



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio prospectivo aplicado a la Seguridad Interior

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Jorge Mateo Arcas

DIRECTORES: Gerardo González-Cela Echevarría

CURSO ACADÉMICO: 2020-2021

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio prospectivo aplicado a la Seguridad Interior

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General / Infantería de Marina

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

La revolución tecnológica sufrida en los últimos años, ha cambiado radicalmente nuestra forma de vida. Las tecnologías tienen el objetivo de mejorar y facilitar las actividades que desarrollamos día a día. Estas mejoras las encontramos también en los buques de guerra, que cada día cuentan con sistemas más automatizados, lo que permite la mejora de la calidad de vida y de trabajo de las dotaciones.

La Seguridad Interior es un factor determinante para aumentar las posibilidades de supervivencia de un buque y de su dotación. En este trabajo, se realiza un estudio de esta disciplina desde un enfoque prospectivo, haciendo una investigación de los elementos que pudiesen incorporarse a corto, medio y largo plazo, con el fin de aportar mayores garantías a la seguridad de las dotaciones y aumentar la eficacia de las acciones realizadas. Haciendo especial énfasis en el empleo de simulaciones para predecir y optimizar las acciones a realizar.

PALABRAS CLAVE

Seguridad Interior, Simulación, Prospectiva, Incendio

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría hacer una mención a todas las personas que me han apoyado y ayudado a lo largo de la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

En primer lugar, a mi tutor, el Capitán de Fragata González-Cela Echevarría, quien cuyos consejos, experiencia e implicación me han sido de gran utilidad para la realización de este proyecto.

A mis padres, a mi hermano, a mi novia y a mis amigos, quienes me han apoyado en todas las decisiones que he tomado a lo largo de estos cinco años mostrándome su paciencia y cariño.

Por último, a Miguel Ángel Pardo, quien ha sido mi mejor amigo y compañero de aventuras en esta etapa de mi vida en la Escuela Naval.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Ilustraciones	3
Índice de Tablas.....	9
1 Introducción y objetivos	10
1.1 Motivación.	10
1.2 Objetivos.	11
1.3 Estructura.	12
1.4 Antecedentes	12
1.4.1 Definición de la Seguridad Interior.	12
1.4.2 Los orígenes de la Seguridad Interior: La Guerra de las Malvinas.	13
2 Estado del arte	15
2.1 Seguridad Interior	15
2.1.1 Cuatro principios de la Seguridad Interior.....	15
2.1.2 Etapas de la Seguridad Interior.....	15
2.2 Trozos de Reparaciones	17
2.2.1 ¿Qué son los Trozos de Reparaciones?.....	17
2.2.2 Composición de los Trozos de Reparaciones.	18
2.3 Subcontrol de Seguridad Interior	19
2.3.1 Central de Seguridad Interior.....	19
2.4 Estanqueidad	19
2.4.1 La Estanqueidad y la Seguridad Interior.	19
2.4.2 Compartimentación Estanca	20
2.4.3 Zonas de Fuego.....	21
2.5 Orígenes de las incidencias.	22
2.5.1 Incendios a bordo.....	22
2.5.2 Inundaciones a bordo.....	31
2.6 Equipos individuales y complementarios.	38
2.7 Software de simulación.....	41
3 Desarrollo del TFG.....	43
3.1 Visión prospectiva sobre Seguridad Interior.....	43
3.1.1 Visión prospectiva sobre Estanqueidad.	43
3.1.2 Visión prospectiva sobre los Trozos de Reparaciones y los equipos individuales.....	44
3.1.3 Visión prospectiva sobre los orígenes de las incidencias.	46
3.1.4 Definición del experimento.	47

3.2 Simulación	51
3.2.1 Modelo en Pyrosim.....	51
3.3 Condiciones del compartimento principal.	56
3.4 Condiciones del compartimento de babor.....	57
3.5 Condiciones del compartimento de estribor.....	58
3.6 Condiciones de para el estudio de la propagación del humo.	59
4 Resultados	60
4.1 Resultados de la simulación de incendios.....	60
4.2 Resultados de la experimentación con botes de humo.....	70
5 Conclusiones y líneas futuras	74
5.1 Conclusiones	74
5.2 Líneas futuras	75
6 Bibliografía.....	76
Anexo I: Gráficas de los incendios.....	79
Anexo II: Gráficas de los botes de humo.	113
Anexo III: Planos del CASI.....	130

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1. Fragata clase Santa María. [1].....	10
Ilustración 1-2. Fragata clase Álvaro de Bazán. [2]	11
Ilustración 1-3. Modelo 3D de la fragata F-110. [3]	11
Ilustración 1-4. Maqueta del impacto recibido por el HSM Glamorgan. [6]	13
Ilustración 2-1. Sellado de una tubería con un parche blando. [7]	17
Ilustración 2-2. Distribución de los Trozos de reparaciones en F-100. [8]	18
Ilustración 2-3. Plano de los compartimentos estancos de un buque. [7]	20
Ilustración 2-4. Diferencia entre obra viva y obra muerta de un buque.[10]	21
Ilustración 2-5. Tetraedro del Fuego. [11]	23
Ilustración 2-6. Incendio clase "A". [12].....	24
Ilustración 2-7. Extinción con medios químicos (polvo seco). [13].....	25
Ilustración 2-8. Bomba fija del circuito contraincendios. [14].....	26
Ilustración 2-9. Manguera estiba en rollo. [11]	27
Ilustración 2-10. Lanzas de agua combinada, agua pulverizada y chorro compacto (de izquierda a derecha). [11]	27
Ilustración 2-11. Aplicación de espuma de media expansión. [11].....	28
Ilustración 2-12. Depósitos de CO2. [11].....	28
Ilustración 2-13. Extintor de CO2.	29
Ilustración 2-14. Extintor de polvo seco.	30
Ilustración 2-15. Diablillo rojo. [11]	31
Ilustración 2-16. Ventilador Vendaval. [11].....	31
Ilustración 2-17. Esfuerzos de Arrufo (imagen superior) y Quebranto (imagen inferior). [15].....	32
Ilustración 2-18. Tapones de madera.	33
Ilustración 2-19. Ejemplo de tapón blando. [7].....	33
Ilustración 2-20. Cofferdam con fijado de perno de gancho.	34
Ilustración 2-21. Parches magnéticos. [7]	35
Ilustración 2-22. Zuncho campos.	35
Ilustración 2-23. Motobomba diésel. [11]	37
Ilustración 2-24. Puntal metálico telescópico.....	38
Ilustración 2-25. Traje de contraincendios.	38
Ilustración 2-26. Traje aluminizado.	39
Ilustración 2-27. Componentes del equipo respiratorio. [11].....	40
Ilustración 2-28. Espectro luz visible comparado con la imagen de una cámara termográfica. [16]	41

Ilustración 2-29. Equipo de rescate "Holmatro" [7]	41
Ilustración 3-1. Prototipo máscara biónica. [21]	44
Ilustración 3-2. Ejemplo de BLE en una sala. [24]	45
Ilustración 3-3. Zona de parrillas del CASI.	46
Ilustración 3-4. Ejemplo de mallado de superficies 2D de los mamparos.	48
Ilustración 3-5. Tabla de elementos utilizados para la simulación.....	49
Ilustración 3-6. Vista aérea de la superestructura.....	49
Ilustración 3-7. Rotulación de los compartimentos.....	50
Ilustración 3-8. Parrilla del compartimento principal.....	50
Ilustración 3-9. Bote de humo para ejercicios.	51
Ilustración 3-10. Modelo en Pyrosim basado en los planos del CASI.	52
Ilustración 3-11. Elementos que componen el modelo.	52
Ilustración 3-12. Propiedades del acero seleccionado.....	53
Ilustración 3-13. Distribución de distintos tipos de dispositivos empleados en la simulación.	54
Ilustración 3-14. Mallado de las capas de temperatura.	54
Ilustración 3-15. Distribución de los sensores de visibilidad.	55
Ilustración 3-16. Portillos cerrados para la simulación del incendio del compartimento principal.	56
Ilustración 3-17. Incendio principal al comienzo de la incidencia.	57
Ilustración 3-18. Incendio del compartimento principal a los 5s.	57
Ilustración 3-19. Incendio del compartimento principal a los 25s.	57
Ilustración 3-20. Incendio del compartimento principal a los 90s.	57
Ilustración 3-21. Portillos cerrados del compartimento de babor.....	58
Ilustración 3-22. Diferencia de temperaturas entre el compartimento abierto (izquierda) y cerrado (derecha).....	58
Ilustración 3-23. Portillo cerrado para la simulación del incendio del compartimento de estribor.....	59
Ilustración 3-24. Simulación de la propagación del humo.	59
Ilustración 3-25. Propagación del bote de humo real.	59
Ilustración 4-1. Comparativa de las temperaturas obtenidas en el compartimento principal.....	61
Ilustración 4-2. Comparación de temperaturas entre el mismo compartimento abierto y cerrado...61	
Ilustración 4-3. Comparación de temperaturas del compartimento ciego.....	62
Ilustración 4-4. Reducción de la visibilidad	63
Ilustración 4-5. Porcentaje de humo en el compartimento.	63
Ilustración 4-6. Comparativa de las temperaturas obtenidas del incendio de estribor.	64
Ilustración 4-7. Temperaturas de compartimentos adyacentes.....	64
Ilustración 4-8. Propagación del humo del incendio de estribor en el compartimento principal.	65
Ilustración 4-9. Reducción de la visibilidad del compartimento de estribor.....	66

Ilustración 4-10. Comparativa de las temperaturas producidas por el incendio de babor.....	67
Ilustración 4-11. Aumento de temperaturas del compartimento principal consecuencia del incendio de babor.....	68
Ilustración 4-12. Reducción de visibilidad en el compartimento de babor.....	69
Ilustración 4-13. Experimento realizado con los botes de humo en el CASI.....	70
Ilustración 4-14. Visibilidad al inicio de la incidencia.....	71
Ilustración 4-15. Visibilidad a los 5s de la incidencia.....	71
Ilustración 4-16. Incidencia a los 10s de la incidencia.....	71
Ilustración 4-17. Visibilidad a los 15s de la incidencia.....	71
Ilustración 4-18. Aumento del humo en el compartimento principal.....	72
Ilustración 4-19. Reducción de visibilidad del compartimento de estribor durante la incidencia. ..	73
Ilustración AI-1. Termómetro principal. Incendio principal abierto.....	79
Ilustración AI-2. Termómetro de estribor. Incendio principal abierto.....	79
Ilustración AI -3. Termómetro del compartimento ciego. Incendio principal abierto.....	80
Ilustración AI -4. Termómetro de estribor. Incendio principal abierto.....	80
Ilustración AI -5. Cantidad de humo en el compartimento principal.....	81
Ilustración AI -6. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.....	81
Ilustración AI -7. Cantidad de humo en el compartimento de babor.....	82
Ilustración AI -8. Reducción de visibilidad en el compartimento principal.....	82
Ilustración AI -9. Reducción de visibilidad en el compartimento de estribor.....	83
Ilustración AI -10. Reducción de visibilidad en el compartimento de babor.....	83
Ilustración AI -11. Termómetro principal. Incendio principal cerrado.....	84
Ilustración AI -12. Termómetro de estribor. Incendio principal cerrado.....	84
Ilustración AI -13. Termómetro del compartimento ciego. Incendio principal cerrado.....	85
Ilustración AI -14. Termómetro de babor. Incendio principal cerrado.....	85
Ilustración AI -15. Cantidad de humo en el compartimento principal.....	86
Ilustración AI -16. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.....	86
Ilustración AI -17. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.....	87
Ilustración AI -18. Reducción de visibilidad en el compartimento principal.....	87
Ilustración AI -19. Reducción de visibilidad en el compartimento de estribor.....	88
Ilustración AI -20. Reducción de visibilidad en el compartimento de babor.....	88
Ilustración AI -21. Termómetro principal. Incendio de estribor abierto.....	89
Ilustración AI -22. Termómetro de estribor. Incendio de estribor abierto.....	89
Ilustración AI -23. Termómetro de babor. Incendio de estribor abierto.....	90
Ilustración AI -24. Cantidad de humo en el compartimento principal.....	90
Ilustración AI -25. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.....	91

Ilustración AI -26. Cantidad de humo en el compartimento de babor.	91
Ilustración AI -27. Termómetro principal. Incendio de estribor cerrado.	92
Ilustración AI -28. Termómetro de estribor. Incendio de estribor cerrado.	92
Ilustración AI -29. Termómetro del compartimento ciego. Incendio de estribor cerrado.....	93
Ilustración AI -30. Termómetro de babor. Incendio de estribor cerrado.....	93
Ilustración AI -31. Cantidad de humo en el compartimento principal.	94
Ilustración AI -32. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.	94
Ilustración AI -33. Cantidad de humo en el compartimento de babor.	95
Ilustración AI -34. Reducción de visibilidad en el compartimento principal.....	95
Ilustración AI -35. Reducción de visibilidad en el compartimento de estribor.....	96
Ilustración AI -36. Reducción de visibilidad en el compartimento de babor.....	96
Ilustración AI -37. Termómetro principal. Incendio de babor abierto.	97
Ilustración AI -38. Termómetro de estribor. Incendio de babor abierto.	97
Ilustración AI -39. Termómetro del compartimento ciego. Incendio de babor abierto.....	98
Ilustración AI -40. Termómetro de babor. Incendio de babor abierto.....	98
Ilustración AI -41. Cantidad de humo en el compartimento del compartimento principal.....	99
Ilustración AI -42. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.	99
Ilustración AI -43. Cantidad de humo en el compartimento de babor.	100
Ilustración AI -44. Reducción de visibilidad en el compartimento principal.....	100
Ilustración AI -45. Reducción de visibilidad en el compartimento de estribor.....	101
Ilustración AI -46. Reducción de visibilidad en el compartimento de babor.....	101
Ilustración AI -47. Termómetro principal. Incendio de babor cerrado.	102
Ilustración AI -48. Termómetro de estribor. Incendio de babor cerrado.....	102
Ilustración AI -49. Termómetro del compartimento ciego. Incendio de babor cerrado.....	103
Ilustración AI -50. Termómetro de babor. Incendio de babor cerrado.....	103
Ilustración AI -51. Cantidad de humo en el compartimento principal.	104
Ilustración AI -52. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.	104
Ilustración AI -53. Cantidad de humo en el compartimento de babor	105
Ilustración AI -54. Reducción de la visibilidad del compartimento principal.	105
Ilustración AI -55. Reducción de la visibilidad del compartimento de estribor.....	106
Ilustración AI -56. Reducción de la visibilidad del compartimento de babor.....	106
Ilustración AI -57. Termómetro principal. Incendio principal abierto.	107
Ilustración AI -58. Cantidad de humo en el compartimento principal.	107
Ilustración AI -59. Reducción de la visibilidad del compartimento principal.	108
Ilustración AI -60. Termómetro de babor. Incendio de babor abierto.....	109
Ilustración AI -61. Cantidad de humo en el compartimento de babor.	109

Ilustración AI -62. Reducción de la visibilidad del compartimento de babor.....	110
Ilustración AI -63. Termómetro de estribor. Incendio de estribor abierto.	111
Ilustración AI -64. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.	111
Ilustración AI -65. Reducción de la visibilidad del compartimento de estribor.....	112
Ilustración AII-1. Concentración de humo en el compartimento principal.....	113
Ilustración AII -2. Reducción de la visibilidad del compartimento principal abierto.....	113
Ilustración AII -3. Reducción de la visibilidad del compartimento principal cerrado.	114
Ilustración AII -4. Concentración de humo en el compartimento principal.....	114
Ilustración AII -5. Propagación del humo a los 0s.	115
Ilustración AII -6. Propagación del humo a los 5s.	115
Ilustración AII -7. Propagación del humo a los 10s.	116
Ilustración AII -8. Propagación del humo a los 15s.	116
Ilustración AII -9. Reducción de la visibilidad a los 0s.	117
Ilustración AII -10. Reducción de la visibilidad a los 5s.	117
Ilustración AII -11. Reducción de la visibilidad a los 10s.	118
Ilustración AII -12. Reducción de la visibilidad a los 15s.	118
Ilustración AII -13. Reducción de la visibilidad a los 20s.	119
Ilustración AII -14. Concentración de humo en el compartimento de estribor abierto.....	120
Ilustración AII -15. Reducción de la visibilidad del compartimento de estribor abierto.	120
Ilustración AII -16. Concentración de humo en el compartimento de estribor cerrado.	121
Ilustración AII -17. Reducción de la visibilidad del compartimento de estribor cerrado.	121
Ilustración AII -18. Reducción de la visibilidad a los 0s.	122
Ilustración AII -19. Reducción de la visibilidad a los 5s.	122
Ilustración AII -20. Reducción de la visibilidad a los 10s.	123
Ilustración AII -21. Reducción de la visibilidad a los 15s.	123
Ilustración AII -22. Reducción de la visibilidad a los 20s.	124
Ilustración AII -23. Reducción de la visibilidad del compartimento de babor abierto.	125
Ilustración AII -24. Concentración de humo en el compartimento de babor abierto.	125
Ilustración AII -25. Reducción de la visibilidad del compartimento de babor cerrado.	126
Ilustración AII -26. Concentración de humo en el compartimento de babor cerrado.	126
Ilustración AII -27. Reducción de la visibilidad a los 0s.	127
Ilustración AII -28. Reducción de la visibilidad a los 5s.	127
Ilustración AII -29. Reducción de la visibilidad a los 10s.	128
Ilustración AII -30. Reducción de la visibilidad a los 15s.	128
Ilustración AII -31. Reducción de la visibilidad a los 20s.	129
Ilustración AII -32. Reducción de la visibilidad a los 25s.	129

Ilustración AIII-1. Planta de la superestructura de incendios del CASI.....	130
Ilustración AIII -2. Situación de las parrillas.	130
Ilustración AIII -3. Alzado posterior de la superestructura del CASI.....	131
Ilustración AIII -4. Alzados laterales.	131
Ilustración AIII -5. Planta y disposición de las parrillas de la superestructura.	132
Ilustración AIII -6. Proyección del modelo de la simulación.....	132
Ilustración AIII -7. Vista lateral del modelo.	133
Ilustración AIII -8. Alzado lateral del modelo.	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Distribución del personal en distintas Situaciones Operativas. [3].....	17
Tabla 4-1. Temperaturas obtenidas del incendio principal.	60
Tabla 4-2. Temperaturas obtenidas del incendio de estribor.....	63
Tabla 4-3. Temperaturas obtenidas del incendio de babor.....	66

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación.

Este Trabajo Fin de Grado surge en respuesta a la propuesta realizada por el Estado Mayor de la Armada con el objetivo realizar una investigación de las mejoras tecnológicas que podrían emplearse en la Seguridad Interior de los buques del futuro.

Actualmente, la Armada española cuenta con dos clases de fragatas. Seis fragatas de la clase Santa María y cinco fragatas clase Álvaro de Bazán. Las fragatas clase Santa María, denominadas F-80 (Ilustración 1-1), son buques diseñados entre el año 1977 y el 1986, año en el que se entregó a la Armada la primera unidad. A partir de 2022, estos buques, empiezan a cumplir el máximo tiempo estimado de vida operativa, es decir, el final de su vida útil de 35 años de servicio. Estos buques, aunque se les han realizado numerosas renovaciones de equipos, especialmente sensores, siguen contando con tecnología de los ochenta. Esto quiere decir que, aunque algunos procedimientos y materiales han sido renovados y actualizados con el paso del tiempo, la mayoría de estas renovaciones han de ajustarse a los medios tecnológicos existentes hace treinta y cinco años.



Ilustración 1-1. Fragata clase Santa María. [1]

Las fragatas de la clase Álvaro de Bazán, denominadas F-100 (Ilustración 1-2), son buques que comenzaron a diseñarse en el año 1997 y se entregó la última de sus unidades, la fragata F-105 Cristóbal Colon, en 2012. Aunque estas unidades sí cuentan novedosos sensores y sistemas, la primera de las fragatas de esta clase ya cuenta con más de 15 años de servicio. Por todo ello, la Armada lleva desde el año 2010 trabajando en la necesidad de construcción de nuevos buques, las fragatas F-110, que están destinadas a ser el relevo de la actual clase F-80.



Ilustración 1-2. Fragata clase Álvaro de Bazán. [2]

La fragata clase F-110 (Ilustración 1-3) será un sistema de armas nuevo y complejo, que integra sistemas avanzados y que cubrirá misiones operativas y estratégicas esenciales para la defensa y la seguridad nacional, en los que debe primar, en todo momento, el mantener la independencia funcional y operativa y el principio de libertad de acción.



