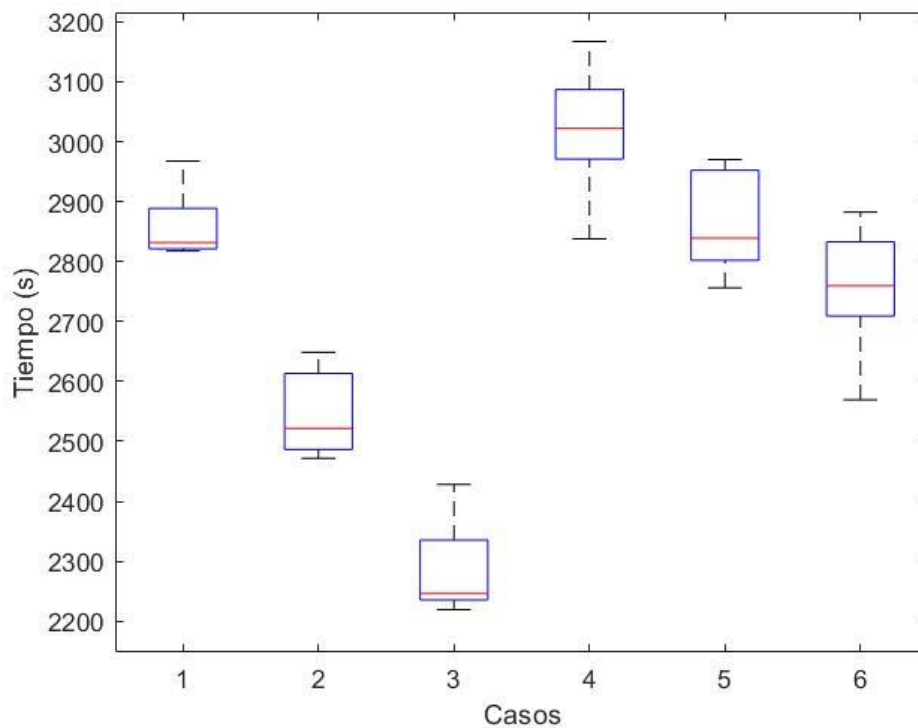


Figura 4-14 Diagrama de cajas de los 6 casos presentes en la simulación.

Como se observa en la Figura 4-14, los diagramas muestran la distribución del conjunto de los datos estudiados en una sola imagen. Con este diagrama se puede concluir a simple vista que en los casos 1, 2a y 2b, (1, 2 y 3) el tiempo de evacuación es menor que en los casos 3, 4a y 4b (4, 5 y 6) ya que en estos 3 últimos casos, la población ha tenido que usar caminos alternativos a los habituales debido a la falta de ciertos troncos. Aun así, se puede apreciar que el caso 1 es ligeramente mayor que el caso 4b, demostrando que el tiempo de espera en el caso de noche es superior al tiempo incrementado por las colas en el caso 4b que corresponde a la situación de zafarrancho de combate.

También se puede observar que los valores obtenidos en el caso 1 son mayores que en el caso 2a, y a su vez, en el caso 2a los valores son mayores que en el caso 2b. Esto se debe a que el primer caso corresponde con la noche y por tanto el tiempo de reacción es mayor, el segundo caso corresponde con el día y por tanto el tiempo de reacción es menor que en el caso anterior, y por último el tercer caso corresponde con el supuesto de zafarrancho de combate donde el tiempo de reacción se ha considerado nulo. En los tres casos siguientes ocurre lo mismo.

En el diagrama se puede observar también que no aparece ningún *outlier*, por lo que todos los valores se encuentran dentro de los límites y por tanto no hay valores atípicos. Esto deja de manifiesto que las diez simulaciones elaboradas en cada caso poseen una gran consistencia.

Así mismo se puede intuir con el diagrama que el caso 2b y el caso 3 son los límites ya que en el primero la evacuación ocurre en el menor tiempo y en el segundo ocurre en el mayor tiempo. Por último, se puede apreciar que las medianas de los 3 últimos casos, están más centradas, por lo que se puede deducir que hay un mayor número de valores cercanos a dicha mediana siguiendo así una distribución normal.

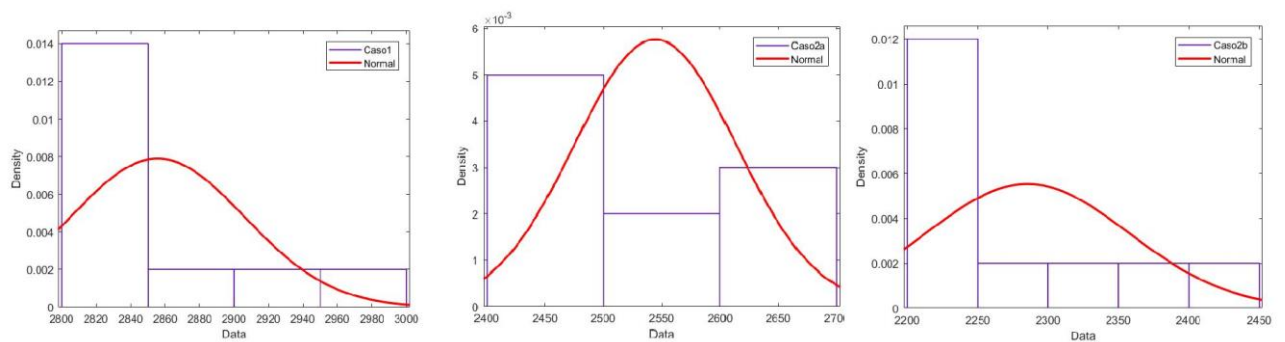
#### 4.2.3 Test de distribución

Finalmente, se procede a realizar el test de distribución de los 6 casos estudiados. Como se indicó en el apartado 3.3.3, se ha utilizado el test de Lilliefors para demostrar si se puede rechazar la hipótesis de distribución normal.

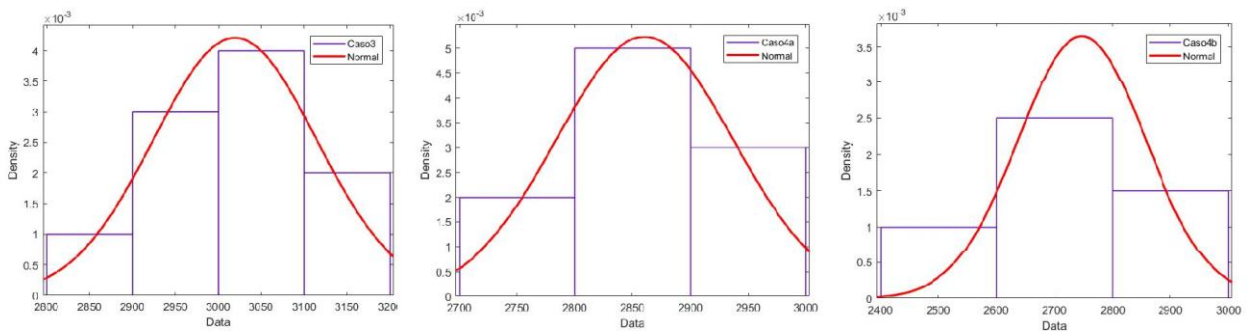
En los casos 1, 2a y 2b, el test ha indicado que se rechaza la hipótesis y por tanto, se demuestra que no se puede decir que sigan una distribución normal, mientras que en los casos 3, 4a y 4b, el test de Lilliefors indica  $h=0$ , lo cual implica que en estos 3 casos, no se puede rechazar que sigan una distribución normal.

Aunque esto pueda parecer ilógico ya que en todos los casos los valores de velocidad están dentro del mismo intervalo, es cierto que las velocidades sí varían dependiendo del terreno por el que se camine ya que las escalas y escaleras tienen un factor de reducción que difiere con el factor de los troncos, siendo la velocidad en estos últimos menor. Por tanto en los 3 últimos casos, al suprimir dichos troncos, el personal se dirige por un terreno más homogéneo y por tanto los tiempos se asemejan más entre sí.

Esto se puede observar en los histogramas de los tiempos de los distintos casos, en las cuales se puede ver cómo los 3 últimos casos se asemejan más a una distribución normal, mientras que en los 3 primeros casos no.



**Figura 4-15 Histogramas del caso 1 al caso 2b.**



**Figura 4-16 Histogramas del caso 3 al caso 4b.**

Además, los resultados obtenidos tras la realización del test de Lilliefors, se corroboran con los resultados analizados en los apartados 4.2.1 y 4.2.2, reforzando todavía más el análisis descrito anteriormente.

## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 5.1 Conclusiones

En las primeras fases del presente Trabajo de Fin de Grado se ha realizado el estudio y modelado de la evacuación de un buque. Para ello se han tenido en cuenta estudios sobre evacuación y la cada vez más amplia normativa vigente que intenta contemplar todas las situaciones que se pueden dar en la realización de un abandono de buque y así poder afianzar con mayor seguridad unos tiempos máximos de la evacuación.

Para realizar el análisis avanzado de la evacuación, se ha utilizado el software de simulación Pathfinder, con el cual se ha podido representar el buque de una manera fiel siguiendo los planos de disposición general y la doctrina de evacuación. Se ha puesto de manifiesto la importancia de la ubicación de las puertas, escalas, troncos y pasillos a lo largo del buque ya que son los elementos que más favorecen la formación de colas. Se han establecido ciertas condiciones o hipótesis para la correcta simulación y estudio de la evacuación ya que al tratarse de un programa informático, es necesario configurar de manera precisa y completa las variables de comportamiento que pueden condicionar a las personas para evacuar un buque.

Tras el estudio de las imágenes que muestran las colas y las trayectorias se demuestra la importancia de los tiempos de reacción y de la situación del personal previamente al abandono ya que si se encuentran diseminados por los distintos puestos a cubrir, se consigue una menor aglomeración en las inmediaciones a escalas y pasillos. A esto se le suma la importancia de tener todas las vías de escape operativas, evitando así que el personal recurra a caminos alternativos.

Mediante el programa Matlab, y en particular mediante el test de Lilliefors, se aprecia cómo los 3 últimos casos siguen una distribución normal debido a la inutilización de algunos troncos que reducían la velocidad del personal que los usaban, consiguiendo así que las velocidades totales existentes en la evacuación sean más homogéneas. Con esto, se podría suponer que la implementación de escalas en sustitución a los troncos ayudaría en gran medida a asegurar, con un alto porcentaje de seguridad, los tiempos máximos para el abandono del buque.

Por último, teniendo en cuenta las anteriores conclusiones, se ha puesto de manifiesto la importancia de la preparación del personal en la ejecución del abandono del buque ya que los tiempos de reacción son determinantes en la rapidez en la que se ejecuta la evacuación. También se ha hecho patente la necesidad de estibar todos los elementos que puedan interponerse en el camino del personal que está evacuando, ya que estos pueden prolongar los tiempos del abandono debido a que se obturen ciertas escalas o pasillos que sean de vital importancia para la evacuación.

## 5.2 Líneas futuras

Durante la realización del Trabajo de Fin de Grado, han surgido ciertos aspectos que se han considerado interesantes y por tanto se proponen, como líneas futuras, las siguientes:

- Incluir en la simulación una mayor cantidad de personal hasta alcanzar la capacidad máxima del buque.
- Realizar una mayor cantidad de simulaciones sobre el modelo ya diseñado, para así conseguir unos valores más precisos y por tanto saber con mayor seguridad si los datos obtenidos se ajustan a valores reales.
- Integrar en la simulación, el software Pyrosim, para así simular la evacuación con los condicionantes presentes durante un incendio como lo son el humo y el fuego, incluyendo de esta forma la interacción humana con este agente.
- Debido a que el barco con el que se ha trabajado corresponde a un buque con capacidad anfibia, sería interesante realizar una simulación sobre el embarque en las LCM teniendo que respetar los tiempos de tránsito entre las diferentes olas con las que se realiza el desembarco anfibia.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Francisco Javier Pérez Villalonga, La evacuación del buque de guerra, 2008.
- [2] Joan Arnau Bataller Sabaté y Sergi Azón Lluch, Análisis del proceso de evacuación y abandono de un buque RO-PAX, Barcelona, 2012.
- [3] «www.wordpress.com,» [En línea]. Available: <https://psssonline.wordpress.com/2017/10/25/do-the-sinkings-of-the-ms-herald-of-free-enterprise-and-ms-estonia-have-any-bearing-on-us/>.
- [4] Elisa Marcelina Uriarte Fernández, Análisis comparativo de los criterios tradicionales de evacuación de buques frente a los que incluyen la presencia de fuego y humo, 2014.
- [5] Álvaro García Zubizarreta, Análisis de la evacuación del Costa Concordia, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2013.
- [6] «www.elmundo.es,» [En línea]. Available: <http://www.elmundo.es/internacional/2017/05/12/5915fcef2704e032d8b45ce.html>.
- [7] «www.straitstimes.com,» [En línea]. Available: <http://www.straitstimes.com/asia/east-asia/south-koreas-sunken-sewol-ferry-finally-reaches-port>.
- [8] «www.histarmar.com,» [En línea]. Available: <http://www.histarmar.com.ar/Nafragios/IslasMalvinas/ZZ-Sheffield.htm>.
- [9] «www.efemeridesnavales.blogspot.com,» [En línea]. Available: <http://www.efemeridesnavales.blogspot.com.es/2010/05/17-de-mayo-de-1987-dos-misiles-iraquies.html>.
- [10] «www.edition.cnn.com,» [En línea]. Available: <http://www.edition.cnn.com/2013/09/18/world/meast/uss-cole-bombing-fast-facts/index.html>.
- [11] «www.imo.org,» [En línea]. Available: [http://www.imo.org/es/KnowledgeCentre/ReferencesAndArchives/IMO\\_Conferences\\_and\\_Meetings/SOLAS/Paginas/Default.aspx](http://www.imo.org/es/KnowledgeCentre/ReferencesAndArchives/IMO_Conferences_and_Meetings/SOLAS/Paginas/Default.aspx).
- [12] Ernesto Cajiao Gómez, Reseña Histórica Convenio "SOLAS", 2016.

- [13] «[www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec),» 1998. [En línea]. Available: [http://www.inocar.mil.ec/web/images/lotaip/2016/literal\\_a/base\\_legal/A.\\_Convenio\\_internacional\\_solos\\_1974.pdf](http://www.inocar.mil.ec/web/images/lotaip/2016/literal_a/base_legal/A._Convenio_internacional_solos_1974.pdf).
- [14] International Maritime Organization, Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships, 2007.
- [15] CC. Ingeniero José María Riola Rodríguez; CC. Ingeniero Francisco Javier Pérez Villalonga, «Naval Ship Code. Una nueva normativa internacional para buques de guerra,» *Revista General de Marina*, 2008.
- [16] Armada Española, D-CP-09 " Manual de Doctrina de Maniobra y Navegación" (SINCLAS), Centro de Doctrina de la Flota, 2015.
- [17] Cristina Casareale, Gabriele Bernardini, Andrea Bartolucci, Fausto Marincioni, Marco D’Orazio, Cruise ships like buildings: Wayfinding solutions to improve emergency evacuation, 2017.
- [18] Enrico Ronchi, «Evacuation modelling and Virtual Reality for fire safety engineering,» de *Seminar on fire protection for physics research facilities*, Lund University, 2015.
- [19] Cosme Vázquez Tomé, Estudio y simulación de la evacuación de un buque de la Armada, Vigo, 2017.
- [20] «STEPS Simulating pedestrian dynamics,» [En línea]. Available: <https://www.steps.mottmac.com/>. [Último acceso: 08 Febrero 2018].
- [21] «Simulex,» [En línea]. Available: <https://www.iesve.com/software/ve-for-engineers/module/simulex/480>. [Último acceso: 10 Febrero 2018].
- [22] «AENEAS,» DNV GL, [En línea]. Available: <https://www.dnvgl.com/services/aeneas-the-standard-in-passenger-evacuation-analysis-48508>.
- [23] «Thunderhead Engineering,» [En línea]. Available: <https://www.thunderheadeng.com/>. [Último acceso: 08 Febrero 2018].
- [24] «Armada Española,» [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/02lhd-juan-carlos-i>. [Último acceso: 7 Febrero 2018].
- [25] «Liferaft Systems Australia,» [En línea]. Available: <http://www.lsames.com/mes/defence>. [Último acceso: 21 Febrero 2018].
- [26] Armada Española, Plan de abandono de buque, 2014.
- [27] Centro Universitario de la Defensa, Álgebra y estadística, 2013.
- [28] «MathWorks,» [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/help/stats/lillietest.html>. [Último acceso: 24 02 2018].