Ilustración 1-3. Modelo 3D de la fragata F-110. [3]

En segundo lugar, la evolución de la tecnología durante los últimos años ha sido y continúa siendo exponencial. La tecnología ha evolucionado en todos los campos existentes, revolucionando especialmente el campo de las telecomunicaciones, de la investigación, el transporte, etc. Cabe destacar que la mayoría de avances tecnológicos que nos sorprenden día a día, o que nos han sorprendido, se tornan obsoletos en un corto periodo de tiempo. Con todo esto, es comprensible el interés de la Armada acerca de cómo se pueden incorporar las nuevas tecnologías a la Seguridad Interior de un buque que se construirá en los próximos años, pero que debe perdurar hasta más allá de mediados del SXXI. Un análisis prospectivo en profundidad permitirá tomar la delantera y pronosticar el futuro, y así, la Armada, logrará posicionarse en el mejor escenario posible.

1.2 Objetivos.

Como se indica en el documento enviado por el Estado Mayor para la construcción de la F-110 “se busca aprovechar al máximo las nuevas herramientas tecnológicas para hacer más eficientes las reacciones de las dotaciones ante cualquier tipo de incidencia, lo que supondrá la reducción del personal necesario en los trozos y los cambios en la organización y doctrina pertinentes.”

Por lo tanto, este proyecto tiene como objetivo principal:

- Realizar un estudio prospectivo de las herramientas tecnológicas que se puedan emplear en los buques para automatizar reacciones, o proponer alternativas a aquellas que no se puedan automatizar, ayudando al proceso de toma de decisiones al Oficial de Seguridad Interior y al personal del Trozo de Reparaciones.

Los objetivos secundarios que se persiguen durante el desarrollo del trabajo y que contribuyen en la consecución del objetivo principal son:

- Estudiar la posibilidad de monitorizar, mediante el empleo de sensores, diferentes parámetros como la temperatura, humo y visibilidad de forma que se pueda predecir la evolución de la incidencia y tomar acciones previas introduciendo nuevos dispositivos capaces de mejorar las condiciones y equipos con los que el personal de los Trozos de reparaciones se enfrenta a las incidencias.
- Exponer la utilidad del empleo de herramientas de simulación en el campo de la Seguridad Interior con el fin de estudiar su compatibilidad con sistemas de IA o Big data capaces de optimizar las acciones a tomar y facilitando la toma de decisiones.

1.3 Estructura.

La estructura de este trabajo se ha realizado con el objetivo de mostrar de forma ordenada los apartados que van tratando uno por uno los objetivos expuestos previamente. Para ello se ha dividido el trabajo en los apartados que a continuación se relacionan.

En primer lugar, en la introducción, se expone una breve definición de Seguridad Interior y se muestra el marco histórico en el que surge. A continuación de los antecedentes históricos, comenzamos en el estado del arte; cómo es y cómo se organiza la Seguridad Interior en la actualidad, qué elementos y equipos se emplean y cuáles son las principales incidencias que nos afectan.

En segundo lugar, se procede a desarrollar el trabajo. Para ello, se realiza un estudio prospectivo sobre la Seguridad Interior y sobre la estanqueidad más generalista, analizando con mayor detalle distintas herramientas que pudiesen mejorar la organización de los Trozos de Reparaciones y los orígenes de las incidencias. Como resultado del estudio prospectivo del origen de las incidencias, se decide hacer especial énfasis en mostrar ventajas del empleo de las simulaciones mediante software. En consecuencia, seguido de este estudio se exponen los elementos de los que disponemos en la Escuela Naval Militar para hacer empleo de esta tecnología.

A continuación, se procede a realizar la simulación. Para ello se ha decidido modelar la zona de fuegos del CASI, en la que como se muestra a lo largo del trabajo, se han hecho diferentes simulaciones y pruebas para mostrar algunas de las herramientas que nos ofrecen esta clase de softwares, mostrando los resultados y tablas de datos obtenidos de ellos.

Por último, se concluye este trabajo con un apartado de conclusiones y líneas futuras, en el que se realiza un breve análisis de los resultados obtenidos y de la consecución de objetivos. Finalizando con una serie de propuestas realizadas sirviendo este trabajo como punto de partida para continuar en la investigación de este campo.

1.4 Antecedentes

1.4.1 Definición de la Seguridad Interior.

Para comprender este trabajo es necesario conocer el concepto de Seguridad Interior.

La publicación de referencia de la Armada utilizada para ello es la Doctrina de control de plataforma número uno (D-CP-01)[4] y que la define como “el conjunto de disposiciones, técnicas y medios materiales y humanos, destinados a prevenir, reducir y corregir los efectos que, sobre un buque o su dotación, puedan derivarse de accidentes o de la acción del enemigo.” La finalidad de esta no solo es la de proporcionar los medios necesarios para garantizar la supervivencia del buque, sino que tiene como objeto la disposición de la mayor cantidad de capacidades del buque incluso tras sufrir averías, incidencias o ataques.

Es un concepto relativamente moderno, debido a que tiene su origen hace cuarenta años en la Marina de guerra británica tras examinar las causas de las pérdidas de numerosos buques en 1982 en la Guerra de las Malvinas.

1.4.2 *Los orígenes de la Seguridad Interior: La Guerra de las Malvinas.*

La Guerra de las Malvinas “fue un conflicto armado desarrollado entre Gran Bretaña e Irlanda del Norte, como aliados, y la República de Argentina por la disputa de las Islas Malvinas, Sándwich del Sur y Georgia del Sur.” [5]

En este conflicto bélico se vieron afectados un total de 31 buques por parte de la Marina de guerra británica de los cuales, 8 fueron hundidos, 8 quedaron fuera de combate (inactivos) y 15 resultaron averiados. Cabe destacar la importancia de la incidencia sufrida por el HSM Glamorgan (Ilustración 1-4) para mostrar la importancia que puede llegar a suponer la Seguridad Interior.

Este buque recibió un impacto de misil Exocet MM-38 lanzado desde una estación terrestre, al cual sobrevivió. Esto se debe a que, aunque el misil no llegó a detonar, impactó en el hangar de babor, donde alcanzó un helicóptero clase Wessex cargado de combustible, y provocó un incendio en el hangar que originó llamas de 30 metros de altura, un incendio de menores proporciones en la cocina y otro en uno de los comedores del buque.



Ilustración 1-4. Maqueta del impacto recibido por el HSM Glamorgan. [6]

Esta incidencia fue resuelta mediante la actuación de las Partidas de Control de Averías que, tras empezar la incidencia a 06:35 am, coincidiendo con el relevo de la guardia, y que no se resolvió hasta las 10:54 am. El incendio podría haberse sofocado en un periodo de tiempo menor si no hubiese sido por la avería sufrida en el circuito contraincendios, la cual generó una fuga que hizo que se perdiese la presión de contraincendios. Por lo que se tuvo que recurrir al uso de motobombas portátiles para conseguir una presión contraincendios mayor. El balance final del ataque fueron 13 muertos y 14 heridos.

Este es un claro ejemplo de la importancia que tiene una correcta actuación ante el desarrollo de una incidencia y realizar las acciones correspondientes con la menor brevedad posible, al igual que la disposición de medios adecuados a la hora de actuar sobre incidencias.

A raíz de este acontecimiento, y de otros similares sucedidos durante el transcurso de esta guerra, los altos mandos británicos, como consecuencia de analizar los factores comunes que tuvieron como resultado numerosas pérdidas materiales y humanas, comenzaron a brindarle mayor importancia al combate de incidencias y a la aplicación de procedimientos, creando una serie de protocolos y doctrinas que dieron lugar al nacimiento de lo que actualmente denominamos Seguridad Interior.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Seguridad Interior

2.1.1 *Cuatro principios de la Seguridad Interior.*

La Seguridad Interior se fundamenta en cuatro principios básicos:

La **organización**, que consiste en definir las obligaciones, responsabilidades y misiones de la dotación y los manuales de empleo, arranchado y capacidades de los materiales, equipos y sistemas.

La **instrucción**, que tiene la finalidad de capacitar a los miembros de las dotaciones, de manera segura y eficaz, en el desempeño de sus correspondientes misiones.

El **adiestramiento**, el cual se encarga de hacer aplicar los dos puntos anteriormente mencionados con el objetivo de cumplirlos en unos tiempos determinados y de la forma más eficaz y eficiente posible.

Por último, el **mantenimiento**, que tiene como objetivo la conservación del material, equipos, sistemas, y elementos de la unidad en condiciones de máxima operatividad y eficacia.

Conociendo los cimientos que conforman la Seguridad Interior, ya se puede exponer más en detalle el desarrollo y desempeño de la Seguridad Interior en los buques y unidades de la Armada.

2.1.2 *Etapas de la Seguridad Interior.*

La Seguridad Interior se puede dividir en tres etapas, que sirven para indicarnos las distintas medidas que se han de tomar en función de la situación en la que nos encontremos. Estas etapas son: **Preparación, Acción y Reparaciones temporales**. De estas tres etapas, nosotros nos centraremos principalmente en las dos primeras, no debido a que la tercera sea de menor importancia, pero es la de menor relevancia para el desarrollo de este trabajo.

La **Etapas de preparación** incluye el conjunto de acciones emprendidas y desarrolladas con anterioridad a la aparición de emergencias o averías. Algunas de estas etapas pueden ser los ejercicios, adquisición de materiales necesarios, el correcto arranchado antes de salir a la mar y el estudio de la documentación, procedimientos y protocolos. El objetivo de estas acciones será preparar al buque para que sea capaz de soportar y combatir las emergencias o averías en las mejores condiciones posibles. La eficacia de la etapa de preparación es tan importante en el marco global de la Seguridad Interior, que puede establecerse la siguiente regla general:

“Las probabilidades de éxito ante una emergencia o avería se basan en un 90% en la etapa de preparación, y solamente en un 10% en la etapa de acción.”[4]

La **Etapa de acción** comprende el conjunto de acciones encaminadas a localizar y corregir las causas y efectos de una emergencia o avería. Es decir, consiste en la actuación del personal directamente sobre la incidencia.

En la práctica, puede considerarse dividida en dos fases como se recoge en la D-CP-01. “La primera fase que se desarrolla en los primeros momentos de la emergencia o avería, y está orientada a controlar y combatir la incidencia evitando la extensión de los daños. Y una segunda fase que comenzará tan pronto como sea posible, simultáneamente con las acciones llevadas a cabo en la primera fase cuando esto sea factible.”[4]. Consiste en la ejecución de todas aquellas medidas y acciones que contribuyan a recuperar o mantener las capacidades operativas que se encuentren disponibles del buque conforme a las Intenciones del Comandante.

La organización que resulta más adecuada para encauzar y coordinar la acción de la totalidad de la dotación de un buque, en las circunstancias mencionadas anteriormente, es su Organización Operativa.

Dentro de la Organización Operativa, la situación de Zafarrancho de Combate es la más apropiada para hacer frente a una emergencia o avería de consideración.

Cabe destacar la importancia de los Grados de Alistamiento dentro de la Organización Operativa, ya que entre estos existe una correspondencia que, a su vez, afecta a la Seguridad Interior y más concretamente, a la Etapa de acción.

Los distintos Grados de Alistamiento también se encuentran recogidos en la D-CP-01 y se clasifican en:

- Grado de Alistamiento PRIMERO. Proporciona el máximo alistamiento para el combate. Su propósito es el empleo de la máxima capacidad operativa del buque, así como la mejor disposición para afrontar con éxito el control de daños. Todos los Controles deben estar cubiertos y listos para reaccionar en cualquier momento.
- Grado de Alistamiento SEGUNDO. Permite alcanzar la mayor capacidad operativa del buque que pueda ser mantenida durante un periodo de tiempo prolongado (2 o 3 semanas), con una disposición que permita una reacción inicial ante el control de daños.
- Grado de Alistamiento TERCERO. Permite mantener durante un periodo indefinido de tiempo las armas preparadas para reaccionar ante una amenaza inesperada, y disponer del tiempo suficiente para adoptar un grado de alistamiento superior. La disposición de equipos y sistemas para el control de daños deben estar preparados para su uso.
- Grado de Alistamiento CUARTO. Permite mantener todos los sistemas operativos para conseguir una vigilancia adecuada. Se establecerá en ambientes no hostiles. El control de daños debe estar alistado para prevenir y reaccionar ante emergencias en la mar.
- Grado de Alistamiento QUINTO. Es el grado más bajo y sólo se ordena en determinados puertos o fondeaderos donde pueda ser necesario la salida a la mar. Se corresponde con la situación de guardia en puerto, y la distribución de la dotación permitirá la salida del buque a la mar por razones de emergencia o seguridad con el personal que integra la guardia. La disponibilidad operativa de personal y equipos será fijada por el Mando superior.[4]

A su vez, los Grados de Alistamiento se corresponden con Situaciones Operativas que, para facilitar su comprensión se expondrán en la siguiente tabla:

Grado de Alistamiento	Situación Operativa	Alistamiento
Primero	Zafarrancho de Combate	Trozos de Reparaciones
Segundo	Dos vigilancias	Trozos de vigilancias/ Grupos de Intervención inmediata
Tercero	Tres vigilancias	
Cuarto	Guardias de mar	
Quinto	Guardias de puerto	Trozo de Emergencias en puerto

Tabla 2-1. Distribución del personal en distintas Situaciones Operativas. [3]

Las Reparaciones Temporales se desarrollarán normalmente una vez que se hayan solucionado las emergencias (incendios o inundaciones), y consistirá en la ejecución de las acciones necesarias para recuperar las capacidades operativas del buque, o llegado el caso, mejorar las condiciones de supervivencia y seguridad a fin de que éste pueda alcanzar una base o puerto propio para efectuar reparaciones definitivas. Es necesario indicar que, en ocasiones, es necesario efectuar las reparaciones temporales para solucionar la incidencia, esto se debe, por ejemplo, a que algunas inundaciones pueden ser producto de averías en tuberías.

Las reparaciones temporales, son de menor importancia para el desarrollo de este trabajo debido a que la mayoría de estas medidas no pueden ser automatizadas y requieren necesariamente de la intervención humana para su ejecución. Como puede ser el sellado de una tubería con un zuncho o un parche blando. Ilustración 2-1.

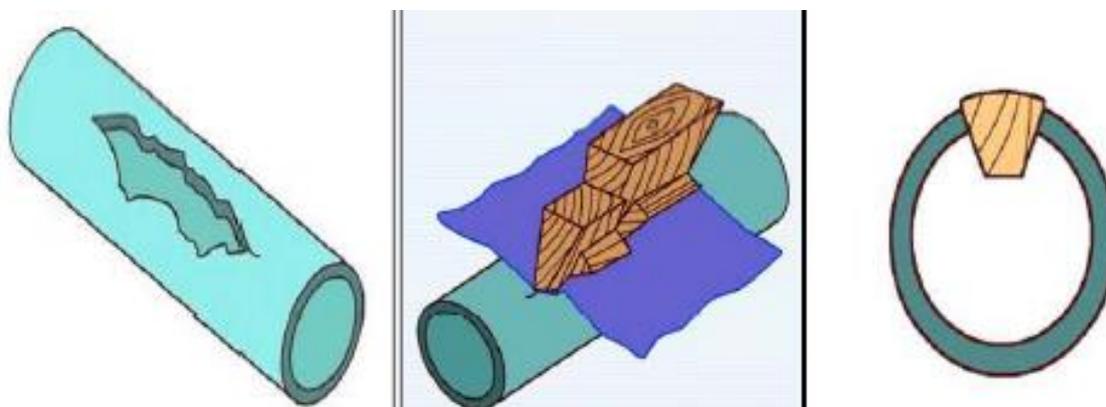


Ilustración 2-1. Sellado de una tubería con un parche blando. [7]

Estas etapas mencionadas previamente, son llevadas a cabo por los Trozos de Reparaciones de los que disponen los buques y las unidades de la Armada y que a continuación procederemos a explicar.

2.2 Trozos de Reparaciones

2.2.1 ¿Qué son los Trozos de Reparaciones?

Los Trozos son el elemento activo del “Control de S.I.” y está constituido por el personal de la dotación que, por sus especialidades y formación profesional se encuentran más capacitados para la realización práctica de las funciones asignadas a este control. En función de la eslora del buque y su compartimentación estanca puede existir uno o varios Trozos distintos. Un ejemplo de ello, es la representación de los distintos Trozos que componen una fragata clase Álvaro de Bazán. Ilustración 2-2. Su principal misión, al igual que la finalidad de la Seguridad Interior, consiste en llevar a cabo las

acciones requeridas para asegurar las máximas capacidades de la unidad en caso de avería, incidencia o ataque.

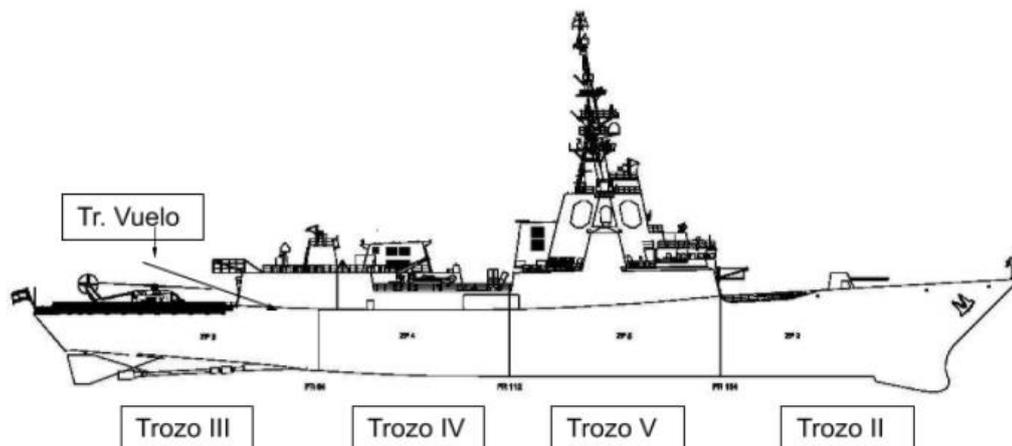


Ilustración 2-2. Distribución de los Trozos de reparaciones en F-100. [8]

La idea fundamental del adiestramiento de los Trozos de Reparaciones es la de capacitarlos para llevar a cabo su misión con la mayor autonomía e iniciativa posibles, requiriendo un mínimo de dirección y asesoramiento por parte del Control de Seguridad Interior.

Esta descentralización en la actuación de los Trozos facilita notablemente la función coordinadora de la Central de Seguridad Interior, al reducirse y simplificarse la transmisión de órdenes y mensajes, centrandose su papel en la toma de decisiones de mayor trascendencia, como, por ejemplo, la autorización de achicar o inundar un compartimento. Para facilitar esta toma de decisiones, los mensajes transmitidos por los Jefes de Trozo a la Central de Seguridad Interior han de ser concisos y exactos.

2.2.2 Composición de los Trozos de Reparaciones.

Durante la Etapa de Acción, cada Trozo de Reparaciones se subdivide en grupos especializados. Esta distribución del personal de los Trozos no debe considerarse una estructura rígida e inamovible; el Jefe de Trozo/Oficial de Seguridad interior deberá adecuar la distribución del personal a la evolución de las incidencias.

Cualquier Trozo de Reparaciones o Trozo de Vigilancia está compuesto por veinticinco integrantes, como podemos encontrar recogido en el Manual del Trozo de Reparaciones de las Fragatas clase Álvaro de Bazán, que se organizan y distribuyen en base a 5 grupos con misiones bien definidas y diferenciadas que explicaremos más adelante: Grupo de Mando, Grupo de Escena, Grupo de Contraincendios/Contra Averías, Grupo de Investigación y Grupo de Apoyo.[8]

El **Grupo de Mando** está compuesto por el Jefe de Trozo, el Telefonista y el Mensajero. Su misión consiste en la dirección de las acciones a tomar durante el transcurso de la incidencia y debe informar y transmitir las órdenes recibidas por la Central de Seguridad Interior.

El **Grupo de Investigación** está compuesto por el Investigador y el Ayudante Investigador. Son los primeros en ser desplegados al informarse sobre una incidencia y son los primeros en tomar las primeras medidas y esclarecer qué es lo que realmente ocurre.

El **Grupo de Escena** está compuesto por Jefe de Escena, Control de Equipos Respiratorios y Electricista. Son los encargados de transmitir las órdenes recibidas del Grupo de Mando, comunicarles del desarrollo de la incidencia y dar las órdenes necesarias al Grupo Contraincendios/ Contra averías.

El **Grupo Contraincendios/ Contra averías** está compuesto por Jefe del Grupo Contraincendios, dos mangueras y dos aportadores. Su misión es la que implica mayor riesgo y tiene la menor capacidad de automatización, consiste en acceder físicamente al lugar de la incidencia y actuar sobre esta para erradicarla.

El **Grupo de Apoyo** está compuesto por el Jefe del Grupo de Apoyo, el investigador secundario, el ayudante investigador secundario, el Jefe de Grupo Contraincendios secundario, dos mangueras secundarios y dos aportadores secundarios. Su misión es la de relevar al personal del Grupo Contraincendios/ Contra averías, montar líneas de apoyo, refrescar compartimentos adyacentes y acotar la incidencia de manera permanente.

2.3 Subcontrol de Seguridad Interior

2.3.1 *Central de Seguridad Interior.*

Otro elemento esencial de la Seguridad Interior es la Central de S.I. Se denomina Central de Seguridad Interior tanto el compartimento desde el cual se ejerce el mando del Subcontrol de Seguridad Interior, como al personal que compone el Grupo de Mando del Subcontrol. Tal y como se recoge en la D-CP-01 “Las dos funciones principales de la Central de Seguridad Interior son las siguientes:

Dirección y Coordinación. Establecer las líneas generales de acción para canalizar la actuación de la dotación ante los efectos y contingencias derivados de emergencias o averías (órdenes y directrices a los Trozos de Reparaciones, solicitud de adopción de medidas determinadas por parte de otros Controles, etc.).

Información. Mantener informados a los restantes Controles del buque (especialmente al de Mando) y solicitar de ellos, a su vez, la información que se considere necesaria para conseguir el objetivo fundamental de la Seguridad Interior.”[4]

Por tanto, de todo lo definido anteriormente se puede obtener como conclusión que esta es la entidad de mayor importancia debido a que es el centro de “mando y control” de la Seguridad Interior. En ella, se toman las decisiones de mayor importancia, como, por ejemplo, puede ser la recomendación del abandono de buque al Comandante o la decisión de achicar o inundar un compartimento para mejorar la estabilidad del buque, entre otros. También es la encargada de informar al Comandante y transmitir las órdenes que este pudiese dar acerca de aspectos correspondientes a la Seguridad Interior.

El principio fundamental que debe inspirar la actuación del Subcontrol de Seguridad Interior es el de “Control centralizado y Acción descentralizada”, es decir, en la capacitación y adoctrinamiento de sus elementos activos (los Trozos de Reparaciones) con la máxima autonomía e iniciativa posibles, siendo solamente necesario un mínimo grado de dirección y asesoramiento por parte del Jefe del Subcontrol (la Central de Seguridad Interior), actuando este por veto o transmitiendo directamente las órdenes del Comandante.

2.4 Estanqueidad

2.4.1 *La Estanqueidad y la Seguridad Interior.*

La RAE denomina estanqueidad como “dicho de una embarcación que se halla bien dispuesta”[9], es decir, que no permite la circulación de fluidos a través de sus costuras.

Por diseño, todos los buques tienen una cierta capacidad para absorber o minimizar los efectos producidos por un impacto, explosión o emergencia. Esta capacidad es debida a la estanqueidad. ”exceptuando los casos de pérdidas de buques a causa de incendios incontrolables, daños catastróficos o fallos en la resistencia estructural de los mismos, cualquiera que sea la escora, asiento y calado que un

buque averiado pueda adoptar, si éste no se hunde a los pocos minutos de haber sido averiado y llega a adquirir una posición estable, puede y debe ser salvado por su dotación.”[4]

2.4.2 *Compartimentación Estanca*

Todos los buques están subdivididos por medio de cubiertas y mamparos, tanto en la obra viva como en la obra muerta (Ilustración 2-4), en compartimentos estancos en un cierto número compatible con sus características militares y marineras. En general, cuanto mayor sea el número de compartimentos, mayor será la capacidad del buque para resistir las averías (Ilustración 2-3)

El objetivo principal de la compartimentación estanca es limitar la entrada de agua en el interior del buque después de producirse la avería y evitar que la inundación se haga progresiva.

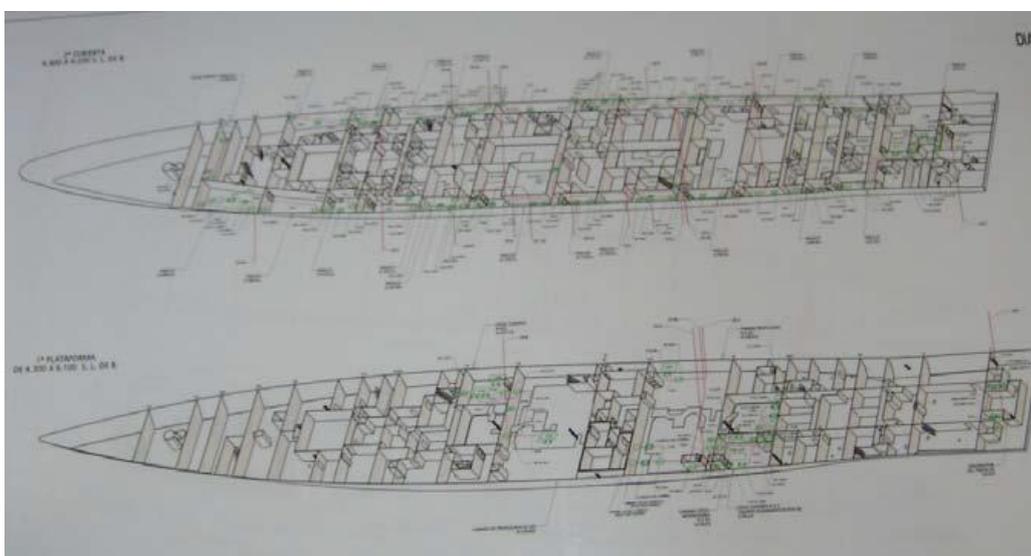


Ilustración 2-3. Plano de los compartimentos estancos de un buque. [7]

Con la compartimentación estanca de la obra viva se consiguen, entre otros, los siguientes objetivos cuando ocurre una inundación:

- Pérdida mínima de reserva de flotabilidad. Esta se reduce al mínimo puesto que la cantidad de agua que entra en el buque queda limitada por los mamparos y cubiertas estancas que permanezcan intactos.
- Menor pérdida de estabilidad. Esta se reduce debido a la limitación de superficies libres.
- Reducción de la escora. Esta se reduce dado que se limita el aumento de peso que lleva consigo la inundación fuera del diámetro del buque.
- Mejor protección de servicios vitales. Esto se consigue dado que con el aumento de compartimentos se consigue una mayor dispersión de tales servicios.

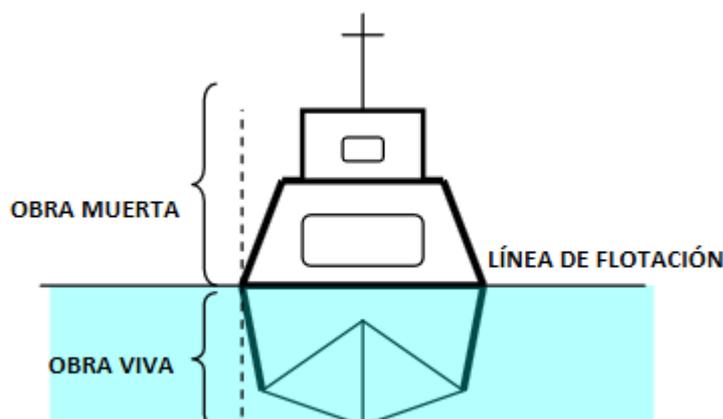


Ilustración 2-4. Diferencia entre obra viva y obra muerta de un buque.[10]

Con la compartimentación estanca sobre la línea de flotación (obra muerta) se reduce la pérdida de reserva de flotabilidad producida por una avería. Indudablemente, si no existiese compartimentación estanca sobre la línea de flotación, un simple orificio en el costado comprometería la totalidad de la reserva de flotabilidad (volumen estanco de la obra muerta). Cuanto mayor es la compartimentación estanca, la disminución de reserva de flotabilidad producida por un simple impacto es menor y el buque aumenta su resistencia a posteriores averías.

La importancia de la compartimentación es, por tanto, fundamental para la Seguridad Interior. El buque podrá alcanzar su máxima resistencia a las averías sólo en el caso de que cada compartimento sea efectivamente estanco en el momento de producirse las averías. Siempre que la inundación se haga progresiva el buque estará en peligro.

Mientras que el volumen de agua embarcada no se disminuya por debajo de la capacidad de achique disponible, la inundación permanecerá “fuera de control”. Por ello, deben mantenerse estrictamente la compartimentación estanca y la condición de estanqueidad adecuada, antes de entrar en combate, para tener mayores probabilidades de mantener bajo control cualquier inundación que se produzca.

Los mamparos transversales dividen al buque en secciones de tal manera que éste pueda resistir la inundación de uno o varios de sus compartimentos. El espaciado adecuado de estos mamparos transversales estancos aumenta la resistencia del buque a las averías en la obra viva y a la consiguiente inundación.

Las dimensiones de los compartimentos en los buques de guerra son independientes a su tonelaje (tamaño), siendo similares en todos los buques, por tanto. Los grandes buques poseen un grado mayor de compartimentación. De aquí que éstos estén en mejores condiciones para soportar un mayor número de impactos, producidos por un arma determinada, que las pequeñas unidades.

Una compartimentación estanca adecuada proporciona, incluso a los barcos pequeños, una considerable resistencia a las averías en la obra viva y a la consiguiente inundación.

Además de limitar la inundación, la compartimentación estanca absorbe la onda explosiva, el fogonazo y el efecto de los fragmentos resultantes de la explosión de un arma, evita la propagación de los incendios y la inundación producida por el agua utilizada en su extinción.

Como resultado de la compartimentación de los buques, surge también el concepto de las Zonas de Fuego.

2.4.3 Zonas de Fuego.

Las Zonas de Fuego son una clase especial de subdivisión estanca, constituida por límites físicos que retardan el paso de las llamas y el humo, y por consiguiente la propagación de los incendios.

“Los límites de las Zonas de Fuego son generalmente mamparos transversales y cubiertas, aunque también pueden ser mamparos longitudinales. Estos límites son, al menos, estancos al humo y están protegidos con aislantes al fuego ”[4]

Los sistemas de ventilación no deben atravesar de una Zona de Fuego a otra. Y todo buque de eslora mayor de 70 m debe estar dividido al menos en dos zonas de fuego, y la distancia entre los límites de cada Zona de Fuego no debe superar los 40 m.

En algunas obras de modificación se puede variar la ubicación de los dispositivos de estanqueidad ya existentes. En tales casos, se comprobará, tanto la completa estanqueidad de los nuevos elementos colocados, como la estanqueidad de las estructuras de las que se han retirado los accesorios desechados.

La D-CP-01 también señala respecto a las Zonas de Fuego “En cualquier obra realizada a bordo, ya sea esta de reparación o modificación, y cualquiera que sea la envergadura de la misma, se respetarán las características estancas de diseño del buque, con el fin último de preservar y no modificar ni las condiciones estancas de dichos compartimentos, ni las Zonas de Fuego derivadas de estos.”[4]

2.5 Orígenes de las incidencias.

Las incidencias que se pueden producir a bordo de cualquier buque de guerra, tienen su origen en una de estas tres causas:

- Como resultado de un ataque.
- Como resultado de una varada.
- Como resultado de averías producidas en equipos o servicios del propio buque.

De cualquiera de estas, pueden surgir dos de las incidencias más peligrosas: los incendios y las inundaciones.

2.5.1 Incendios a bordo.

Para comenzar con el desarrollo de este apartado, se van a exponer previamente las condiciones han de cumplirse y que pueden desencadenar un incendio, para ello, se hará uso del diagrama conocido como Tetraedro del fuego.

Aunque las palabras fuego e incendio, se emplean indistintamente, definen situaciones diferentes. El fuego es una combustión caracterizada por una emisión de calor acompañada de humo o de llama, o de ambos, pero todo su entorno está dominado y controlado por el hombre. El incendio es una combustión que se desarrolla sin control en el tiempo y en el espacio.

El Tetraedro del Fuego (Ilustración 2-5) muestra las condiciones necesarias que deben de existir para que el fuego se llegue a producir y reproducir, desencadenando un incendio.

El Tetraedro del Fuego, tal y como define la I-CP-01 está compuesto por:

- Combustible, es cualquier sustancia sólida, líquida o gaseosa que, en presencia de un agente oxidante, a una temperatura determinada, produce vapores capaces de arder o sufrir una oxidación rápida.
- Comburente, es aquel elemento que permite la activación de la combustión cuando tenemos el combustible con la temperatura adecuada. Para que pueda producirse el fuego es preciso que exista una mezcla entre los vapores o gases combustibles y el comburente. Como comburente típico se considera el oxígeno.

- Calor, es una forma de energía. Se produce por la fricción ocasionada por el movimiento de las moléculas del cuerpo. Su transmisión es responsable del comienzo y extinción de la mayor parte de los incendios. Se transmite de unos cuerpos a otros, por la diferencia de temperatura entre estos, de tres formas: Conducción, Radiación y Convección
- Reacción en Cadena, hay que destacar que no es en sí un elemento del fuego propiamente dicho, pues se trata de una reacción química.

La reacción en cadena es una reacción entre los radicales libres, que se generan en la combustión, y el propio combustible. Esto lleva consigo un fuerte incremento de calor que hace que se liberen más vapores. [11]

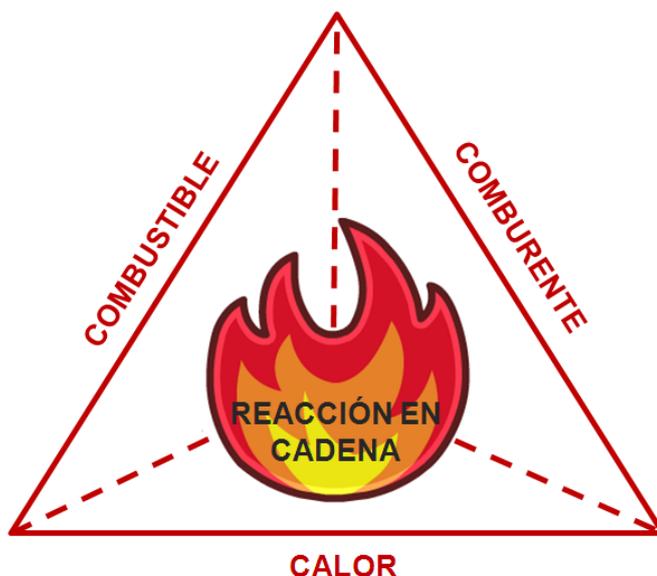


Ilustración 2-5. Tetraedro del Fuego. [11]

Los fuegos se clasifican en función de la naturaleza del combustible en el que se desarrollan.

- Los fuegos clase “A”, Ilustración 2-6, son aquellos que tienen lugar en materiales sólidos combustibles y producen llama y brasas, exceptuando metales.
- Los fuegos clase “B” son aquellos producidos en combustibles líquidos, como la gasolina, o en sólidos que arden en estado líquido, como la parafina.
- Los fuegos clase “C” se producen en sustancias en estado gaseoso y a presión.
- Los fuegos clase “D” son los que se producen en sustancias metálicas ligeras combustibles, exceptuando los alcalinos. (un incendio de magnesio)
- Los fuegos clase “E” son los que se producen en materiales, equipos o lugares con un circuito eléctrico activo. (una consola de mando y control con tensión)
- Los fuegos clase “F” son los que se producen en cocina (aceites, grasas, etc.)



Ilustración 2-6. Incendio clase "A". [12]

Esta clasificación se lleva a cabo debido a que distintas clases de fuegos requieren distintas medidas a tomar para extinguirlos.

Los fuegos clase “A”, por ejemplo, pueden extinguirse con cualquier medio de extinción, aunque preferiblemente con extintores de polvo o con mangueras conectadas al circuito contraincendios; también se pueden usar los aspersores si el buque dispone de ellos. En cambio, los fuegos clase “F” requieren el uso de espumas actuando mediante sofocación, debido a que se consigue crear una capa que no permite el acceso de oxígeno y, por tanto, su consecuente extinción.

2.5.1.1 Extinción de incendios

El Tetraedro del fuego, explicado previamente, nos muestra los elementos necesarios para que se produzca un fuego, entonces, es lógico pensar que la supresión de alguno de estos elementos eliminaría la posibilidad de desarrollo del fuego. Es por ello, que a continuación se expondrán los distintos métodos de extinción de incendios y su relación con los elementos que componen el tetraedro.

Los métodos de extinción de incendios están basados principalmente en cuatro métodos:

- **Enfriamiento:** Es el método más empleado y, en el caso de combustibles ordinarios, el más efectivo, ya que rebaja la temperatura del combustible, que, al enfriarse, disminuye la emisión de vapores combustibles a la zona de combustión, bajando la concentración de los mismos hasta lograr que el incendio se apague.
La eficacia de un agente extintor, como medio de enfriamiento, depende de su calor específico y latente. El agua es el mejor agente extintor porque tiene su calor específico y latente más elevado que los de los demás elementos extintores que se puedan emplear.
Este método se relaciona con el Tetraedro del fuego actuando sobre el calor-
- **Separación del agente oxidante del material combustible:** Este tipo de extinción se efectúa por sofocación. Por este método, actúan el anhídrido carbónico y la espuma. Siendo la espuma el método más utilizado de esta clase en las unidades de la Armada. Ambos cubren el combustible y, de este modo, impiden su contacto con el oxígeno del aire. Esto provoca que se apague el incendio y que permanezca apagado, siempre que se mantenga el tiempo suficiente el agente extintor sobre el combustible; es decir, hasta que no pueda existir riesgo de autoignición y no queden focos de ignición. Este método de extinción no es de aplicación a los materiales que liberan oxígeno (ejemplo: nitrato de celulosa).

La sofocación se relaciona con el Tetraedro del fuego actuando sobre el oxígeno, es decir, sobre el comburente.

- **Dilución o supresión del combustible:** Este tipo de extinción se lleva a cabo eliminando el combustible, lo que consigue eliminar la reacción en cadena, o mediante la disolución de este. Esto quiere decir que, por una falta de combustible, la concentración de vapores del combustible disminuye respecto al volumen de aire por lo que no se podrá producir la llama. En incendios de líquidos miscibles en agua (por ejemplo, el alcohol), un método de extinción consiste en diluir el combustible hasta que su punto de inflamación alcance un valor en el que sea posible la extinción.
El método más efectivo para apagar los incendios de gases es cortar el flujo de gas (ejemplo de extinción por supresión de combustible).
Este método tiene relación con el combustible y con la reacción en cadena como elementos del Tetraedro del fuego.
- **Por medios químicos:** Por algún tiempo se pensó que la efectividad, como agentes extintores, de ciertos hidrocarburos halogenados y sales inorgánicas tenía que ser debida a alguna propiedad especial de esos agentes.
Investigaciones recientes sobre la teoría de la extinción por medios químicos atribuyen la efectividad de la extinción de los hidrocarburos halogenados y sales orgánicas a la reacción química del agente extintor con uno de los productos intermedios de la reacción en cadena que tiene lugar durante la combustión.
Este método se relaciona con el Tetraedro del fuego mediante la relación con el calor y con el comburente.



Ilustración 2-7. Extinción con medios químicos (polvo seco). [13]

2.5.1.2 Medios de extinción a bordo.

En este subapartado se expondrán los medios de los que dispone la Armada para la extinción de incendios a bordo.

En todo buque se dispone de un sistema de extinción de incendios fijo, dicho sistema está compuesto por:

- Un circuito contraincendios cerrado, compuesto por todos los elementos que permiten su funcionamiento.
- Las bombas (Ilustración 2-8) que son las encargadas de obtener el agua del mar y suministrarla a presión al circuito. Existen un número de bombas fijas que está determinado por el tamaño y necesidades particulares de cada buque. Existen tres tipos de bombas: eléctricas, portátiles y de emergencia.