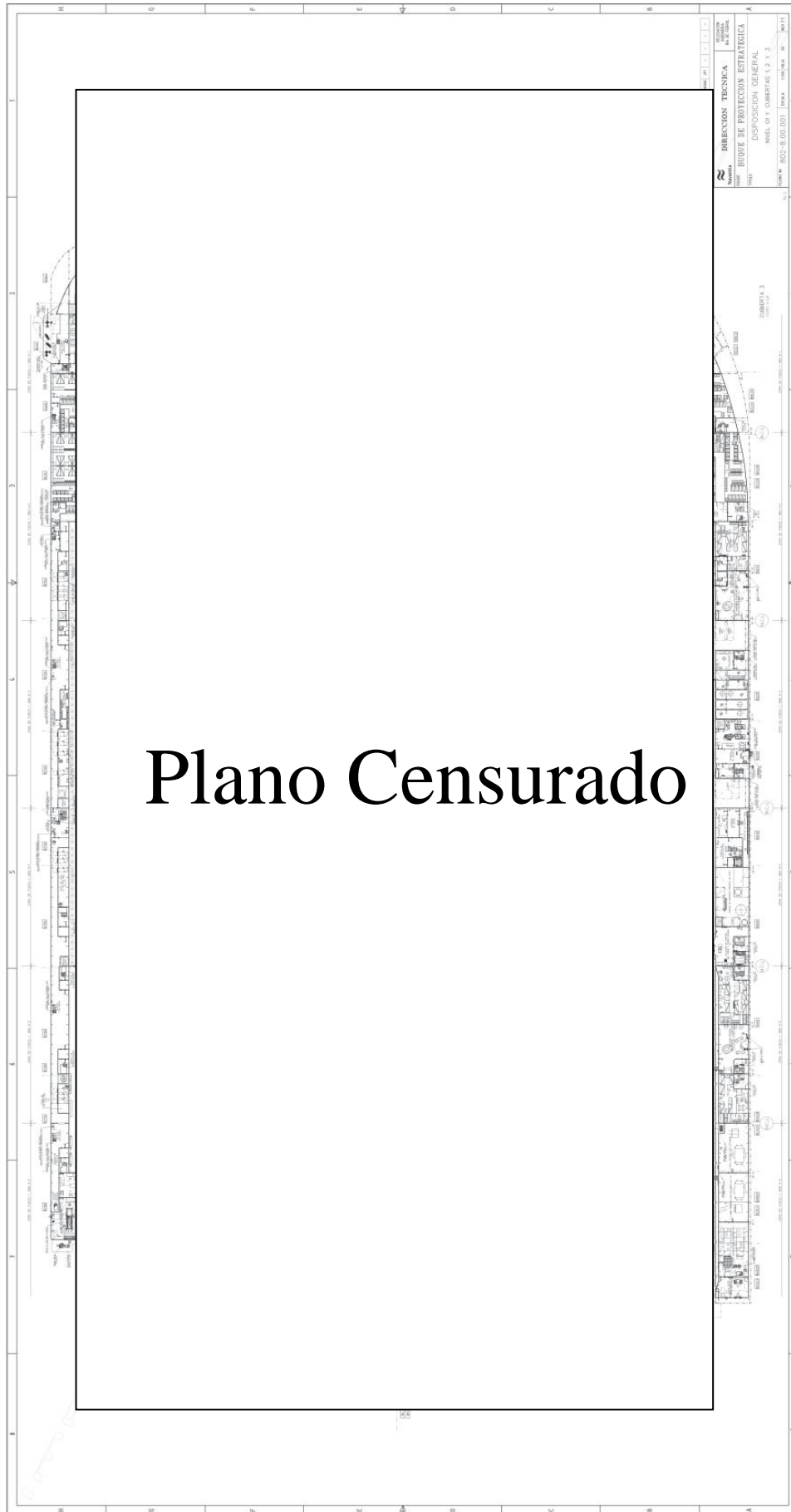


## **ANEXO I: PLANOS DEL JUAN CARLOS I**

En este anexo se muestran los planos de las distintas cubiertas del JCI, utilizados para la elaboración del diseño del buque en el programa de simulación Pathfinder.



Figura A1-1 Planos desde Doble Fondo hasta Cubierta 4.



# Plano Censurado

Figura A1- 2 Planos desde Cubierta 3 hasta Cubierta 01.



Figura A1- 3 Planos desde Cubierta 02 hasta Nivel 06.

## ANEXO II: RESULTADOS SIMULACIÓN PATHFINDER DE COLAS Y CAMINOS

### AII.1 Caso 1

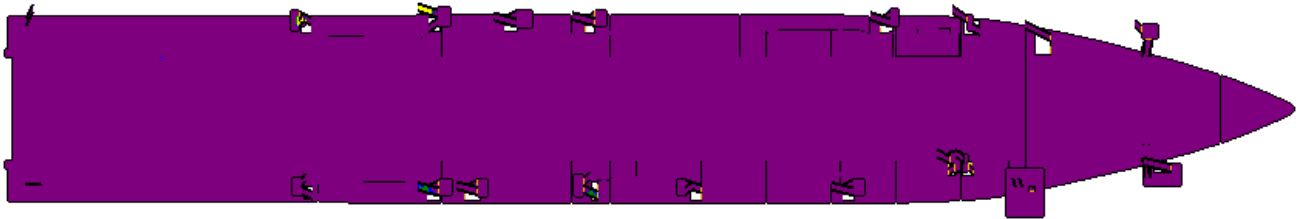


Figura A2-1 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 1).

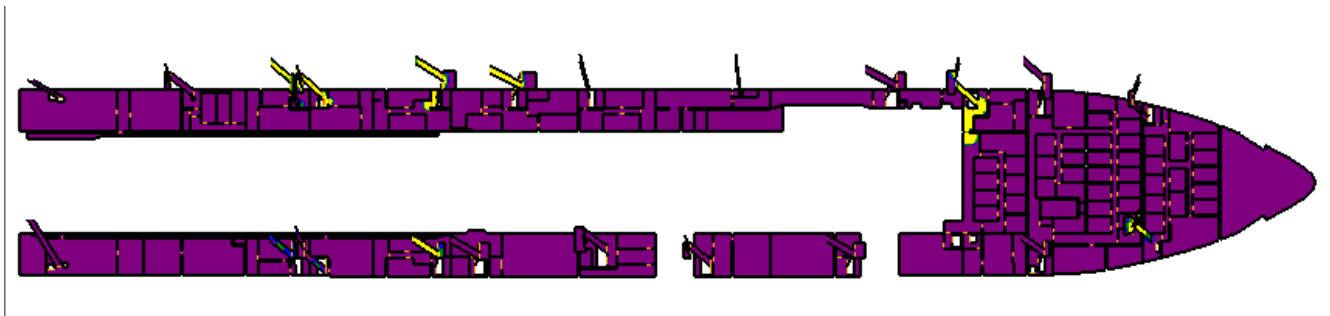


Figura A2-2 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 1).



Figura A2-3 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 1).



Figura A2-4 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 1).

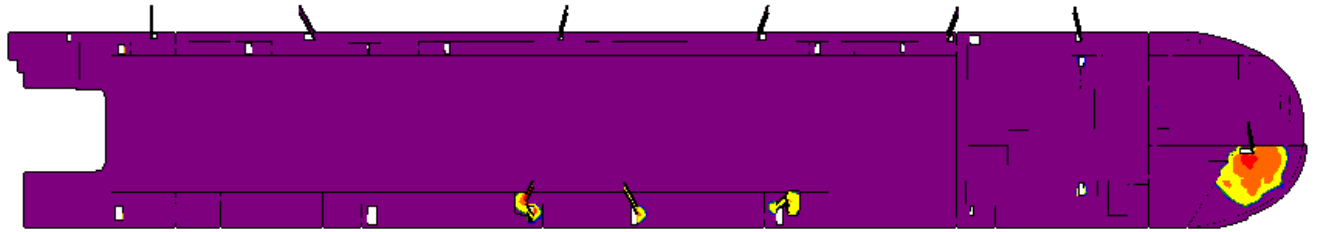


Figura A2-5 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 1).



Figura A2-6 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 1).

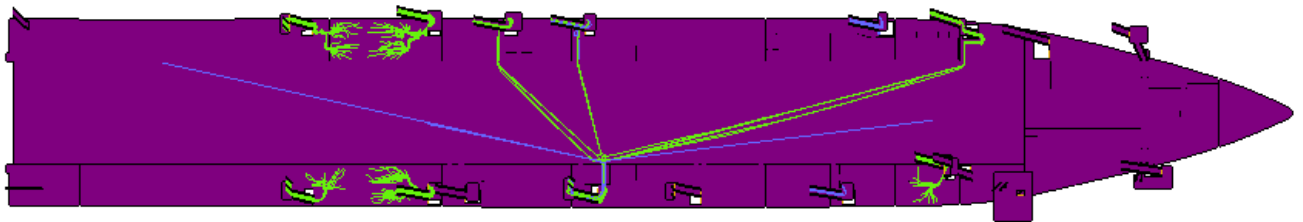


Figura A2-7 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 1).



Figura A2-8 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 1).



Figura A2-9 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 1).