Ilustración 2-8. Bomba fija del circuito contraincendios. [14]

- El colector contraincendios, que lo compone un circuito de tuberías que se encargan de extender el circuito contraincendios a todos los servicios necesarios del buque.
- Válvulas: se utilizan para aislar secciones del circuito en caso de sufrir una avería en tiempo de guerra (para evitar las inundaciones de compartimentos) y, en tiempo de paz, para cortar el suministro a ciertas secciones en el caso de tener que realizar mantenimientos o reparaciones temporales.
- Manómetros: se instalan en los controles de Seguridad Interior y de máquinas, en los Trozos de Reparaciones, en algunos puntos de la cubierta de Seguridad Interior y en las descargas de las bombas. Su finalidad es indicar en todo momento la presión que existe en el circuito.
- Filtros: Se montan en las aspiraciones de las bombas y tienen por objeto no permitir el paso de suciedades al servicio. Consisten, simplemente, en un cilindro de metal con una serie de orificios a través de los cuales se hace pasar el agua para su filtrado.
- Tomas de Contraincendios: Van situados en diferentes puntos del buque, desde los cuales se alimentan las mangueras del servicio de contraincendios y sus diámetros miden 1,5 o 2,5 pulgadas.
- Van situados a bordo, de tal forma que cualquier punto de un buque grande puede ser alcanzado desde las tomas con líneas de manguera de 30 metros de longitud (2 mangueras) y en buques pequeños, con una manguera de 15 metros.
- Mangueras (Ilustración 2-9) construidas con materiales resistentes a la putrefacción y formada por un revestimiento continuo de caucho, adherido a una cubierta interior de fibra sintética. Exteriormente y perfectamente ajustada llevara una segunda cubierta de fibra.



Ilustración 2-9. Manguera estiba en rollo. [11]

- Acoples y reducciones, cuyo fin es posibilitar la conexión de las mangueras a cualquier toma, lanza, eyector, motobomba, etc.
- Lanzas de agua, cuyo fin es el de proyectar el agua de la manguera al incendio a atacar. Existen gran variedad de estas, pero se agrupan principalmente en: chorro compacto, agua pulverizada y combinadas.



Ilustración 2-10. Lanzas de agua combinada, agua pulverizada y chorro compacto (de izquierda a derecha). [11]

- Espumas, Son elementos muy versátiles que se pueden utilizar en numerosas situaciones. Las principales son:
 1. Extinción de incendios de líquidos inflamables.
 2. Para prevenir la ignición del combustible, en derrames o áreas peligrosas.
 3. Aislar y proteger contra el calor radiante de un incendio.
 4. Extinción de incendios clase “A”, por su alto contenido en agua.
 5. Inundar grandes volúmenes.
 6. Extinción de incendios en compartimentos con difícil acceso.

Las espumas se pueden clasificar en función al método de obtención de estas, dividiéndose en: espumas físicas o espumas químicas. Pero la clasificación realmente importante para nosotros es la de los tres tipos de espumas que podemos generar y no tanto el cómo obtenerla.

Las espumas que somos capaces de generar se clasifican en:

- Espumas de baja expansión: Son espumas bastante densas, con un elevado contenido en agua; son útiles, en consecuencia, para apagar por sofocación y enfriamiento, y una delgada capa de espuma es suficiente para impedir la emisión de vapores. Son idóneas para su uso en exteriores (por ejemplo, en la cubierta de vuelo) debido a su elevada densidad.
- Espumas de media expansión: Con ellas se puede obtener un importante volumen de espuma con poco líquido espumante, y permiten cubrir muy rápidamente grandes superficies o

inundar pequeños recintos. Son todavía suficientemente densas para ser utilizadas a la intemperie, pero no son las más recomendadas.

- Espumas de alta expansión: Se trata de espumas muy ligeras que permiten rellenar rápidamente grandes espacios; apagan por sofocación, pero tienen muy poco efecto refrigerante.



Ilustración 2-11. Aplicación de espuma de media expansión. [11]

- Instalaciones fijas de CO₂: Las instalaciones a base de dióxido de carbono, consisten en unas botellas de acero, Ilustración 2-12, que contienen este gas a alta presión y lo descargan en los compartimentos afectados por un incendio (instalaciones fijas de inundación), cuando son abiertas las correspondientes válvulas de control.

El dióxido de carbono es un gas que se usa como agente extintor de incendios, de gran efectividad para desplazar el aire de los alrededores del foco del incendio, debido a su mayor densidad, actuado así por sofocación.

Este método es igual de eficaz que peligroso, debido a que la exposición a este gas provoca una muerte rápida por asfixia. Los primeros síntomas se presentarán como pérdida de conciencia durante los primeros 16-35 segundos, y paro cardíaco en este mismo período; aunque la intensidad de estos síntomas depende en gran medida de la constitución física del individuo y la concentración de este gas.



Ilustración 2-12. Depósitos de CO₂. [11]

- Extintores portátiles: son equipos bien conocidos a todos los niveles, se utilizan en toda clase de instalaciones y existen distintos tipos de extintores para actuar en función a la clase de incendio que tengamos.

Aunque son equipos de fácil utilización es conveniente haber recibido previamente alguna clase de indicación de cómo utilizarlos para maximizar su efectividad reduciendo el riesgo del usuario.

En función a la clase de material de extinción que utilicen se clasifican en:

- Extintores de CO₂: son adecuados para la extinción de incendios de cualquier clase, pero su uso está especialmente recomendado para incendios de equipos eléctricos, debido a que el CO₂ no es conductor de electricidad ni corrosivo: Estas propiedades evitan que el personal pueda electrocutarse y que se deteriore por completo el equipo incendiado.



Ilustración 2-13. Extintor de CO₂.

- Extintores de polvo seco: este compuesto está formado por una vez de bicarbonato sódico o potásico y un repelente de humedad. Este compuesto se proyecta sobre el incendio mediante un gas a presión almacenado en el interior del extintor junto a las dos sustancias previamente mencionadas. Para el mismo peso, el polvo seco es considerablemente más eficaz en la extinción de incendios que la mayoría de los agentes extintores usuales, entre ellos, el CO₂. El inconveniente que tiene este tipo de extintor respecto al de CO₂ es que deja un residuo tras su utilización, por lo que no está recomendado para el uso en equipos eléctricos delicados.



Ilustración 2-14. Extintor de polvo seco.

- Extintor portátil de agua pulverizada: son extintores que utilizan el agua como materia extintora, funcionan principalmente por enfriamiento, aunque se le puede añadir aditivos para que generen una cierta película que también actúe por sofocación. Son idóneos para incendios clase “A”, no obstante, se recomienda que no se haga uso de estos para incendios en equipos eléctricos, debido al riesgo de shock eléctrico que pueden llegar a producir.
- Otros elementos que, aunque no son para extinguir fuegos de manera directa son de gran necesidad son los ventiladores portátiles, estos elementos se utilizan para ayudar a las labores de evacuación de humos, mejorando así la visibilidad y reduciendo el riesgo al que exponemos al personal del Trozo de Reparaciones.
Los ventiladores portátiles eléctricos constituyen un equipo meramente auxiliar y no son tan eficaces como los pertenecientes a la instalación fija. No obstante, su uso está muy indicado en los casos en que existan atmosferas con gases explosivos, ya que entonces resulta peligroso el empleo de los del sistema general. En las unidades de la Armada disponemos de dos modelos diferentes:
 - El diablillo rojo: Creado para cumplir los estándares militares de la US Navy para su uso en atmósferas explosivas. Dispone de un interruptor antideflagrante, al igual que su motor, también las campanas de entrada y salida de humo son intercambiables, para poder actuar como ventilador o como extractor.



Ilustración 2-15. Diablillo rojo. [11]

- Ventilador eléctrico soplante-aspirante “Vendaval”: Se trata de un equipo de ventilación por soplado o aspiración, compacto, portátil, manejable, estable y robusto. Un desahumado acelerado facilita las intervenciones para una mayor visibilidad, una disminución de la temperatura y la toxicidad, minimizando los riesgos.



Ilustración 2-16. Ventilador Vendaval. [11]

2.5.2 Inundaciones a bordo.

Las inundaciones en un buque se pueden producir por diversas causas como pueden ser la rotura del casco en la obra viva, rotura de servicios con fluidos a presión, agua empleada en trabajos de extinción de incendios, entradas de agua al interior del buque por efecto del mal tiempo, etc.

Cuando se produzcan inundaciones la primera medida que se debe tomar es establecer los límites de la misma; éstos estarán determinados normalmente por los mamparos estancos y cubiertas más cercanas al lugar de la avería y que no hayan sufrido daños.

La inundación en la parte central del buque aumenta los efectos de arrufo. Las medidas correctivas del asiento deberán tender a disminuir los efectos de arrufo. Al igual que, cuando la inundación de compartimentos se produce tanto a proa como a popa del centro de flotación, tendrán efectos de quebranto, y las medidas correctivas a adoptar han de tender estos efectos.

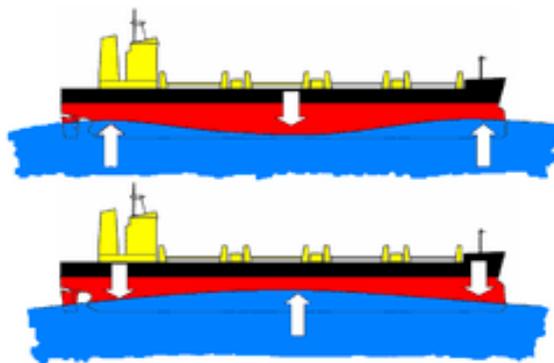


Ilustración 2-17. Esfuerzos de Arrufo (imagen superior) y Quebranto (imagen inferior). [15]

Las medidas correctivas para esfuerzos de arrufo están destinadas a reducir peso en las secciones medias del buque y aumentar los pesos en los extremos del buque (proa y popa). En cambio, para corregir los esfuerzos de quebranto, el proceso es el contrario, se reducen pesos de proa y popa y se añaden en centro del buque.

Estas variaciones de peso se pueden realizar mediante:

- Achique. Achicar líquidos de la sección afectada por la inundación, tanto si se trata de agua embarcada como de fluidos contenidos en tanques intactos, teniendo en cuenta que siempre que se eliminen pesos por debajo del centro de gravedad del buque se empeora la estabilidad.
- Trasiego. Trasegar líquidos de la zona afectada por la avería hacia el lugar que reduzca en mayor medida el esfuerzo que se esté generando.
- Contra inundación. Inundar los compartimentos necesarios para contrarrestar los esfuerzos generados, en caso de contar con franco bordo suficiente.

Cuando un buque sufre grandes averías, si empleamos métodos de achique no apropiados, se puede acelerar la pérdida del mismo. En caso de existir peligro inminente de rotura de casco, se intentará varar el buque en un lugar apropiado, ya que es más fácil recuperar un buque varado que uno hundido.

Una vez establecidos los límites de la inundación, los pasos siguientes consistirán en reducir estos límites acercándolos hacia el origen de la misma, para mantenerla controlada en el menor espacio posible, taponando pequeños orificios y achicando para evitar inundaciones progresivas, con lo que se conservarán los límites primitivos.

2.5.2.1 Medidas contra inundaciones.

La primera medida a adoptar en caso de aparición de una incidencia que pueda desembocar en inundación es evitar que el compartimento se llene de agua y, para ello, lo más efectivo es evitar el acceso del agua al compartimento. Normalmente se ha de recurrir al cierre del circuito de tuberías que pasen por esas secciones. El problema aparece cuando las averías suceden por roturas de casco por debajo de la línea de flotación o cuando la rotura de tuberías se produce en circuitos vitales que no pueden ser cortados. En estos casos el protocolo de actuación es simple, evitar la entrada de agua o en su defecto, reducir la cantidad que embarcamos de esta.

Este procedimiento se lleva a cabo mediante el parcheo de las vías de agua que producen las inundaciones. En los Trozos de Reparaciones disponemos de numerosos medios para realizar parches temporales. Los principales medios de los que se disponen son:

- Tapones de madera: en los Trozos encontramos numerosos tapones con distintos tamaños, formas y secciones. Es un método idóneo para taponar la mayor parte de la sección de los

orificios que producen las inundaciones. Suelen utilizarse conjuntamente con los parches blandos para maximizar su eficacia.



Ilustración 2-18. Taponos de madera.

- Parches blandos: son parches artesanales que se realizan con materiales textiles, como mantas, sábanas, trapos y en algunos casos hasta colchones y se utilizan para rodear los taponos mencionados previamente para mejorar el sellado de la abertura. Su principal función no es solo taponar, sino también absorber la mayor cantidad de agua posible.



Ilustración 2-19. Ejemplo de tapón blando. [7]

- Parches de plancha: estos se dividen a su vez en parches de madera o parches metálicos, la principal diferencia es que los parches de madera se hacen firmes mediante apuntalamiento. Sin embargo, los parches metálicos están divididos y unidos por unas bisagras, lo que les permite plegarse y ser colocados por el exterior del orificio, lo que permite una mejor fijación gracias a que la presión hidrostática lo presiona contra el mamparo, y hacerse firmes desde el interior del compartimento mediante un cabo.
Cuando los parches metálicos son de grandes dimensiones, pueden fijarse al casco mediante la soldadura de estos. Es la mejor opción porque proporciona el mejor sellado y puede pasar de ser una reparación temporal a una reparación permanente.
- Cofferdam: es el elemento idóneo para taponar orificios con rebordes hacia el interior. Son unas cajas de madera o metálicas, desprovistas de una de sus caras, que se colocan sobre los

orificios, alojando en su interior los rebordes del mismo y frisando sobre el casco. Se hacen firmes por medio de un apuntalamiento o pernos de gancho.



Ilustración 2-20. Cofferdam con fijado de perno de gancho.

Los cofferdams de chapa metálica permiten su fijación soldando unas escuadras metálicas entre ellos y el costado del buque. Es conveniente que este tipo de cofferdam lleve montado de antemano la correspondiente frisa.

Los de madera nos permiten poder ajustarlos mejor a la superficie de apoyo, consiguiendo de esta forma mayor estanqueidad.

Estos cofferdams no suelen ajustar perfectamente sobre el costado debido a deformaciones y rugosidades, de modo que es preciso introducir algunas variaciones en su uso como puede ser rellenarlos con almohadas o colocarlas sobre el orificio antes de ponerlo y/o calafatear con trapos y cuñas el orificio que quede entre los bordes del cofferdam y las deformaciones del casco. Los cofferdams de madera se ajustan con mediante pernos de gancho.

Los pernos de gancho tienen distintas formas en su terminación para conseguir una mejor fijación en función de la forma del orificio y los rebordes que tenga este.

- Parches magnéticos: estos parches se usan para taponar orificios y grietas en el casco de reducidas dimensiones. Están diseñados para el almacenaje a largo plazo y no pierden la capacidad magnética después de su empleo, presentando una flotación ligeramente positiva que facilita su manipulación sumergidos. La Instrucción de control de plataforma (I-CP-01), que es el documento que recoge las medidas a aplicar en caso de inundación, nos indica que la fuerza magnética de los imanes empleados para su sujeción es superior a 100 gr/cm² y se dispone de varios tamaños.

El inconveniente que presentan es que es necesario el empleo de buceadores para colocarlos, puestos que estos se instalan en el exterior la nave.



Ilustración 2-21. Parches magnéticos. [7]

Para el parcheo de tuberías, además de varios de los métodos citados previamente, se utilizan también, zunchos o abrazaderas, que pueden ser metálicas o de madera. El inconveniente que estos presentan es que se necesitan distintos modelos para poder ajustarse a las distintas medidas de las tuberías. Una alternativa que existe para evitar esto, es el uso del torniquete zuncho obturador, también conocido como zuncho campos.

El zuncho campos, Ilustración 2-22, está constituido por una armadura metálica que se apoya sobre el tubo, en la que se afirma el extremo de un husillo roscado sobre el que corre una pieza a la que se enganchan los anillos que forman los extremos de las bandas metálicas. Estas bandas se adaptan sobre la rotura del tubo, interponiendo una frisa de goma. Se aprietan sobre el tubo haciendo girar el husillo por medio de su volante en forma de cruz.



Ilustración 2-22. Zuncho campos.

Una vez empleados estos métodos, si no conseguimos evitar que continúe la entrada de agua en el compartimento, hemos de achicar la inundación que se estará llevando a cabo. En nuestros buques, para hacer frente a inundaciones, encontramos principalmente dos tipos de sistemas de achique.

Algunos pañoles, como los pañoles de munición, disponen de un sistema de desagüe que les permite, en caso de inundación, que esta no alcance una determinada altura y envía el agua a compartimentos adyacentes. Este sistema se utiliza para evitar la pérdida de munición. Este sistema, aunque no es un sistema propiamente de achique, sino que actúa por gravedad y tiene la función de evitar la inundación de un pañol determinado. Cuando el nivel del agua alcanza la altura de localización del sistema de drenado, este automáticamente abre sus taponés y comienza a sacar el agua del compartimento.

También disponemos a bordo de las unidades de medios portátiles de achique, estos nos permiten hacer frente a incidencias en cualquier tipo de pañol, independientemente de donde esté situado.

Estos elementos son las motobombas. Aunque las motobombas las hemos incluido dentro de la sección de medios de achique, son uno de los elementos más importantes para la Seguridad Interior por su versatilidad. Es una herramienta que puede usarse para achicar compartimentos, proporcionar presión al circuito contraincendios en el hipotético caso de un fallo en alguna sección o en alguna bomba o se pueden acoplar directamente a ella, una o varias, mangueras para atacar un incendio.

Existen distintas clases de motobombas que expondremos a continuación:

- **Motobombas de gasolina:** Esta motobomba está diseñada para su empleo tanto de aguas limpias como contaminadas (no combustibles), está compuesta por un motor de gasolina de dos cilindros, dos tiempos y acoplado a una bomba centrífuga simple. El impulsor de la bomba va montado en un extremo del eje cigüeñal del motor. Todo el conjunto va instalado sobre un bastidor tubular fabricado en acero inoxidable. Todos los materiales que la forman son amagnéticos. Son más ligeras y de menor tamaño que las motobombas diésel, pero tienden a desaparecer debido a la peligrosidad que conlleva tener gasolina almacenada dentro de los buques y a que tienen un arranque más complejo, frente al arranque eléctrico de la motobomba diésel.
- **Motobombas diésel:** Las motobombas diésel, Ilustración 2-23, al igual que las de gasolina, están diseñadas para emplearla como motobomba portátil en la lucha contra incendios y en servicios de achique tanto de aguas limpias como contaminadas (no combustibles). Consta de un motor diésel de dos cilindros, cuatro tiempos y refrigerado por aire, que está conectado directamente a una bomba centrífuga de una sola etapa. Todo el conjunto está integrado y soportado en un bastidor de acero inoxidable resistente a la corrosión.
- **Motobombas eléctricas sumergibles:** Son dispositivos cuya función es la misma que las motobombas diésel y gasolina, pero con la diferencia que solo pueden achicar compartimentos, no atacar incendios con ellas, que son de un tamaño muchos más reducido y funcionan con tensión eléctrica. Debido a su tamaño, estas motobombas no tienen la misma capacidad de achique que las dos anteriormente mencionadas, pero tienen la ventaja de que pueden acoplarse en serie para obtener mayores capacidades.

Son especialmente útiles para achicar compartimentos de difícil acceso. Sin embargo, uno de sus mayores inconvenientes es, no solo su capacidad limitada, sino también que pueden funcionar en vacío por un tiempo muy limitado y que no pueden achicar compartimentos con combustibles líquidos (no por capacidad, sino por doctrina) por el riesgo de explosión o incendio, ya que usan el mismo fluido que achican para su refrigeración.



Ilustración 2-23. Motobomba diésel. [11]

Otro método que es necesario ejecutar como consecuencia de la inundación de compartimentos es el apuntalamiento. Es necesario realizar apuntalamientos en los compartimentos adyacentes a un compartimento inundado para evitar el colapso de mamparos o zonas de paso debido a la presión hidrostática que ejerce el agua. Los apuntalamientos generalmente se realizan en los mamparos estancos a un tercio de la altura del compartimento, en los lugares donde hayamos realizado parches temporales y en los lugares donde se encuentren zonas de paso, por ejemplo, escotillas.

Dentro de las unidades podemos realizar apuntalamientos con dos tipos de materiales diferentes: madera y metal.

Los apuntalamientos de madera se caracterizan por ser los más utilizados por su eficacia comprobada. Además, permiten ajustes de mayor precisión debido a que podemos cortar las piezas que lo constituyen para conseguir holguras casi nulas, lo que, a su vez, no solo mejora su eficacia, sino que proporciona una mayor duración y estabilidad. Otras ventajas que proporcionan este tipo de apuntalamientos es que son ligeros, no requieren conocimientos específicos y solo requieren de materiales básicos de carpintería, sin embargo, también presentan ciertas desventajas, como en el caso de que se produzca un incendio en dicho compartimento o su menor resistencia en comparación a uno metálico.

Los apuntalamientos metálicos, en cambio, se realizan con puntales telescópicos, estos permiten ajustar el puntal con mayor facilidad en casi cualquier situación en cuestión de pocos minutos. Algunas ventajas que también presentan este tipo de puntales es su solidez y resistencia en comparación a los apuntalamientos de madera, no están formados por materiales combustibles y que pueden fijarse de manera casi permanente mediante la soldadura de estos. Los inconvenientes que presentan este tipo de puntales es su elevado peso, la complejidad de las herramientas necesarias para su instalación, que requieren haber pasado por un periodo de adiestramiento previo y que se necesita un mínimo de dos personas para el transporte e instalación de estos puntales.

Según recoge la I-CP-02, se deduce que este tipo de apuntalamiento es el más eficaz y el que se debería emplear siempre que no exista riesgo de incendio o explosión durante su instalación; pero, dadas las dificultades que presenta el transporte del material necesario a bordo y su montaje a la hora de la instalación, lo hacen quedar relegado al segundo lugar, sin que por esto pierda sus valores positivos de eficacia una vez instalado.



Ilustración 2-24. Puntal metálico telescópico.

2.6 Equipos individuales y complementarios.

Los equipos de protección individual (EPIs) tienen que tener ciertas características en función de para qué hayan sido diseñados. Los trajes de contraincendios de los buques están diseñados para aguantar las altas temperaturas de las llamas y proteger de quemaduras sus portadores. El más genérico sería del que disponen los Trozos de reparaciones Este es muy similar a los que usan los bomberos habitualmente y está compuesto por un mono contra incendios, guantes ignífugos, anti flash (es el equivalente a un pasamontañas ignífugo) y un casco fabricado de Kevlar.



Ilustración 2-25. Traje de contraincendios.

A pesar de este, que es el que tiene que llevar por defecto todo el personal que acceda o se exponga directamente a una incidencia, existen numerosos medios que, en función de la actividad que se

desempeño, podrán o han de ser portados por el personal que acuda a la incidencia. Estos medios tienen como finalidad mejorar las condiciones de seguridad y trabajo.

El primero de estos elementos es el **Traje antitérmico**, este traje también se denomina de “no entrada o permanencia total”, son trajes aluminizados cuya finalidad es proteger al personal contra el calor radiante, producido por el incendio y contra quemaduras, que pudiera causar el vapor. Se pueden utilizar durante la aplicación de cortinas de agua o utilizando extintores; también se pueden hacer intervenciones rápidas y poco profundas en incendios, como puede ser el caso de un rescate. Una de las cualidades fundamentales de cualquiera de estos equipos es que pueda ponerse y quitarse con rapidez.



Ilustración 2-26. Traje aluminizado.

El **Equipo respiratorio** es otro de los elementos fundamentales para el ataque de incidencias. Es un equipo autónomo de aire comprimido que se usa en ambientes nocivos y atmósferas no respirables. El aire, que procede de una botella, llega a la máscara a través de la válvula reductora de 1ª etapa y del regulador de 2ª etapa. El aire respirado es expulsado al exterior, a través de una válvula exhaladora, que incorpora la máscara de protección facial total.

El equipo respiratorio lo utilizan los investigadores, Grupo de contra incendios/ averías y Grupo de apoyo. El uso de este está controlado por el Jefe de equipos respiratorios, que coordina el tiempo de autonomía de los equipos y organiza los relevos con el Grupo de apoyo.



Ilustración 2-27. Componentes del equipo respiratorio. [11]

Comprobadores de atmósferas, elementos utilizados por el Grupo de Investigación, en numerosas ocasiones, especialmente a la hora de entrar en un compartimento o tras la extinción de un incendio en este, es necesario comprobar la atmósfera, para detectar la presencia de gases o vapores combustibles, gases tóxicos y determinar su concentración, así como la proporción de oxígeno.

Analizadores de atmósferas, conocido como Sistema de Medida por Tubos Colorimétricos, se trata de un sistema de análisis de atmosferas manual. Compuesto por una Bomba-Fuelle de aspiración y un Tubo de Cristal en cuyo interior se encuentra una mezcla química que reacciona al contacto con la Atmosfera. Esta reacción química produce una alteración en el color del tubo que lleva serigrafiado una escala graduada que indicara al usuario la proporción del gas analizado.

Este sistema de medición se utiliza para realizar mediciones de concentración de gases puntuales, la duración de la medición varia de 10 segundos a 15 minutos dependiendo del tipo de gas a analizar.

Cámaras térmicas, son cámara de termografía infrarroja y sirven para, sin tener contacto físico, determinar la energía infrarroja (calor) del cuerpo y convertirla en una señal electrónica, la cual es procesada para producir una imagen de video y realizar el cálculo de la temperatura.

Todo cuerpo con temperatura por encima del 0° absoluto emite calor, hasta los cubos de hielo emiten rayos infrarrojos, a mayor temperatura, mayor radiación infrarroja emitida.

La tecnología de imagen térmica utiliza una parte del espectro luminoso distinto al del ojo humano para su visión. Debido a esto, la cámara puede ver a través de la oscuridad completa e incluso a través del humo. Es por ello que son un elemento extremadamente útil para la lucha contra incendios. Permite la localización de mamparos calientes, la temperatura de estos para su refresco, los puntos de mayor temperatura dentro de un compartimento e incluso, permite localizar sobrecargas de circuitos electrónicos que podrían derivar en un incendio.

Es importante aclarar que la temperatura dada por estos elementos no es una temperatura exacta y que, por ello, se debería de tomar el resultado de dicha lectura como orientativo.



Ilustración 2-28. Espectro luz visible comparado con la imagen de una cámara termográfica. [16]

Holmatro, también comúnmente conocido como equipo de rescate y excarcelación, es una herramienta cuya función es cortar o separar/agrandar orificios de chapas metálicas mediante cizallas o separadores gracias a la aplicación de presión hidráulica. Es capaz de aplicar una presión de hasta 720 bares.

Este equipo, aunque tiene múltiples usos, es más utilizado por los Trozos de Vuelo en caso de accidente aéreo en cubierta de vuelo, debido a que nos permitiría abrir compuertas o extraer al personal en un periodo de tiempo reducido, lo que aumenta las posibilidades de supervivencia.



Ilustración 2-29. Equipo de rescate "Holmatro" [7]

Lanza exotérmica portátil ALTAIR, su función es dotar a los Trozos de Reparaciones de un equipo capaz de cortar, fundir o derretir cualquier material con el fin de crear accesos a compartimentos a través de mamparos, crear ventilaciones o eliminar o reducir carenas líquidas.

La lanza exotérmica está basada en la oxidación rápida de un electrodo especial y un flujo de oxígeno a una presión determinada. La temperatura alcanzada es capaz de derretir incluso aleaciones de acero y aluminio.

2.7 Software de simulación.

Para el desarrollo de este trabajo, se ha decidido utilizar un software de simulación con el objetivo de poder crear y analizar los efectos de los posibles incendios a bordo. Existe un amplio abanico de programas capaces de llevar a simular las incidencias que nosotros queremos mostrar en el proyecto.

Algunos de estos programas capaces de simular incendios son: Cypecad MEP , programas desarrollados con ayudas del Fondo Europeo de Desarrollo Regional por parte de la empresa CYPE ingenieros y que permite el modelado de espacios cerrados, Cypefire, programa desarrollado por la misma empresa, Wildfire Analyst, programa que permite conocer la evolución de un incendio en espacios abiertos a tiempo real, ALOHA, que es un programa que permite calcular los daños que producen las explosiones o incendios con componentes químicos, FDS-SMV, que es un programa que permite la simulación de incendios básicos y, por último, Pyrosim, programa que hemos utilizado en este trabajo.

Para el análisis realizado en este proyecto se ha decidido utilizar el software de Pyrosim, debido a que nos permite controlar un mayor número de parámetros y dispone de una versión gratuita con fines educativos. Tal y como recoge el documento [17]; Pyrosim es un programa de la empresa Thunderhead Engineering Consultants, con el cual se ha procedido a diseñar el modelo de fuego que se utilizará en las simulaciones a realizar. Una vez elegido el modelo de fuego, este software nos permite colocar el foco del incendio en la posición deseada y mallar el volumen de control deseado para que, posteriormente, se pueda realizar el cálculo numérico de la solución. Este cálculo se realiza mediante software FDS. Este software es el motor de cálculo de la simulación y está desarrollado por el NIST (National Institute of Standards and Technology), institución fundada en 1901, siendo uno de los centros de estudios físicos más antiguo y prestigioso de Estados Unidos. Este programa a su vez, hace uso de las herramientas de cálculo proporcionadas por FDS-SMV.

Mediante el empleo de FDS obtendremos la solución al problema que se plantea en Pyrosim. Por último, una vez obtenida la solución, utilizaremos el software Smokeview, ya incluido en Pyrosim para poder representar gráficamente dicha solución.

Este programa nos ofrece la posibilidad de diseñar el entorno en el que se va a desarrollar el fuego, extraer gráficas y tablas de datos de las incidencias desarrolladas y también la posibilidad de obtener un video en el que se puede observar el desarrollo de la incidencia a lo largo del tiempo, proporcionando los datos de forma más intuitiva para el público general.

Este software, para proporcionar respuestas con la mayor precisión posible, realiza el cálculo con métodos vectoriales resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes. También tiene en cuenta las reacciones químicas que producen el incendio y permite seleccionar los materiales que componen los elementos a analizar. Todo esto, con el fin de conseguir el realismo y precisión requeridos para que los datos obtenidos sean considerados correctos y puedan validar situaciones reales.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \lambda \nabla (\nabla \cdot u) + \mu \Delta u + f_e(x, t)$$

Ecuación 2-1. Ecuación de Navier-Stokes.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Visión prospectiva sobre Seguridad Interior.

La visión prospectiva es un término que hace referencia a un análisis a largo plazo de la evolución de una disciplina con el paso del tiempo. Principalmente la prospectiva se aplica a campos tales como política, defensa, seguridad o tecnología. El artículo de la referencia [18] indica que un estudio prospectivo adquiere mayor valor cuanto mayor sea el número de expertos implicados y cuanto más metodológico sea dicho estudio.

Para el desarrollo de este trabajo, se va a realizar un análisis prospectivo proponiendo tecnologías ya existentes que pudiesen ser integradas junto con los medios de los que disponemos actualmente para mejorar así la Seguridad Interior. En este trabajo se hará especial énfasis en el apartado relacionado con el origen de las incidencias.

3.1.1 *Visión prospectiva sobre Estanqueidad.*

Como se ha enunciado previamente en el apartado 2.4, la estanqueidad es parte fundamental de la Seguridad Interior. Todo compartimento o subdivisión estanca tiene como objetivo evitar el avance de las incidencias que pudiesen darse, actuando como barrera física.

La estanqueidad actualmente se consigue mediante el cierre de mamparos, escotillas y válvulas de forma manual, existiendo en algunas unidades cierta automatización en el proceso. En el futuro, se espera que se consiga controlar por completo la estanqueidad de cualquier buque de la Armada a través de un mando centralizado. El control deberá incluir corte y recirculación de secciones de tuberías, cierre de portillos o monitorización de los compartimentos afectados en una incidencia, entre otras funciones.

También sería interesante implementar en el sistema centralizado una base de datos con las condiciones de estanqueidad más comunes ya preestablecidas, de forma que si se ordenase el cambio de condición de estanqueidad por entrar en una zona de amenaza NBQR (Nuclear, biológica, química o radiológica), por ejemplo, se pudiesen tomar medidas de manera inmediata, reduciendo así el riesgo de exposición del personal.

Estos sistemas deberían de contar con circuitos redundantes, de forma que, si se sufre un corte en el suministro eléctrico, se pueda garantizar el empleo de este sistema. También se deberán incorporar sensores capaces de detectar la presencia de personas u objetos, de forma que no se produjesen accidentes. Y, por último, este sistema debería de permitir la manipulación de los portillos, mamparos y demás elementos conectados a este, para poder actuar en caso de fallo del sistema o avería.

3.1.2 *Visión prospectiva sobre los Trozos de Reparaciones y los equipos individuales.*

La evolución de los Trozos de Reparaciones está estrechamente relacionada con la renovación de los equipos que estos utilizan. La mejora de las condiciones de trabajo con la incorporación de nuevas tecnologías y materiales nos va a permitir reducir el número de integrantes de los Trozos. Algunas de estas tecnologías proporcionan ventajas solo a su portador, como es el caso de las máscaras biónicas, mientras que otras de las que se van a exponer a continuación son herramientas de uso colectivo, como son las balizas que emplean tecnología Bluetooth Low Energy (BLE) o los hologramas láser.

Las máscaras biónicas tienen como finalidad sustituir las máscaras clásicas. Tienen las mismas propiedades que las máscaras convencionales, pero además permiten a un operador externo, como podrían ser los Jefes de Trozo o el del Subcontrol de Seguridad interior, la monitorización de distintos parámetros vitales del portador del equipo, así como el conocimiento de estos datos por el propio usuario. Los datos más habituales que podemos monitorizar con estas máscaras son el nivel de oxígeno disponible en las botellas de oxígeno y la ratio de consumo de este, constantes vitales, nivel de batería de la radio y visión termográfica. Esta última función es probablemente uno de los aspectos más importantes a destacar, debido a que el humo es la principal causa de muerte en los incendios y con esta tecnología haríamos frente a los dos principales riesgos que conlleva, debido a que afecta tanto a la inhalación del humo, evitando que esta se produzca, como proporcionando visibilidad usando la visión infrarroja cuando las condiciones de humo nos impidan la visión normal. [19]

Además de todo lo mencionado previamente, las máscaras biónicas permiten la recepción de datos enviados por equipos externos. La aplicación más útil es la de recepción de posibles rutas alternativas o de escape o mensajes de audio por parte de otros portadores de máscaras biónicas.

En España surgió a finales de 2019 un sistema basado en la inteligencia artificial que puede ser integrado en las máscaras biónicas. Este, que se denominó, “Proyecto Prometeo” se presentó al concurso “Call of Code” de IBM, el cual ganó. En la página web [20] se muestra este sistema como una solución basada en múltiples servicios de IBM Cloud. El dispositivo en cuestión es aproximadamente del tamaño de un smartphone y se ata al brazo del portador, tiene múltiples sensores que miden variables clave, como la temperatura, la humedad y la concentración de humo. Estos valores se recogen y transmiten a través de la red a la plataforma IBM Cloud IoT. Un flujo de trabajo Node-RED envía los datos al modelo de aprendizaje automático basado en IBM Watson, que destila la información en un simple estado codificado por color que se muestra en el panel de control de Prometeo en el centro de comandos de fuego.

Este sistema podría ser modificado para actuar de manera conjunta con la máscara biónica, ejerciendo este dispositivo como base de datos y comunicándose con la central designada donde tomaría las decisiones el mando correspondiente



Ilustración 3-1. Prototipo máscara biónica. [21]

Los elementos expuestos previamente son de uso individual y solo proporcionan protección a su portador, sin embargo, también se podrán incorporar elementos que proporcionen información a todos los miembros del grupo que actúe sobre la incidencia.

El primero de estos dispositivos que tendría una gran utilidad para la Seguridad Interior se desarrolló en Italia a principios de 2014, es un sistema capaz de crear un holograma a partir de la obtención de imágenes mediante el empleo de tecnología láser. Este sistema mostró su eficacia en un experimento desarrollado en una habitación, siendo capaz de mostrar la ubicación exacta de todos los objetos que se encontraban dentro del habitáculo, si se desea obtener más información acerca de dicho experimento se puede consultar la web [22].

Este sistema podría ser de gran utilidad para actuar en incidencias que se desarrollen en lugares amplios dentro del buque, como en los sótanos, hangares o garajes. Zonas que, debido a la diversidad de elementos que albergan, su gran tamaño y al constante traslado de elementos en dichos lugares, pueden generar un riesgo añadido.

Otra de las opciones a considerar sería dotar las unidades con balizas bluetooth a lo largo de todo el buque. Estos dispositivos están basados en la tecnología BLE (Bluetooth Low Energy), consisten en pequeños dispositivos, llamados beacons, que actúan como balizas, emitiendo su posición mediante bluetooth, que tienen un alcance máximo de diez metros. Estos dispositivos han podido mostrar su utilidad en algunos aeropuertos o centros comerciales. Estas beacons podrían actuar como guía en compartimentos o pasillos, mostrando puntos de referencia para guiar al personal bajo condiciones de baja visibilidad. Las beacons a su vez pueden actuar como guías para el resto de la dotación, indicando salidas de emergencia o las rutas de escape más cortas. Una ventaja adicional, es la capacidad de combinar los BLE con el dispositivo Prometeo, consiguiendo con un mismo dispositivo, ampliar sus funciones. Si se desea conocer más información acerca de las balizas BLE se puede consultar en la referencia [23].

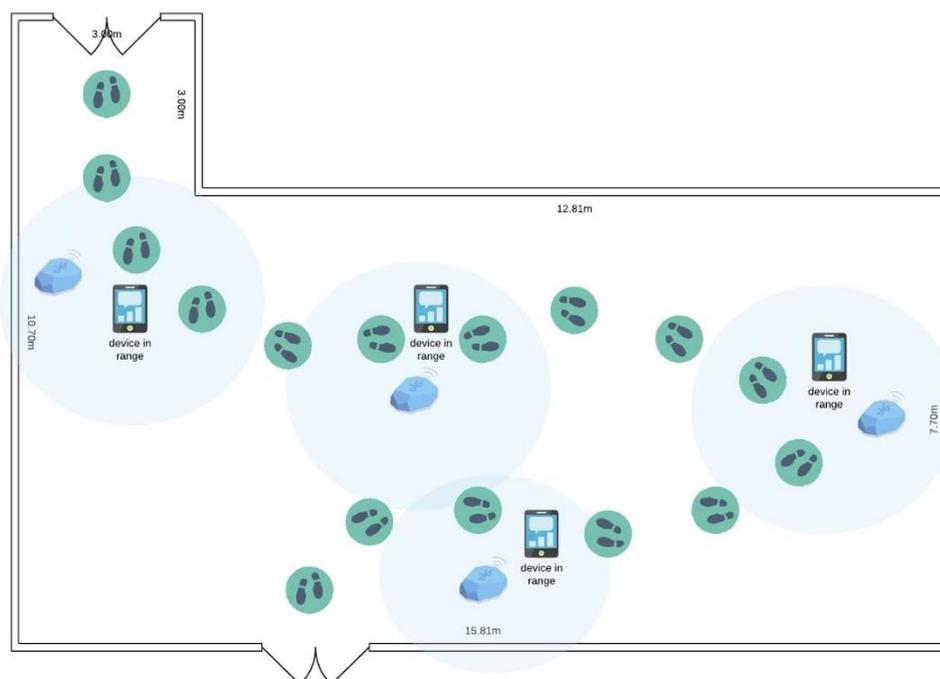


Ilustración 3-2. Ejemplo de BLE en una sala. [24]

3.1.3 *Visión prospectiva sobre los orígenes de las incidencias.*

Cualquier buque, por el entorno en el que desarrolla sus actividades, los materiales que transporta y los elementos que lo componen, es susceptible de sufrir averías o incidencias. Estas condiciones se ven acentuadas en el caso de los buques de guerra, ya que, por la naturaleza de su función, llevan implícito un cierto riesgo. Esta situación no va a variar en el futuro, los accidentes, los incendios, las averías y las inundaciones seguirán suponiendo los mayores riesgos para la integridad de los buques.

Una de las formas más simples de prepararnos para estas situaciones es hacer uso de herramientas que permitan a la dotación conocer previamente cómo se desarrollan las incidencias. Para ello, actualmente ya se disponen de simuladores para el adiestramiento de nuestras dotaciones.

Los simuladores, como el CISI en Ferrol o el CASI en la Escuela Naval Militar, preparan y exponen a las dotaciones para actuar en situaciones de fatiga, estrés y riesgo similares a las que se podrían llegar a encontrar durante una incidencia real, no obstante, encontrándose en un ambiente controlado.

En el CASI (Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior) de la Escuela Naval se disponen de medios necesarios para la instrucción de alumnos, dotaciones y miembros de unidades de otros ejércitos. El CASI cuenta con tres parrillas al aire libre de diferentes dimensiones para una primera toma de contacto del personal con el material a utilizar. Estas parrillas se utilizan principalmente para apagar incendios con medios portátiles, mangueras y mangueras con espumógeno. También cuenta con dos superestructuras simulando los compartimentos de un buque. En ellas, se pueden llevar a cabo ejercicios de contraincendios e inundaciones una vez que los alumnos han finalizado con éxito su prueba al aire libre. Esto se debe a que, a pesar de desarrollarse en un ambiente controlado, el incendio del compartimento de contraincendios es real y ha de ser extinguido como una incidencia real. Sin embargo, el compartimento de inundaciones si puede ser controlado desde el exterior y permite mayor seguridad durante el desarrollo del ejercicio.