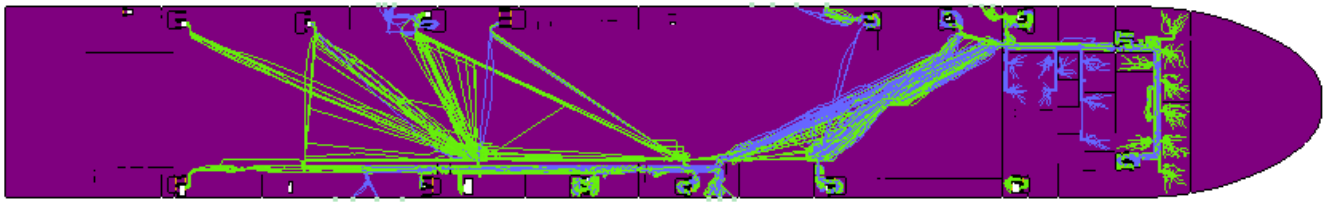


Figura A2-10 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 1).

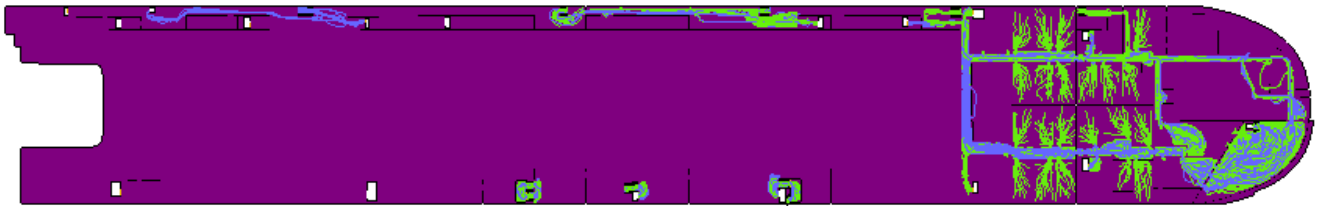


Figura A2-11 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 1).

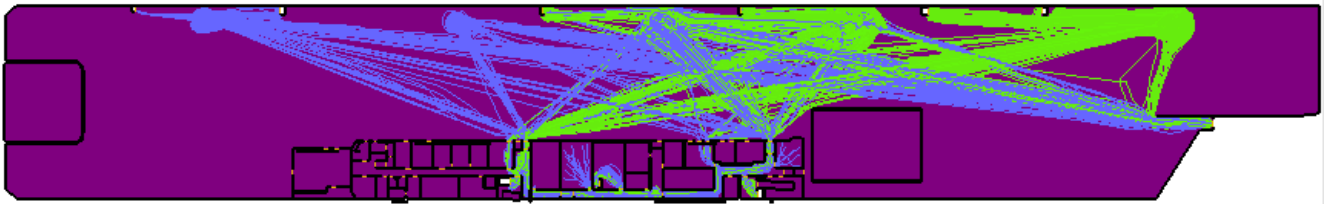


Figura A2-12 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 1).

## AII.2 Caso 2a

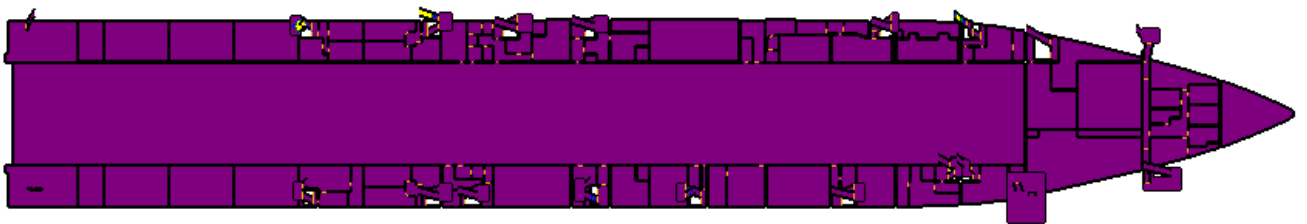


Figura A2-13 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 2a).

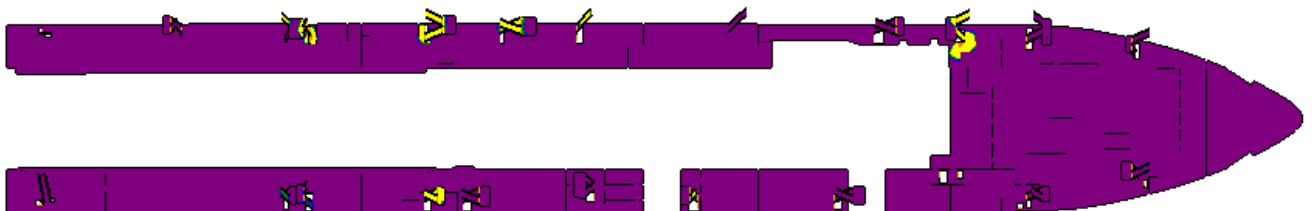


Figura A2-14 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 2a).



Figura A2-15 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 2a).

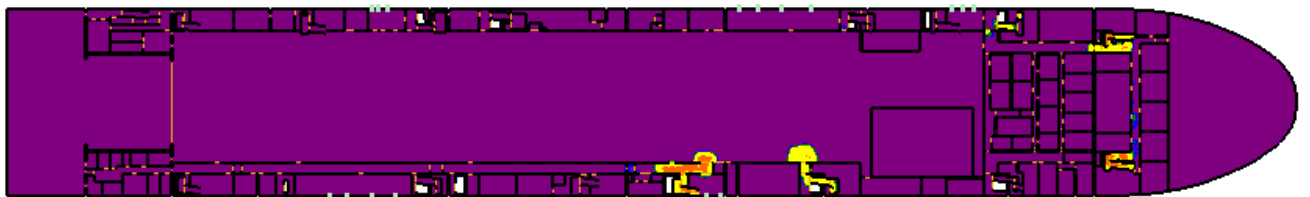


Figura A2-16 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 2a).



Figura A2-17 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 2a).



Figura A2-18 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 2a).

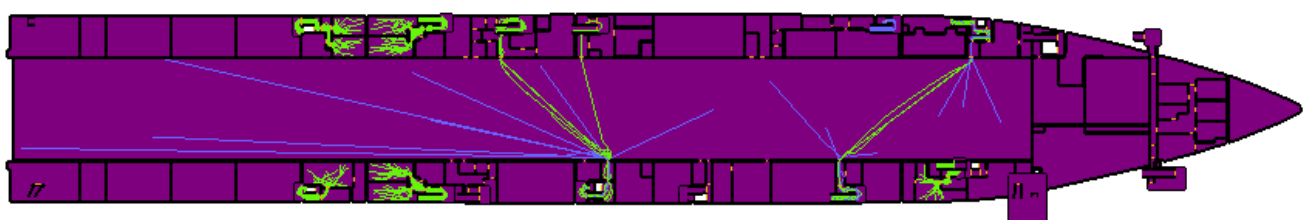


Figura A2-19 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 2a).



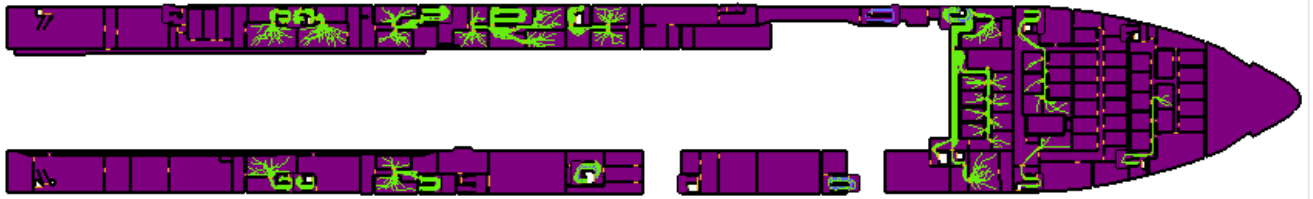


Figura A2-20 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 2a).

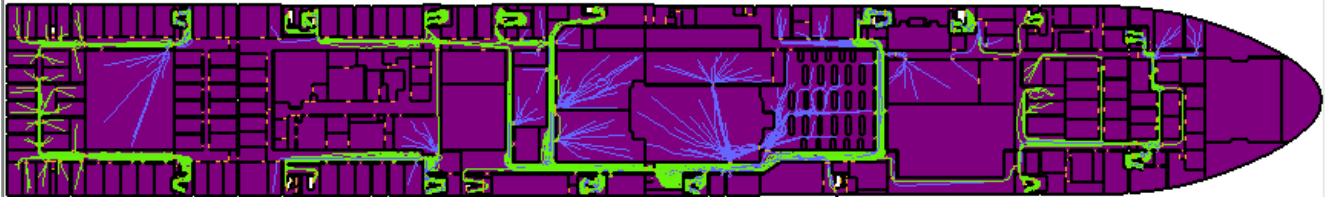


Figura A2-21 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 2a).

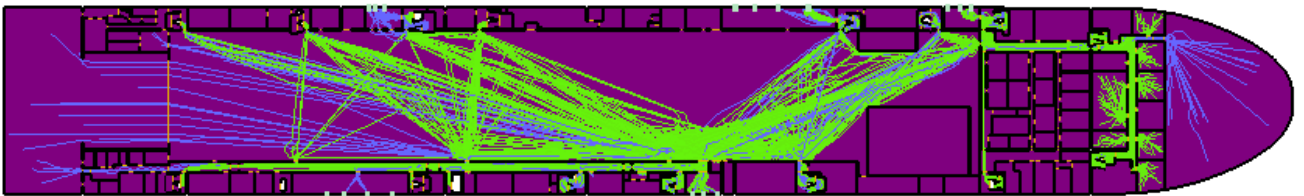


Figura A2-22 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 2a).



Figura A2-23 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 2a).

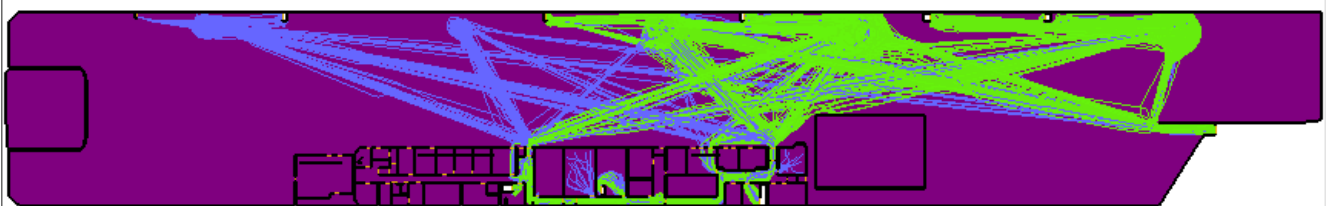


Figura A2-24 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 2a).

### AII.3 Caso 2b

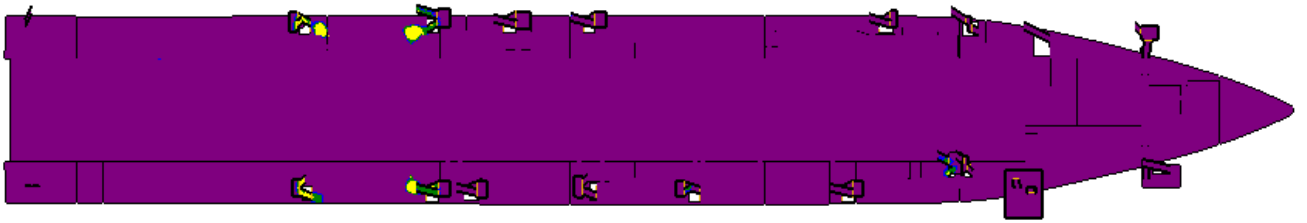


Figura A2-25 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 2b).

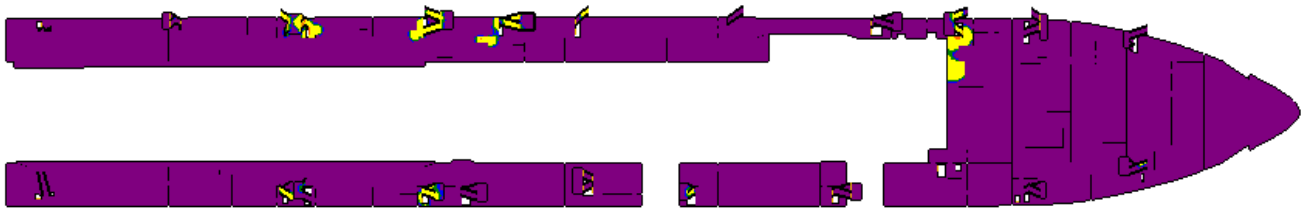


Figura A2-26 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 2b).

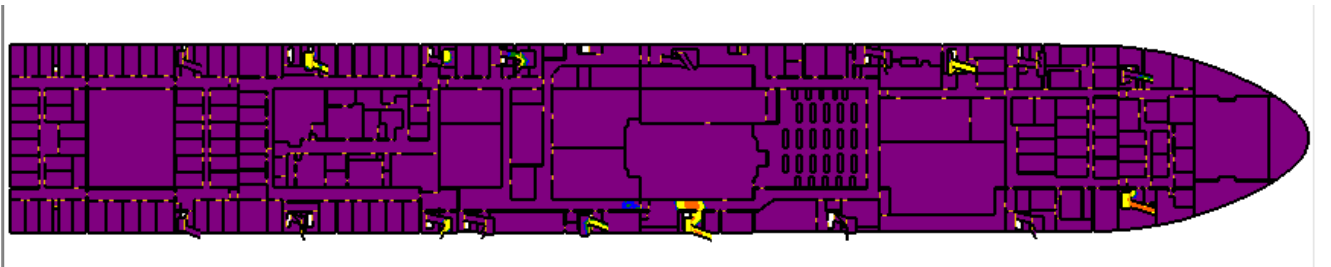


Figura A2-27 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 2b).

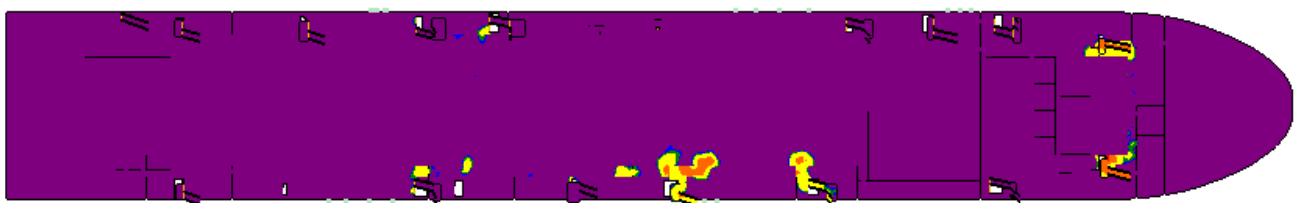


Figura A2-28 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 2b).



Figura A2-29 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 2b).

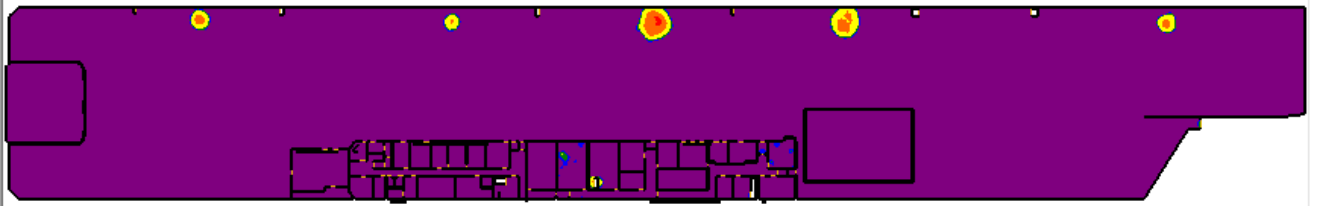


Figura A2-30 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 2b).

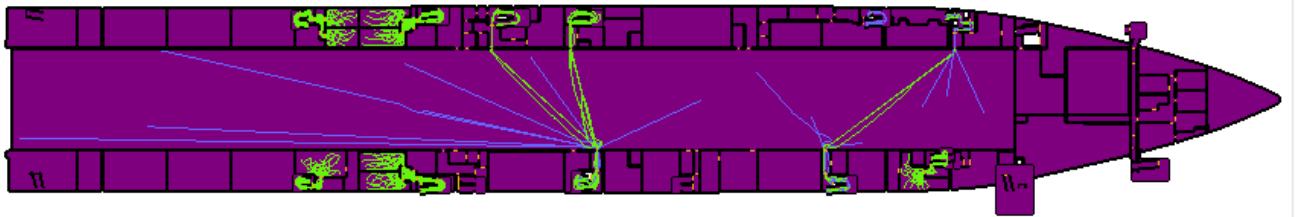


Figura A2-31 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 2b).