Ilustración 3-3. Zona de parrillas del CASI.

La alternativa a los simuladores sin exponer la integridad física de nuestra dotación es la simulación de incidencias mediante software FDS (Fire Dynamics Simulator), el cual nos permite un conocimiento más profundo del comportamiento de la incidencia dentro del compartimento real.

El Fire Dynamics Simulator consiste en un software informático que permite estudiar el comportamiento de incendios mediante Computational Fluid Dynamics (CFD), es decir, mediante análisis de dinámica de fluidos. El análisis CFD podría emplearse también para simular inundaciones, pero debido a que las medidas a tomar en caso de inundación ya están predeterminadas, estas cobran menor relevancia en el estudio de sus simulaciones. Sin embargo, los FDS nos permiten realizar un estudio detallado de todos los parámetros que puedan ser medidos en un incendio, como pueden ser el incremento de temperatura, humo o la visibilidad en la zona del incendio, entre otros. Este método nos permite mediante el diseño, simulación y análisis, recopilar datos de infinidad de situaciones que pudiesen darse durante el desarrollo de una incidencia que implicase un incendio a bordo.

El empleo de estos softwares nos proporciona un gran abanico de posibilidades que nos permite, tras el análisis de resultados, llegar a desarrollar otras nuevas reacciones preplaneadas, conocer los comportamientos de las incidencias en ciertas situaciones y qué puntos pueden ser de mayor o menor peligrosidad. La ventaja radica en la individualización de las simulaciones, para cada clase de buque, se pueden analizar incidencias específicas de forma que podemos, no solo aplicar los procedimientos estándar, sino también crear nuevos procedimientos que maximicen la eficacia de nuestras acciones para determinadas situaciones.

Como se indica en el informe [25], la simulación nos permite una rápida y económica evaluación de una situación determinada, su funcionamiento y respuesta ante distintos escenarios, nos proporciona unos resultados concretos, validando las mejoras propuestas o exponiendo los peligros derivados de dichos cambios. Esto se traduce en un ahorro económico, temporal y de esfuerzo; con mínimo riesgo ya que se trabaja sobre un software y no con pruebas sobre la realidad física, y se obtienen conclusiones que luego pueden trasladarse a la realidad con un alto grado de precisión.

El empleo de dichos softwares sería una labor conjunta a realizar con el empleo del gemelo digital. El gemelo digital se define según la referencia [26] como una relación software-hardware que permite la unión de los mundos físico y virtual y posibilita un análisis exhaustivo de la información, combinado con soluciones de 'Big Data' y con inteligencia artificial. Esto con el fin de llevar un riguroso control de los sistemas para evitar problemas, planificar escenarios futuros mediante simulaciones y personalizar la producción.

Al contar con una réplica virtual se puede obtener un resultado inmediato de la actividad a analizar y permite realizar las posibles correcciones al instante. Por este motivo, los gemelos digitales son especialmente útiles para el mantenimiento de máquinas y equipos conectados que generan y analizan grandes volúmenes de datos.

Cabe destacar que el empleo de estos softwares es infinitamente más económico que la construcción, empleo y mantenimiento de simuladores reales, requieren pocos recursos y, extrapoliándolo a nuestro ámbito, pueden ser empleados incluso por personal embarcado. Esta última situación expuesta podría ser de gran utilidad para estudiar la distribución más óptima a adoptar a la hora de hacer un traslado de equipos o material dentro del buque.

3.1.4 *Definición del experimento.*

En respuesta a las propuestas establecidas por parte del Estado Mayor de la Armada, se ha decidido profundizar en la simulación, en este caso, de incendios para mostrar el potencial que tienen estos sistemas para optimizar y aumentar la eficacia de las acciones de los Trozos de Reparaciones. Esta decisión se ha tomado con el objetivo de que puedan integrarse de manera conjunta al gemelo digital del buque.

En el estudio [27], realizado por la US Navy, cuya finalidad era mostrar las condiciones de supervivencia para el personal como consecuencia de un impacto de proyectil que no detonase, se demostró que las condiciones son de extremo peligro para el personal que no porta EPIs cuando el aire es suficientemente caliente para no poder ser respirado o la visibilidad hace imposible la evacuación.

Estas condiciones se dan cuando la temperatura de la capa superior del compartimento alcanza más de 100°C o cuando la visibilidad es menor de 4m para dotación de la fuerza de desembarco (dotación ocasional) o 1.7m para la dotación del buque. El umbral de visibilidad de la dotación es menor debido a que se considera que son capaces de moverse por el buque con mayor facilidad por tener un mejor conocimiento de este.

En el caso del personal equipado con los EPIs adecuados, como es el personal de los Trozos, son capaces de desarrollar acciones en condiciones mucho más extremas debido a la preparación de estos equipos y a la formación del personal que los porta.

Para el estudio realizado en este trabajo, se van a analizar mediante simulación las condiciones de visibilidad, temperatura y cantidad de humo que se dan en los compartimentos de la superestructura del CASI durante el desarrollo de los incendios, con el objeto de mostrar algunas de las capacidades que nos ofrece el empleo de simulaciones.

3.1.4.1 Medios empleados en la simulación.

Para la obtención de los datos derivados de la simulación se han colocado en cada uno de los compartimentos tres tipos de dispositivos: detectores de humo, medidores de visibilidad y termómetros. El software que vamos a emplear también nos permite colocar capas completas, con un mallado que proporciona el programa por defecto, para medir distintos parámetros en toda un área determinada del entorno de simulación, en 2D (Ilustración 3-4). Esta función se ha empleado para obtener imágenes de la variación de las temperaturas en los mamparos y en el techo, ya que son zonas que se ven muy afectadas durante el desarrollo de incidencias y de vital importancia a la hora de tomar decisiones e indicar las medidas adoptadas para atacar una incidencia.

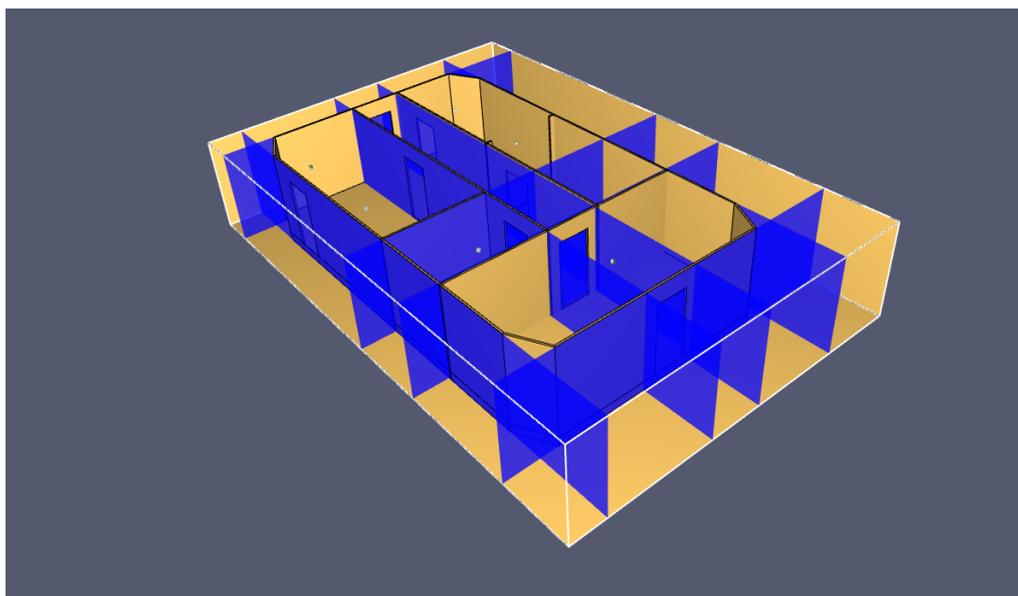


Ilustración 3-4. Ejemplo de mallado de superficies 2D de los mamparos.

El combustible empleado para la ignición de las parrillas en el CASI es diésel común ($C_{12}H_{23}$), que en presencia de aire y con la aplicación de una fuente calorífica, produce una reacción química incompleta. Los productos de dicha reacción son agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO),

óxidos de nitrógeno (NO_x) y en concentraciones despreciables dióxido de azufre y restos de hidrocarburos como el benceno, el tolueno o el benzopireno, entre otros. Productos de una combustión estándar.

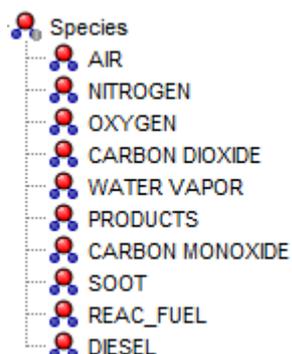


Ilustración 3-5. Tabla de elementos utilizados para la simulación.

Para que se produzca la combustión se han supuesto 10 litros de combustible y con suministro de aire ilimitado, ya que es lo que sucede en los ejercicios realizados en el CASI ya que se pretende que el motivo de la extinción sea por las acciones llevadas a cabo por el personal adiestrado y no por sofocación al existir escasez en el aporte de oxígeno. Con estas condiciones se pretende otorgarle el mayor parecido posible a las condiciones que se dan en los incendios de las parrillas reales.

Con la simulación de los incendios de las parrillas en Pyrosim se pretende estudiar cómo afecta el incendio de un compartimento en la temperatura de este y en la de sus compartimentos adyacentes, además de realizar un estudio de la visibilidad en dichos compartimentos.

3.1.4.2 Medios disponibles en el CASI.

Por motivos de cercanía, disponibilidad y posibilidad de experimentación que se nos brinda, se ha optado por realizar la simulación del compartimento del CASI situado en la Escuela Naval Militar.



Ilustración 3-6. Vista aérea de la superestructura.

Los compartimentos que se van a simular son los que se encuentran en la superestructura de contraincendios, Ilustración 3-6. La superestructura está compuesta a su vez de cuatro compartimentos

interconectados por un pasillo. En los tres compartimentos de mayor tamaño podemos encontrar parrillas que nos brindan la oportunidad de simular un incendio real y adiestrar a nuestro personal. Para el desarrollo del trabajo, se ha optado por rotular los compartimentos como: compartimento de babor, compartimento de estribor, compartimento ciego y compartimento principal, como se muestra en la Ilustración 3-7.

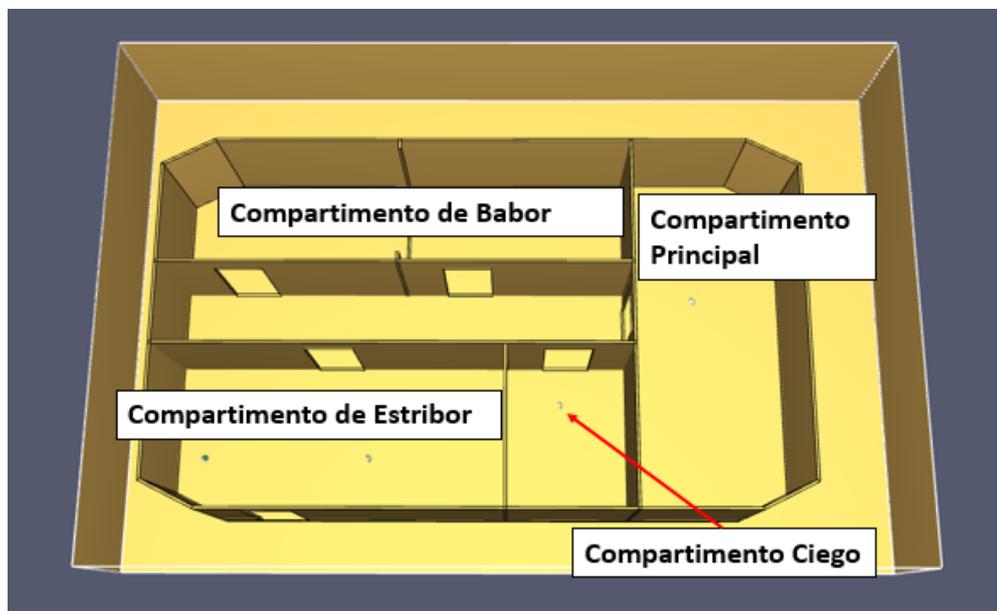


Ilustración 3-7. Rotulación de los compartimentos.

El compartimento principal es en el que se encuentra la parrilla de incendios más grande, Ilustración 3-8, teniendo una superficie total de 1,7 m². Todas las referencias de ubicación de compartimentos se toman respecto a la ubicación del pasillo y del compartimento principal. Las parrillas del compartimento de babor y de estribor son iguales y tienen una superficie de 1 m². Por otro lado, el compartimento ciego se ha denominado así debido a que este es el único que no dispone de parrillas y no tiene conexión con el exterior.



Ilustración 3-8. Parrilla del compartimento principal.

Actualmente, debido al deterioro de las estructuras y por motivos de seguridad también relacionados con la falta de experiencia del personal con incidencias reales, se hace uso de botes de humo no tóxico.

Estos botes nos permiten generar igualmente una situación de poca visibilidad y estrés que de igual manera afectan a nuestro personal y permiten recrear un ambiente idóneo para la ejecución de ejercicios y práctica de procedimientos sin presentar un riesgo real.



Ilustración 3-9. Bote de humo para ejercicios.

Los botes de humo mencionados previamente son los que se han empleado para poder realizar la validación del experimento, ya que provocan una reacción química que libera un humo denso no tóxico de color blanco durante un minuto, que nos ayuda a recrear una situación de baja visibilidad en el interior de un compartimento.

3.2 Simulación

3.2.1 Modelo en Pyrosim.

El primer paso para realizar la simulación ha sido el diseño del entorno en el que va a tener lugar el fuego, para ello, se ha realizado un modelo a escala de la superestructura de incendios del CASI. Para ello se han pedido los planos al personal de la dotación allí destinado.

En el Anexo III: Planos del CASI. Se encuentran recogidos estos planos y distintas vistas del modelo de la simulación.

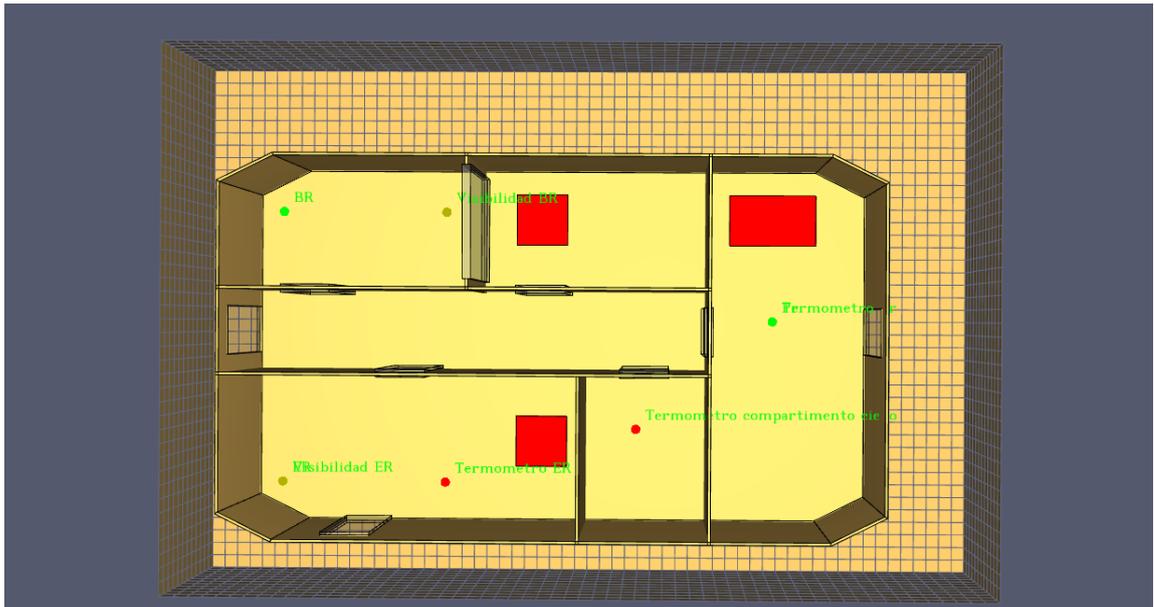


Ilustración 3-10. Modelo en Pyrosim basado en los planos del CASI.

El modelo comienza con la creación del espacio sobre el que se van a construir el resto de componentes que componen nuestra estructura, seguido de la construcción de la base y el perímetro del recinto. A continuación, se colocaron los mamparos que le dan la forma a los diferentes compartimentos y, por último, se realizaron todas las aperturas correspondientes a los portillos que comunican los distintos compartimentos entre ellos y con el exterior.



Ilustración 3-11. Elementos que componen el modelo.

Para conseguir la mayor fidelidad posible se utilizó como material de todos los mamparos de la estructura, acero de construcción con las características promedio que se muestran a continuación en la Ilustración 3-12.

Material ID:	STEEL	
Description:	Drysdale, Intro to Fire Dynamics - ATF NIST Multi-Floor Validation	
Material Type:	Solid <input type="button" value="v"/>	
<div style="display: flex; border-bottom: 1px solid black;"> Thermal Properties Pyrolysis Advanced </div>		
Density:	7850,0 kg/m ³	
Specific Heat	Constant <input type="button" value="v"/>	0,46 kJ/(kg·K)
Conductivity	Constant <input type="button" value="v"/>	45,8 W/(m·K)
Emissivity:	0,95	
Absorption Coefficient:	5,0E4 1/m	

Ilustración 3-12. Propiedades del acero seleccionado.

Para poder recrear los incendios, es necesario colocar las parrillas como “burners”, en color rojo como se observa en la Ilustración 3-10, esto permite modificar las propiedades de estas, de forma que se puede seleccionar el área, localización y reacción química que ocurre en su interior.

Para la obtención de las gráficas necesarias para la visualización de los resultados numéricos en función del tiempo, hemos de colocar los dispositivos encargados de su medición. Se han colocado detectores de humo para la obtención del porcentaje de humo por metro de compartimento, termómetros y sistemas de medición de visibilidad. Todos estos dispositivos se han colocado a una altura de 1,75 metros respecto a la base del compartimento, decisión que se tomó en base a que es la altura media de un hombre adulto en España. Se ha empleado la altura media de los hombres debido a que la altura media de las mujeres en España es de 1.63 metros y, por tanto, es menos limitante para asegurar la supervivencia, ya que en los incendios el incremento de temperatura y pérdida de visibilidad se produce antes cuanto mayor sea la altura.

Los termómetros se han colocado en las inmediaciones del foco del incendio debido a que son los puntos donde se suele colocar el personal encargado de la extinción de ellos. Los medidores de visibilidad y los detectores de humo se han colocado junto a las entradas principales de los compartimentos, ya que suponen un mayor riesgo al entrar a un compartimento debido a la necesidad de ubicar los objetos y el foco del incendio a la hora de atacar la incidencia.