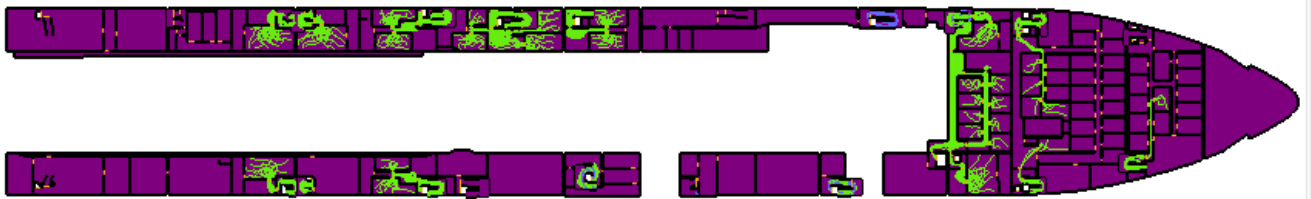


Figura A2-32 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 2b).

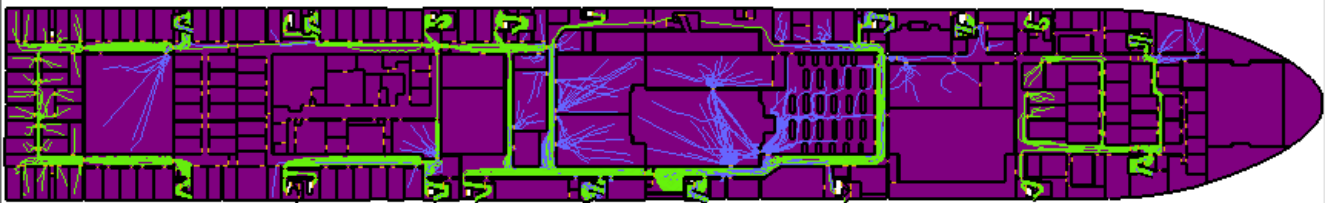


Figura A2-33 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 2b).

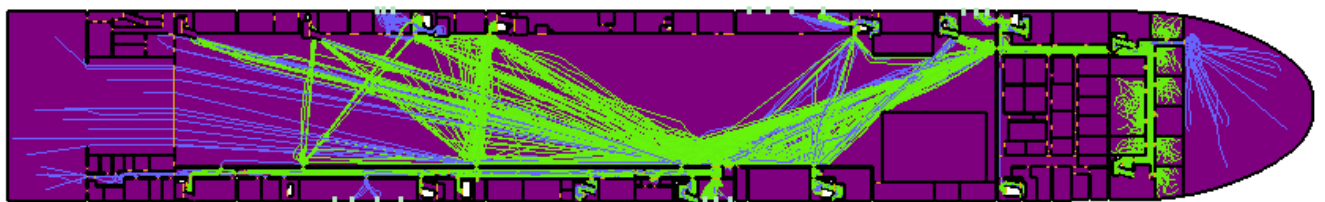


Figura A2-34 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 2b).



Figura A2-35 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 2b).

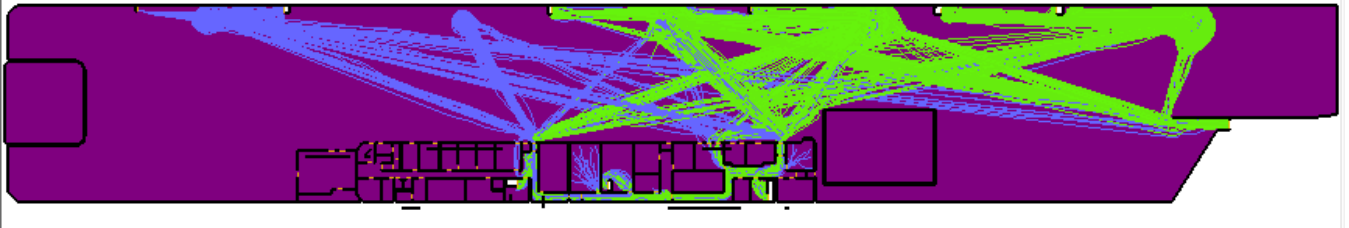


Figura A2-36 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 2b).

### AII.4 Caso 3

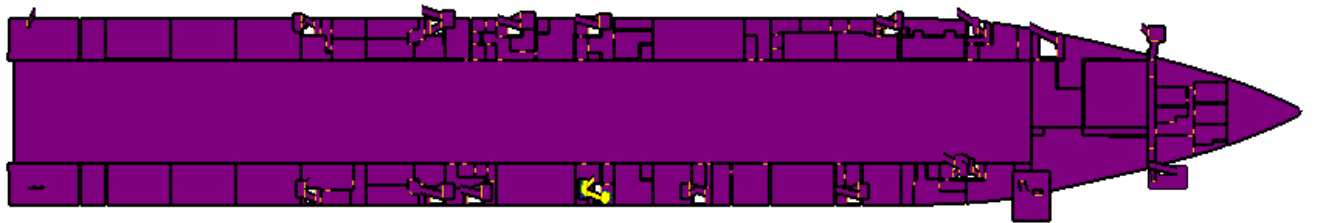


Figura A2-37 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 3).

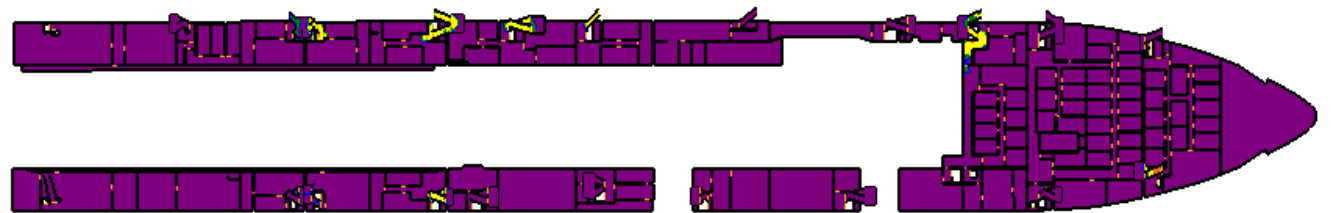


Figura A2-38 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 3).

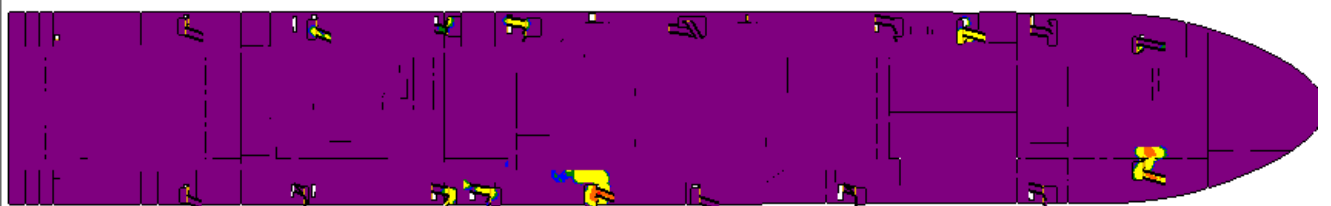


Figura A2-39 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 3).



Figura A2-40 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 3).



Figura A2-41 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 3).



Figura A2-42 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 3).

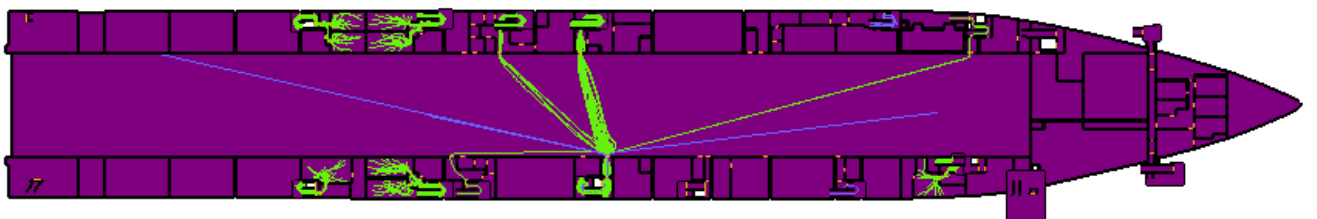


Figura A2-43 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 3).



Figura A2-44 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 3).



Figura A2-45 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 3).

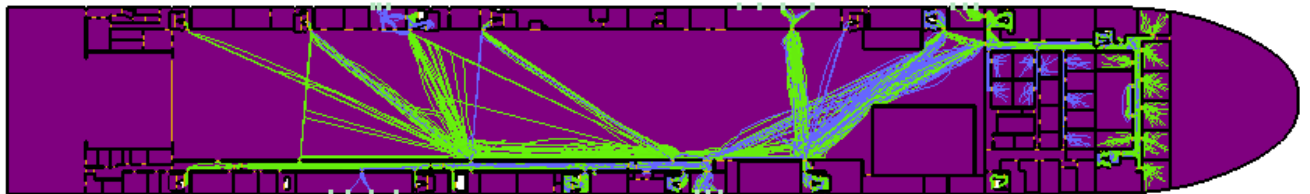


Figura A2-46 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 3).