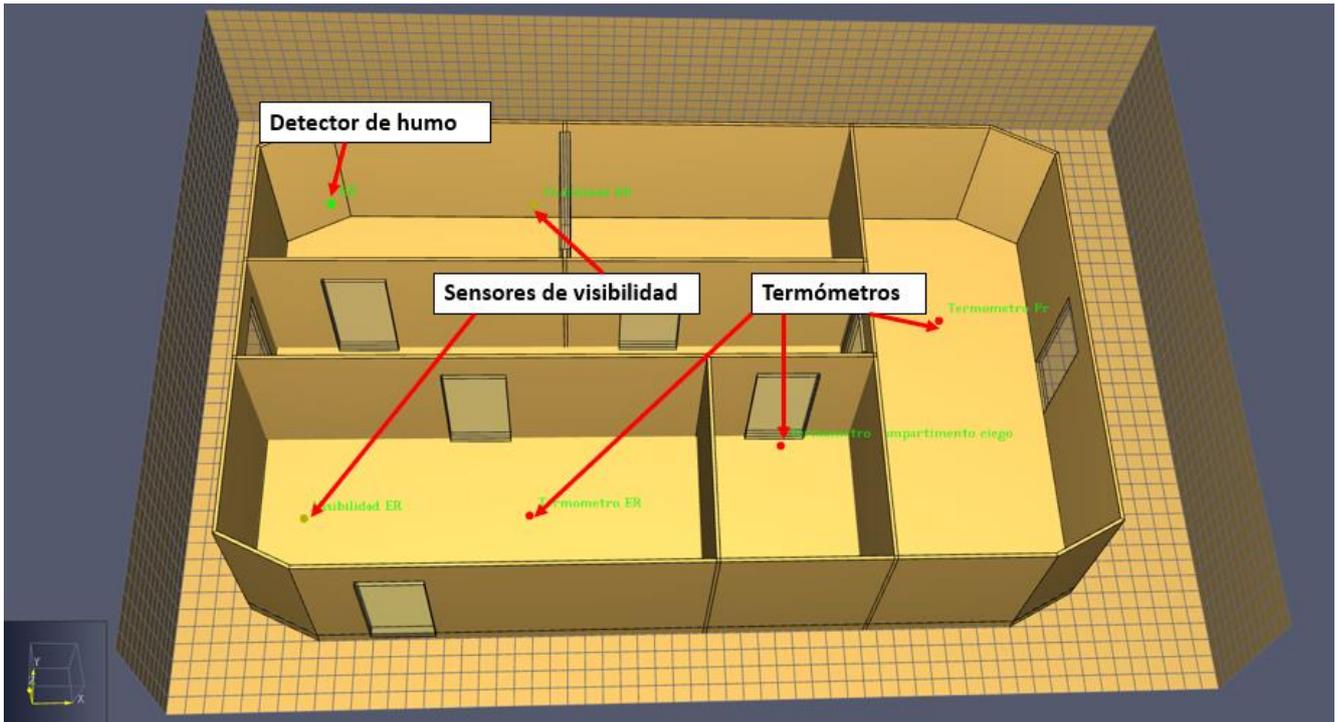


Ilustración 3-13. Distribución de distintos tipos de dispositivos empleados en la simulación.

El compartimento ciego ha sido equipado únicamente con un termómetro en el centro de este compartimento, para poder estudiar la temperatura en los compartimentos adyacentes.

También se han colocado capas para medir la temperatura en todos los mamparos y en la cubierta superior, para poder obtener visualmente una imagen del incremento de la temperatura en los compartimentos y mamparos. Esto es debido a que en función de la temperatura alcanzada por los mamparos se pueden producir incendios en compartimentos adyacentes o afectar al personal de los Trozos a la hora de atacar la incidencia.

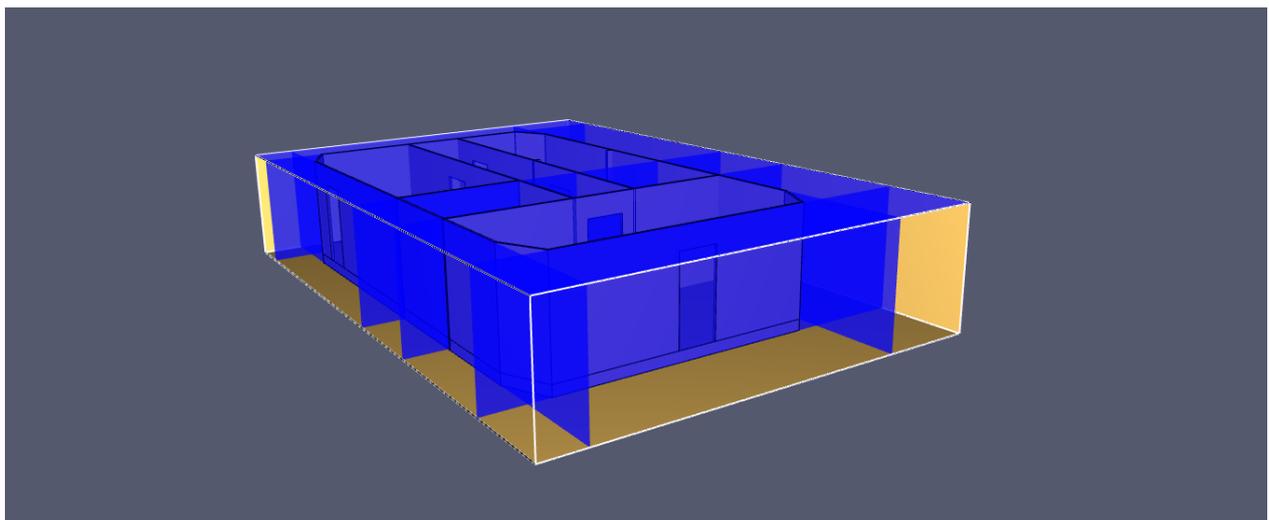


Ilustración 3-14. Mallado de las capas de temperatura.

De igual manera, se ha colocado una capa de medición de la visibilidad a una altura de 1.75m en toda la superficie del compartimento para poder observar de forma más precisa la propagación del humo y, por tanto, la pérdida de visibilidad de todos los compartimentos cuando estos están interconectados.

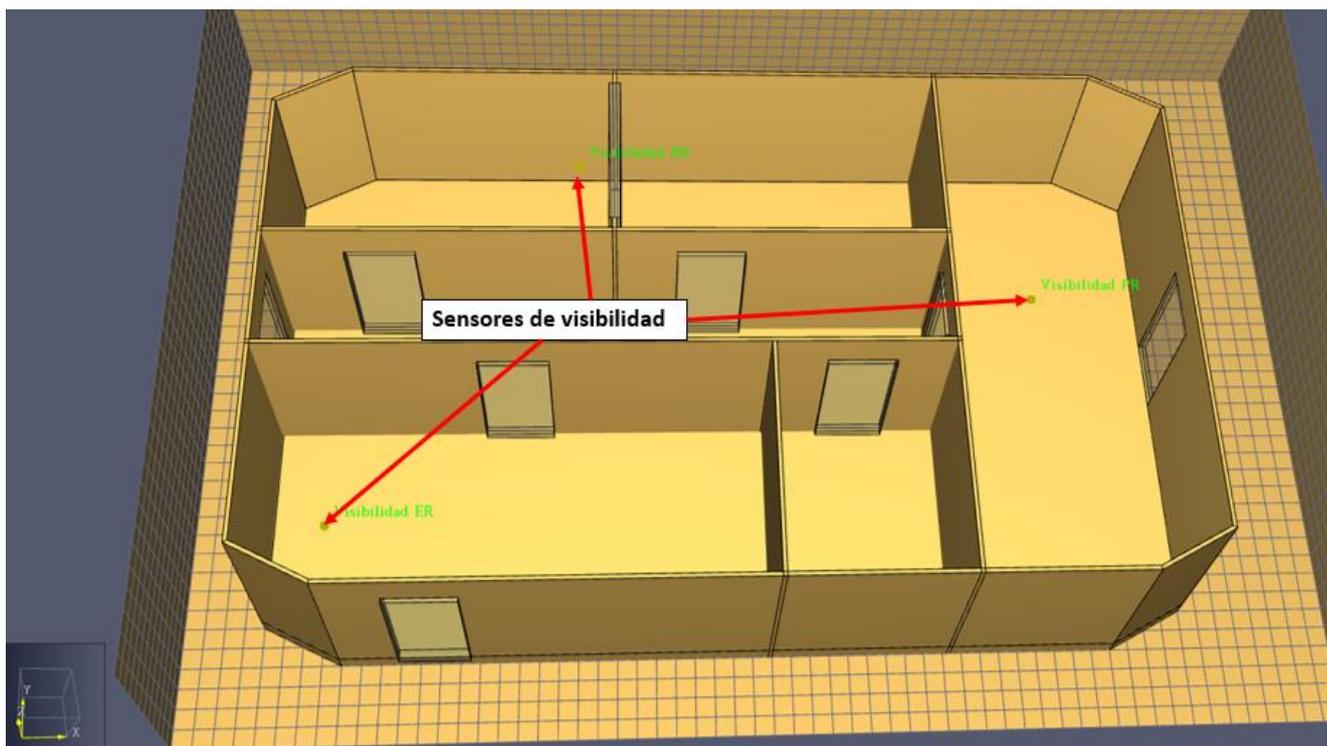


Ilustración 3-15. Distribución de los sensores de visibilidad.

Una vez tenemos el modelo preparado para realizar la simulación, hemos de seleccionar cuánto tiempo queremos que dure la simulación. En nuestro caso, se han realizado dos tipos de simulaciones, simulaciones con las parrillas grandes, que se seleccionó un tiempo de 5 minutos por simulación (300 segundos) y las simulaciones de los botes de humo, que se seleccionó un tiempo de 2 minutos (120 segundos). El motivo de bajar el tiempo de simulación se debe a que, para el estudio realizado con las parrillas grandes, se busca analizar el aumento de la temperatura principalmente, sin embargo, con la simulación con botes de humo buscamos analizar la propagación del humo a través de los compartimentos y el tiempo necesario para perder la visibilidad por completo del habitáculo. Por lo que se necesita reducir el tiempo de simulación para poder recoger los datos con mayor precisión en las gráficas.

Es importante señalar que podemos alterar parámetros de las simulaciones mediante la habilitación o inhabilitación de los componentes conforman el modelo. Esta función la he utilizado a lo largo de todo el proyecto para así modificar distintos parámetros, especialmente para cierre de portillos y activación y desactivación de las distintas parrillas y botes de humo, con el fin de conseguir un aumento de la estanqueidad en los compartimentos afectados. Como consecuencia de la alteración de parámetros, para conseguir el resultado de la misma duración, con distintas condiciones, el tiempo del cálculo de la simulación varía al igual que lo hacen los resultados obtenidos.

La intención inicial era cerrar por completo el compartimento en el que se producía el incendio y estudiar los efectos generados en los compartimentos adyacentes bajo condiciones de mayor estanqueidad, sin embargo, a la hora de realizar la simulación, el programa señalaba una duración del proceso de cálculo de entre dos y tres días, pero tras 20 minutos aproximadamente el programa mostraba un error y eliminaba por completo el archivo generado hasta ese momento. Tras la realización de distintas pruebas para saber si se trataba de un error puntual, se optó por realizar una estanqueidad parcial.

Las simulaciones se dividieron en función del compartimento en el que se han realizado. Para cada compartimento, se ha realizado una simulación con todos los portillos abiertos y otra cerrando algunos de ellos, por los motivos previamente expuestos, para comprobar en qué afecta alterar estas condiciones.

3.3 Condiciones del compartimento principal.

Para la simulación del compartimento principal, se han estudiado dos posibles variantes, la primera es, con todos los compartimentos abiertos y, la segunda, con los portillos del compartimento principal y el que permite el acceso al pasillo desde el exterior cerrados, como se señala en la Ilustración 3-16.

El objetivo es estudiar el aumento de la temperatura total de todos los compartimentos aumentando la estanqueidad del modelo.

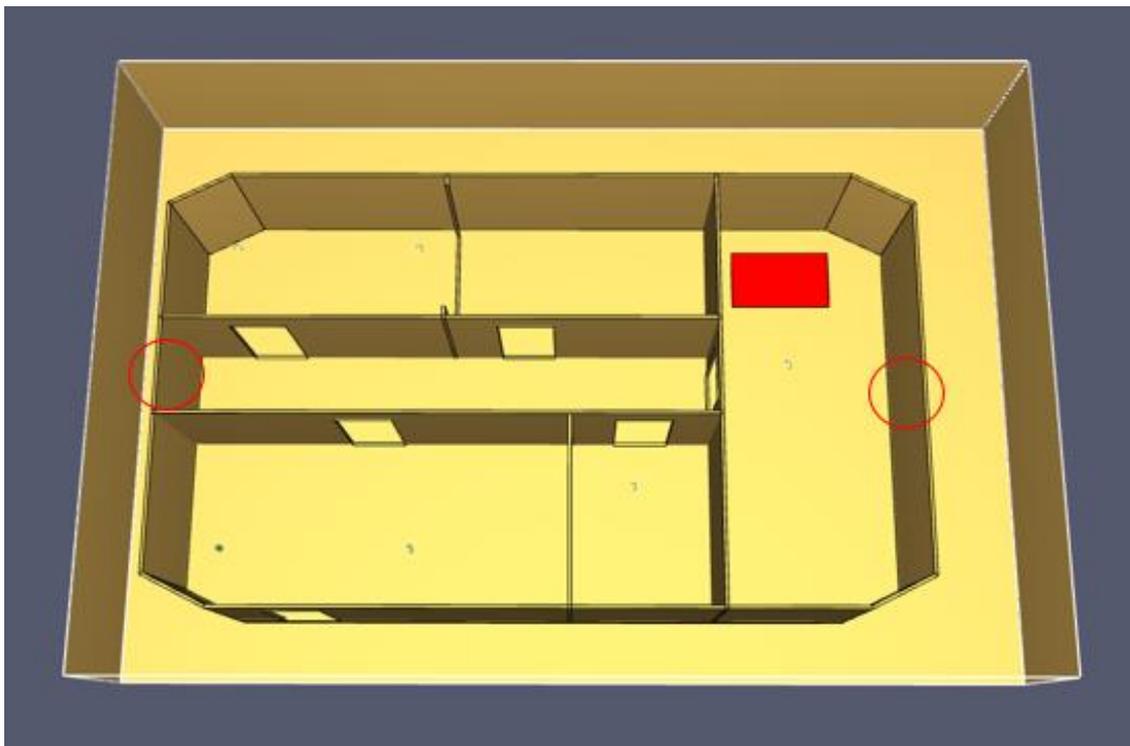


Ilustración 3-16. Portillos cerrados para la simulación del incendio del compartimento principal.

A continuación, se muestra una secuencia de imágenes que nos permiten apreciar el aumento de la temperatura en la parte superior de los distintos compartimentos conforme se desarrolla el incendio en el compartimento principal con todos los portillos abiertos.

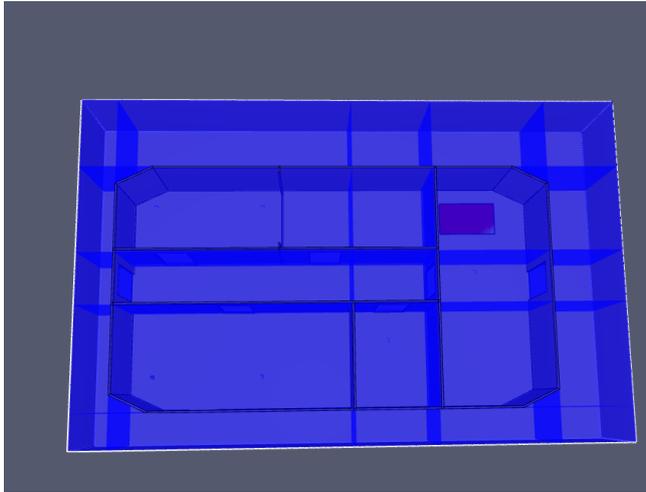


Ilustración 3-17. Incendio principal al comienzo de la incidencia.

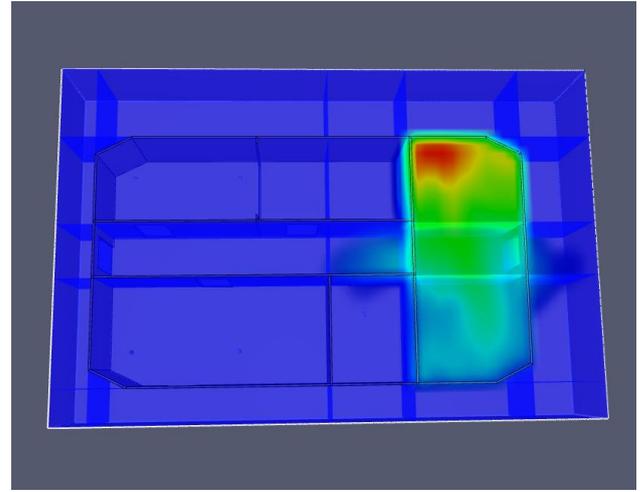


Ilustración 3-18. Incendio del compartimento principal a los 5s.

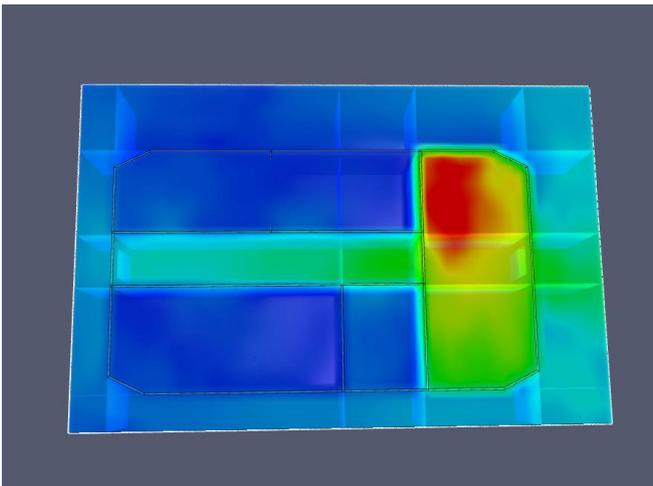


Ilustración 3-19. Incendio del compartimento principal a los 25s.

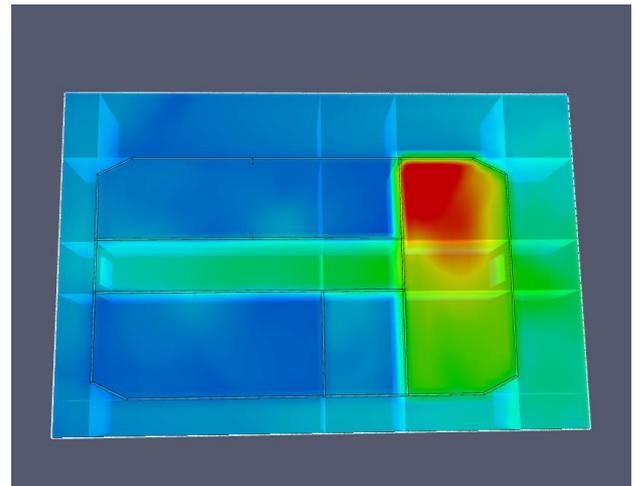


Ilustración 3-20. Incendio del compartimento principal a los 90s.

3.4 Condiciones del compartimento de babor.

Para el estudio del incendio de babor, se inhabilitó el incendio principal y se activó el del compartimento de babor. Al igual que sucede con el compartimento principal, se simuló la primera vez con todos los compartimentos interconectados y otra vez cerrando el portillo del compartimento de estribor que tiene salida al exterior y el portillo más próximo a la parrilla de incendio del compartimento de babor, como se puede apreciar en la Ilustración 3-21.

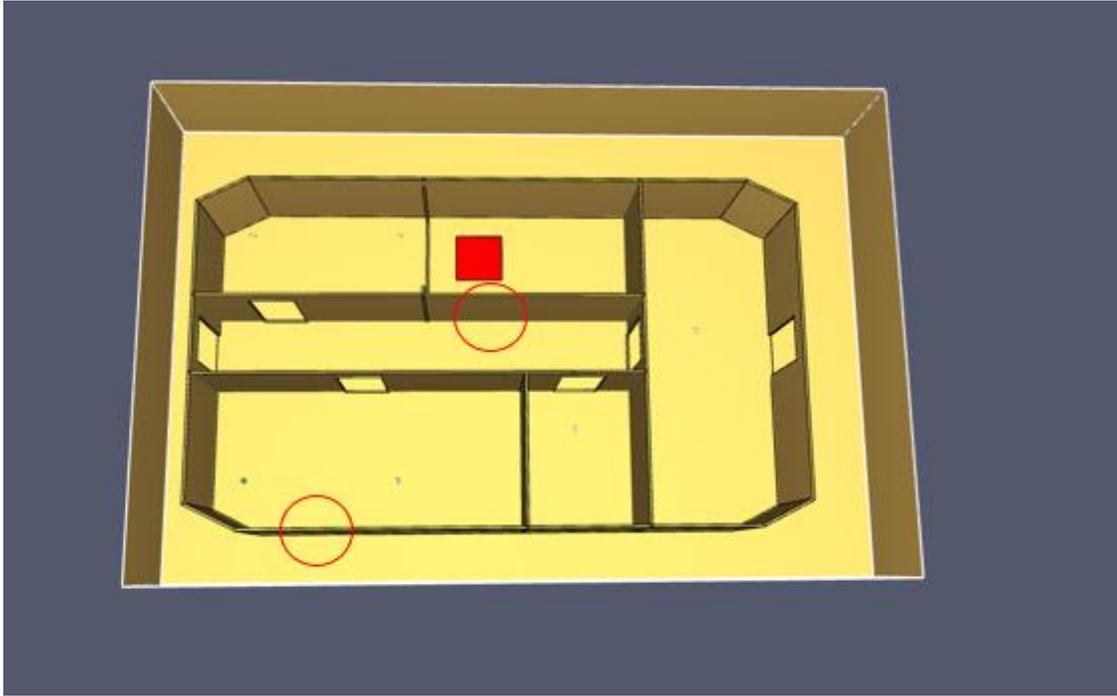


Ilustración 3-21. Portillos cerrados del compartimento de babor.