Figura A2-47 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 3).

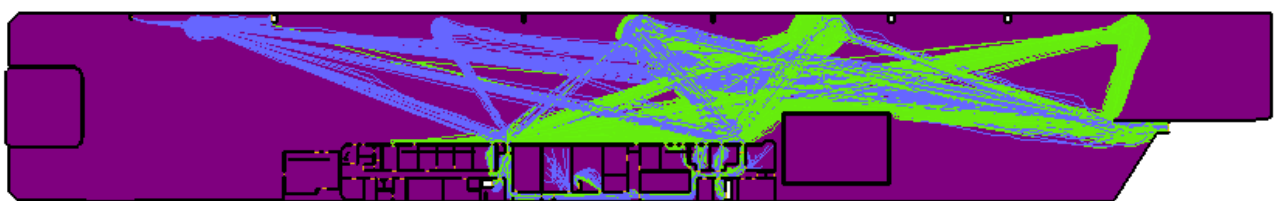


Figura A2-48 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 3).

## AII.5 Caso 4a

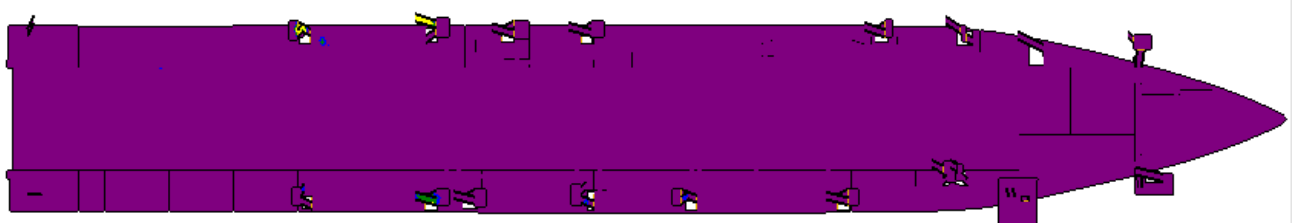


Figura A2-49 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 4a).

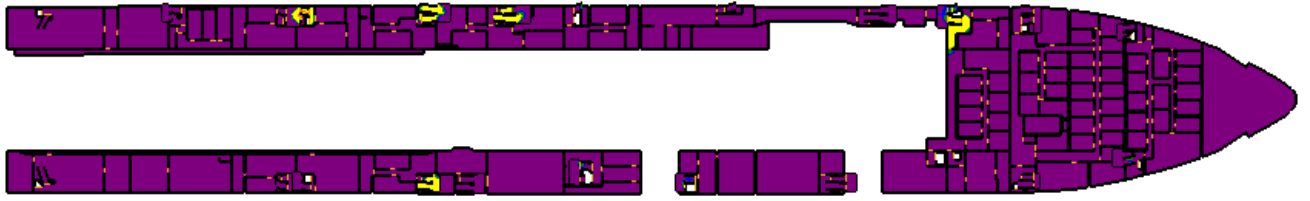


Figura A2-50 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 4a).

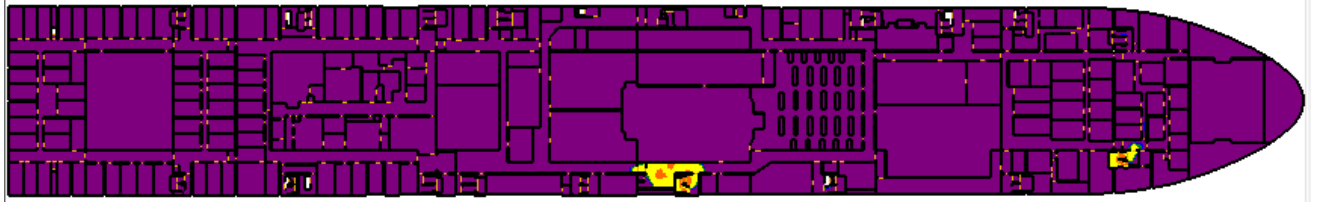


Figura A2-51 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 4a).



Figura A2-52 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 4a).



Figura A2-53 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 4a).



Figura A2-54 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 4a).

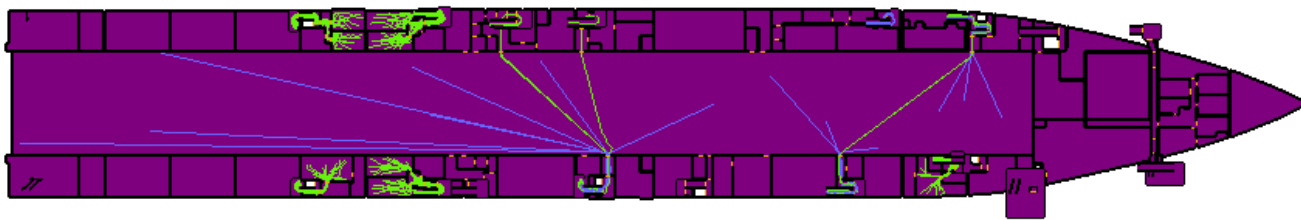


Figura A2-55 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 4a).



Figura A2-56 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 4a).

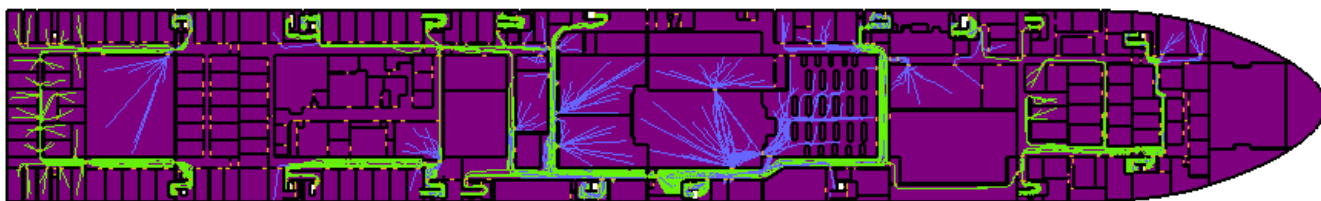


Figura A2-57 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 4a).

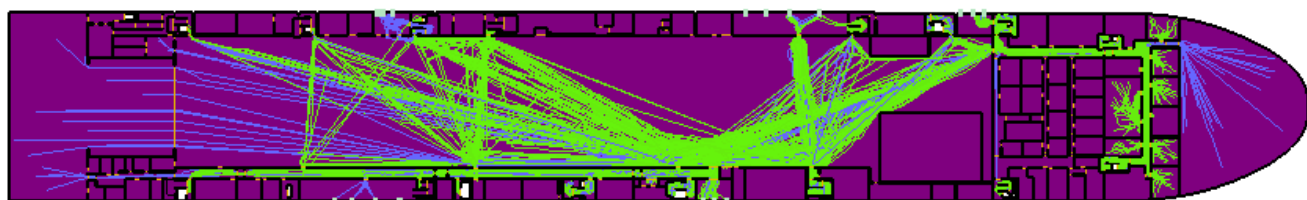


Figura A2-58 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 4a).



Figura A2-59 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 4a).



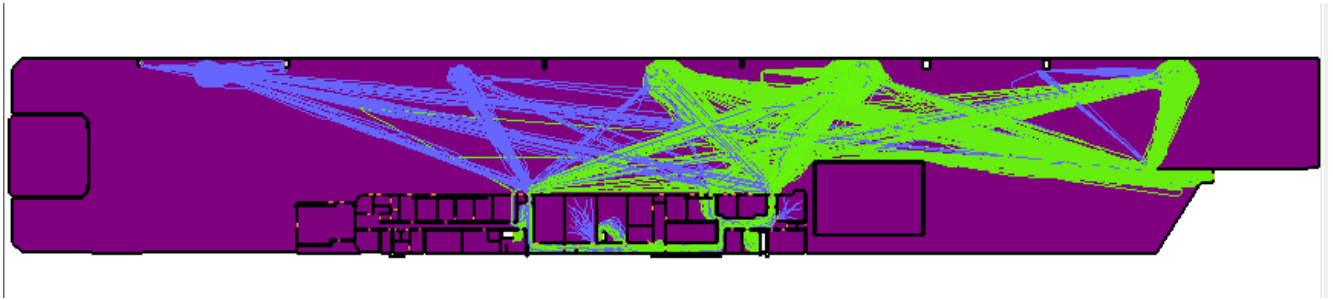


Figura A2-60 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 4a).

## AII.6 Caso 4b

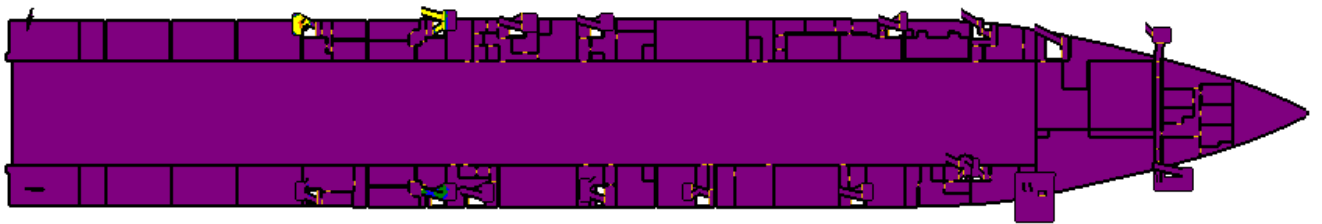


Figura A2-61 Mayor formación de colas en la cubierta 4 (caso 4b).

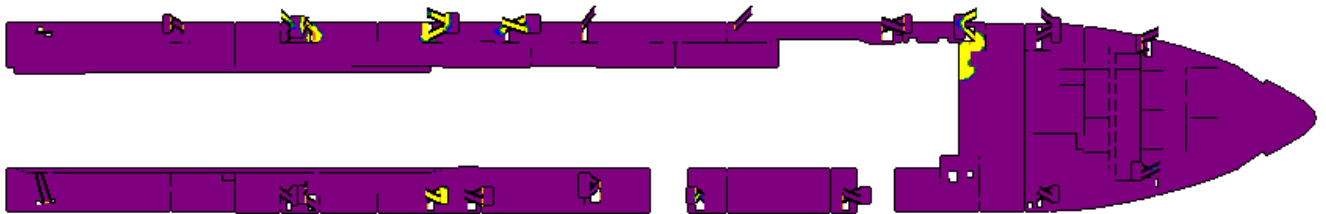


Figura A2-62 Mayor formación de colas en la cubierta 3 (caso 4b).



Figura A2-63 Mayor formación de colas en la cubierta 2 (caso 4b).



Figura A2-64 Mayor formación de colas en la cubierta 1 (caso 4b).



Figura A2-65 Mayor formación de colas en la cubierta 01 (caso 4b).



Figura A2-66 Mayor formación de colas en la cubierta 02 (caso 4b).

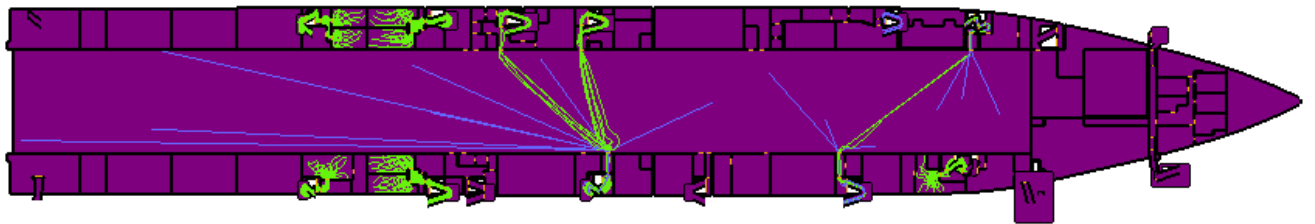


Figura A2-67 Recorrido del personal en la cubierta 4 (caso 4b).

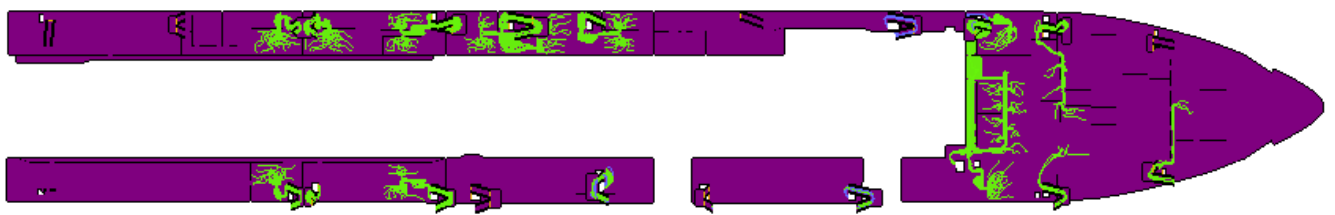


Figura A2-68 Recorrido del personal en la cubierta 3 (caso 4b).

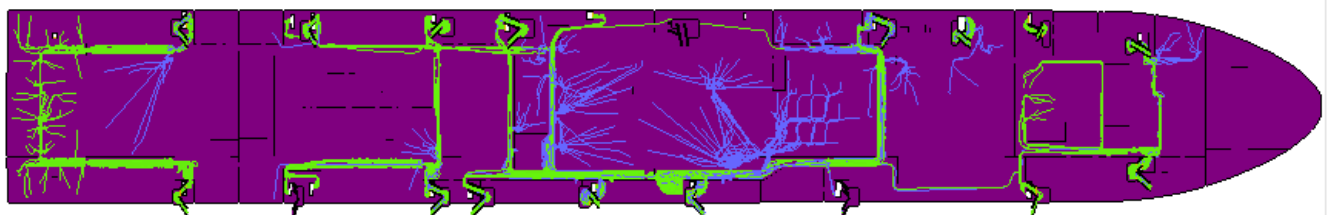


Figura A2-69 Recorrido del personal en la cubierta 2 (caso 4b).

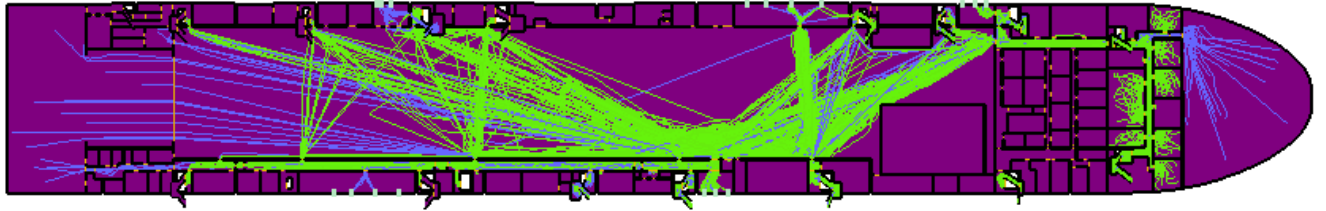


Figura A2-70 Recorrido del personal en la cubierta 1 (caso 4b).



Figura A2-71 Recorrido del personal en la cubierta 01 (caso 4b).

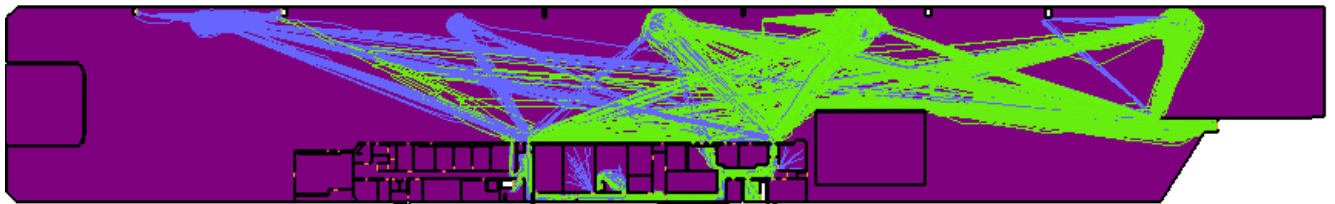


Figura A2-72 Recorrido del personal en la cubierta 02 (caso 4b).

## ANEXO III: GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

ANEP	<i>Allied Naval Engineering Publication.</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design.</i>
CONVEMAR	Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar.
D-CP	Doctrina de Control de Plataforma.
ECS	Equipo de Control y Salvamento.
EEUU	Estados Unidos.
FDS	<i>Fire Dynamic Simulator.</i>
HMS	<i>Her Majesty's Ship.</i>
IQR	Rango Intercuartílico.
JCI	Juan Carlos I.
MSC	Comité de Seguridad Marítima.
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology.</i>
NSC	<i>Naval Ship Code.</i>
OMI	Organización Marítima Internacional.
OTAN	Organización del Tratado Atlántico Norte.
Q	Cuartil.
RHIB	<i>Rigid-Hulled Inflatable Boat.</i>
Ro-Ro	<i>Roll on- Roll off.</i>
SFM	Modelo de Fuerzas Social.
SOLAS	<i>Safety Of Life At Sea.</i>
STEPS	<i>Simulating Pedestrian Dynamics.</i>
USS	<i>United State Ship.</i>