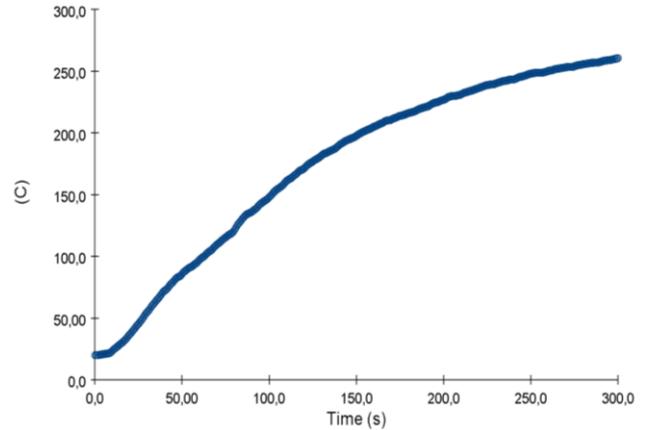
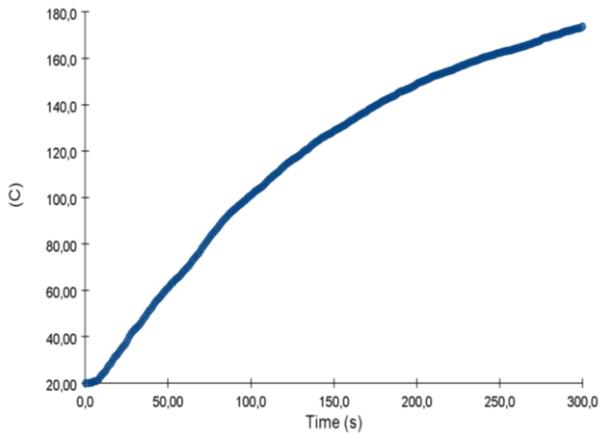


Ilustración 3-22. Diferencia de temperaturas entre el compartimento abierto (izquierda) y cerrado (derecha).

3.5 Condiciones del compartimento de estribor.

El último estudio de las temperaturas alcanzadas se realiza en el compartimento de estribor. Este es el compartimento de menor tamaño de los que disponen de parrillas. En este caso, también se realizó la simulación con todos los compartimentos interconectados y una segunda simulación que, como muestra la Ilustración 3-23, tiene el portillo de exterior de ese compartimento cerrado.

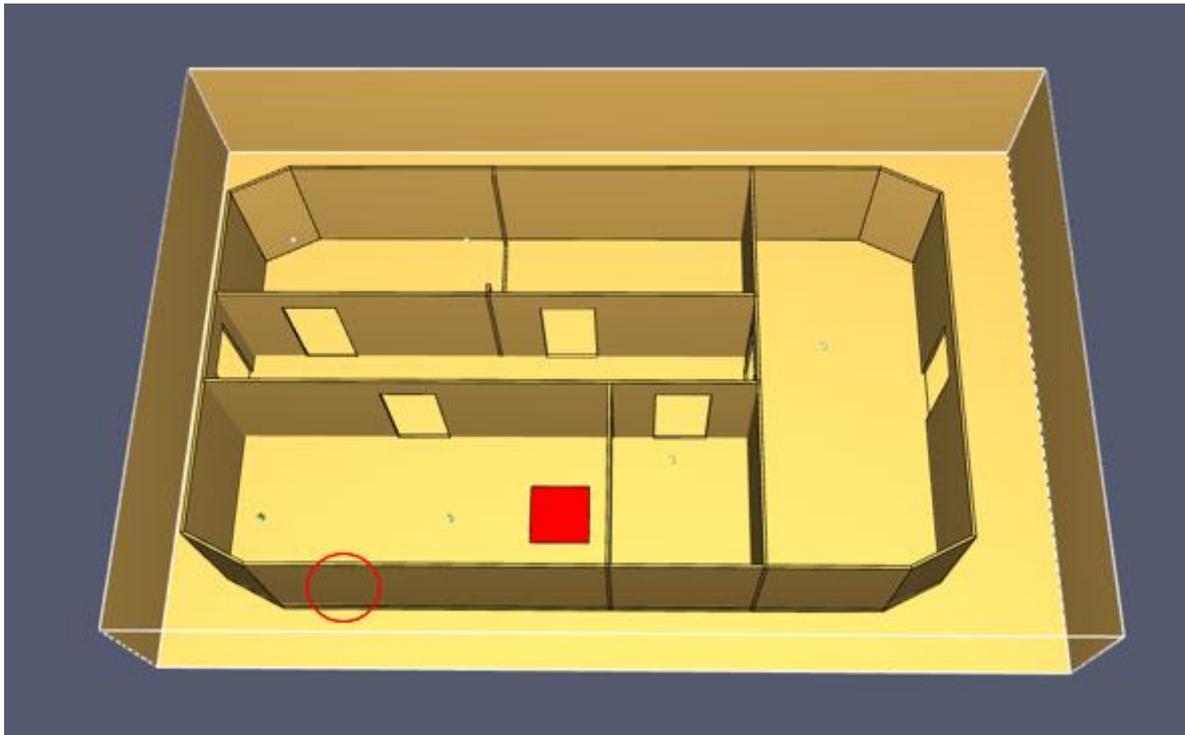


Ilustración 3-23. Portillo cerrado para la simulación del incendio del compartimento de estribor.

3.6 Condiciones de para el estudio de la propagación del humo.

Con el objetivo de realizar el estudio de la visibilidad y la propagación del humo, se realizaron las simulaciones con las mismas condiciones expuestas previamente. Es decir, se realizaron las simulaciones con las mismas condiciones, pero cambiando las parrillas grandes por parrillas de menor tamaño, consiguiendo emular así una situación similar a la producida por los botes de humo, como podemos observar en la Ilustración 3-24 y en la Ilustración 3-25. El tamaño de las parrillas grandes se sustituyó por un área de 0.35m^2 y se empleó el mismo combustible que para la simulación de los incendios, debido a la cantidad de humo producida por nuestro combustible. El combustible pretende emular el humo que se generó con los dos botes de humo que se emplearon en la validación de las simulaciones. También se cambió el tiempo de simulación, como ya se ha explicado previamente, para poder obtener con mayor detalle los datos reflejados en las gráficas.

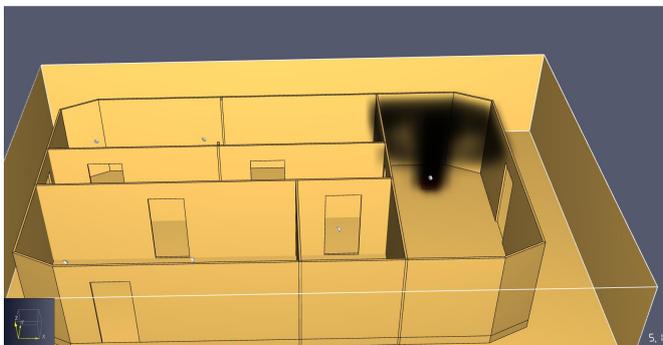


Ilustración 3-24. Simulación de la propagación del humo.



Ilustración 3-25. Propagación del bote de humo real.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados de la simulación de incendios.

Tras la realización de las simulaciones hemos obtenido de cada incidencia un conjunto de gráficas que nos muestran los niveles de temperatura, humo y visibilidad de los compartimentos durante el desarrollo de la incidencia. En este apartado, nos centraremos en los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con la simulación de los incendios.

En las pruebas realizadas al compartimento principal se obtuvieron los siguientes datos:

INCENDIO COMPARTIMENTO PRINCIPAL

TIEMPO (S)	Abierto				Cerrado			
	PR	BR	ER	Ciego	PR c	BR c	ER c	Ciego c
0	20	20	20	20	20	20	20	20
15	35	20	20	20	35	20	20	20
30	58	20	20	24	60	25	20	26
60	125	27	26	31	130	35	27	37
90	170	38	32,5	43	193	46	38	52
120	200	48	35,7	50,8	225	57	45	67
180	240	60	45	70	250	77	61	90
240	255	67	51	76	283	90,5	75	100
300	278	75	56,7	88	270	101	90	110

Tabla 4-1. Temperaturas obtenidas del incendio principal.

En la comparativa de temperaturas alcanzadas por los distintos compartimentos como consecuencia de este incendio, se obtiene el balance de temperaturas global, realizado mediante la recopilación de datos de las gráficas obtenidas en Pyrosim, representadas en excel. En la gráfica que a continuación se relaciona, se representa en el eje de las abscisas el tiempo y en el de las ordenadas, la temperatura.

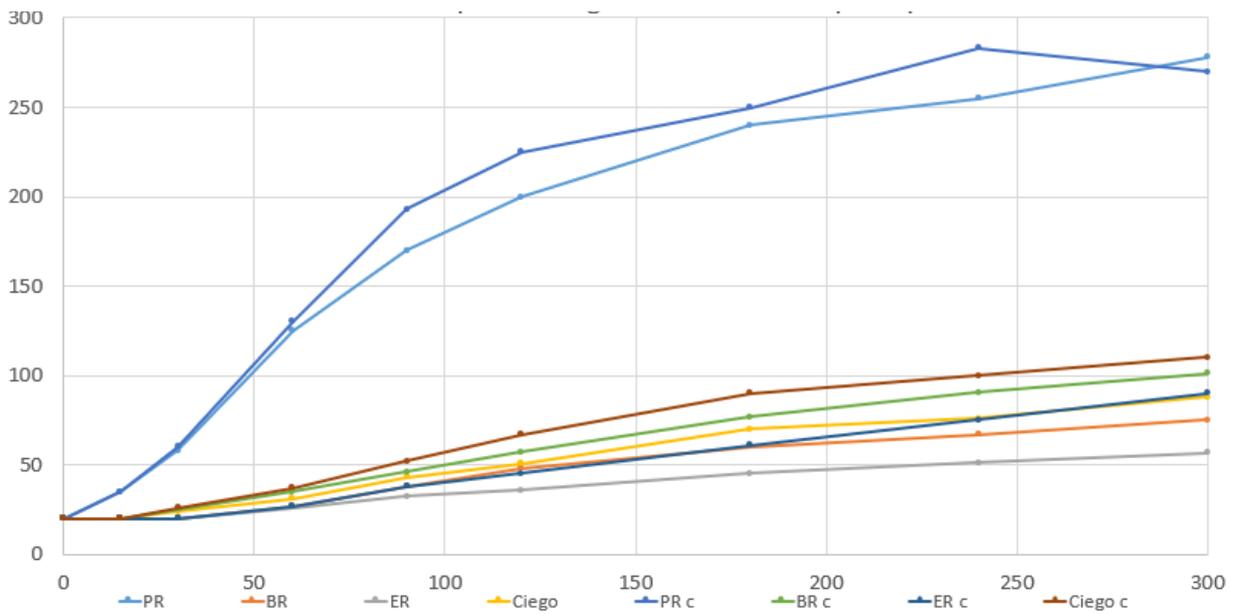


Ilustración 4-1. Comparativa de las temperaturas obtenidas en el compartimento principal.

En la leyenda de la Ilustración 4-1, podemos observar que los elementos señalados con una “c” al final indica que el incendio se ha realizado con portillos cerrados, mientras que los nombres que no aparecen así señalados, muestran las temperaturas de los compartimentos cuando no se ha cerrado ningún portillo.

Analizando en profundidad las temperaturas en el compartimento incendiado, podemos observar una diferencia de temperatura de 30°C más en el compartimento cerrado con respecto al compartimento abierto (255°C). Suceso que tiene lugar a los cuatro minutos de comenzar la simulación.

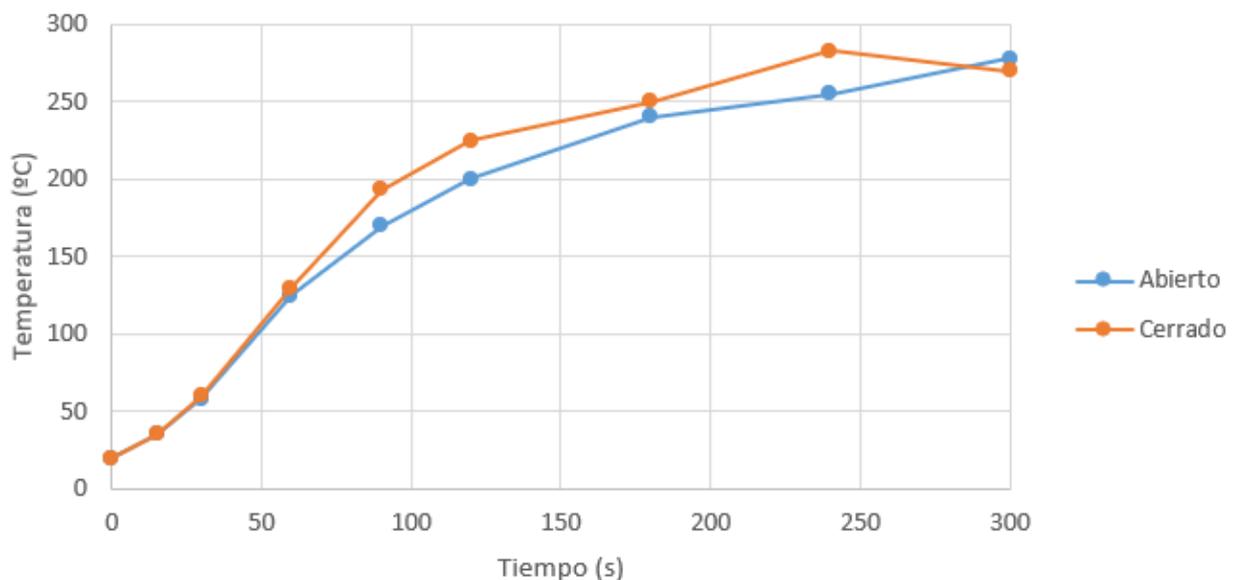


Ilustración 4-2. Comparación de temperaturas entre el mismo compartimento abierto y cerrado.

Con estas simulaciones se pretende obtener cual es el compartimento adyacente que alcanza mayor temperatura. En el caso de esta simulación, el compartimento más afectado por este fenómeno es el compartimento ciego.

Como se puede observar en la Ilustración 4-3, el compartimento alcanza una temperatura de 110°C al cabo de cinco minutos. Esta temperatura dista mucho de los 88°C que alcanza este mismo compartimento cuando están todos los demás interconectados.

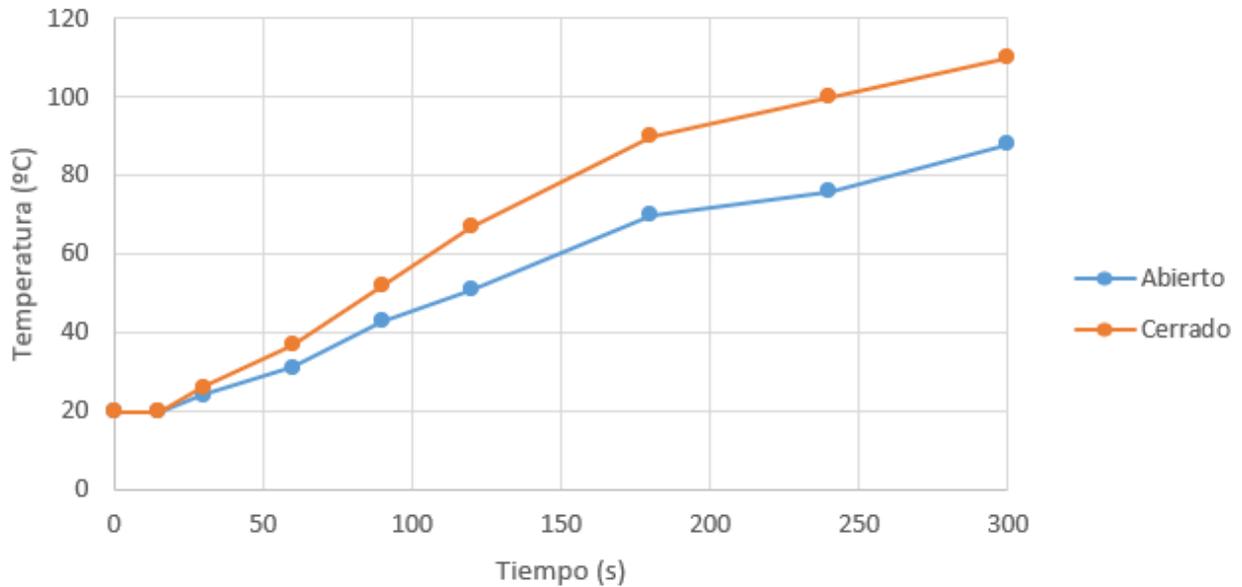


Ilustración 4-3. Comparación de temperaturas del compartimento ciego.

Por otro lado, el compartimento de babor alcanza temperaturas de 100°C cerrado y 75°C abierto y el de estribor, 90°C y 56,7°C respectivamente. Lo reseñable del compartimento de estribor es que sin estar en contacto con el que sufre el incendio, aumenta su temperatura de 20°C a 70°C estando cerrado.

Para que el humo del incendio reduzca completamente la visibilidad es necesario un tiempo total de 50 segundos, siendo el compartimento de estribor el último en verse afectado por el humo. Sin embargo, solo se tardan 5 segundos en pasar de tener una visibilidad mayor de 30m a 0m de visibilidad en el compartimento incendiado. Estos valores son contrastados tanto con las gráficas de porcentaje de humo por metro de compartimento y las gráficas de visibilidad, consiguiendo en ambos valores análogos en el tiempo.

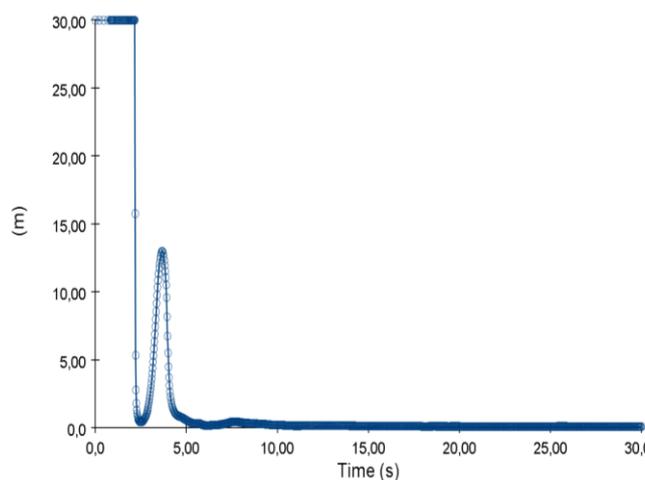


Ilustración 4-4. Reducción de la visibilidad

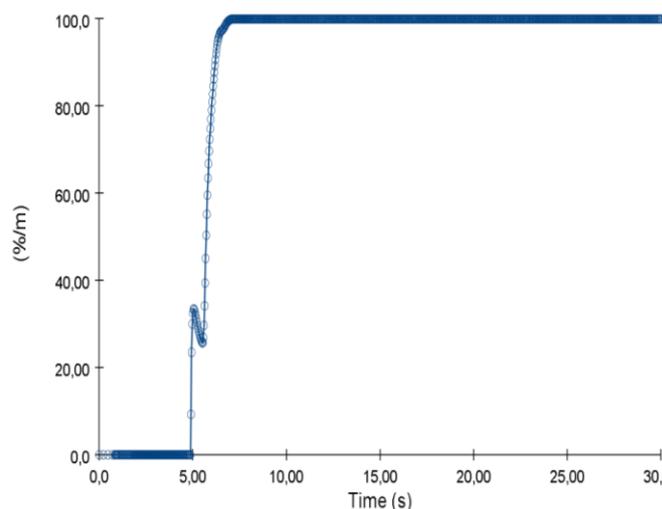


Ilustración 4-5. Porcentaje de humo en el compartimento.

Para la simulación realizada del compartimento de estribor, que es el de menor tamaño, se realizó también una tabla comparativa de los datos obtenidos para el compartimento abierto y cerrado, como se muestra a continuación.

INCENDIO COMPARTIMENTO DE ESTRIBOR

TIEMPO (S)	Abierto				Cerrado			
	PR	BR	ER	Ciego	PR c	BR c	ER c	Ciego c
0	20	20	20	20	20	20	20	20
15	20	20	25	20	20	20	27	20
30	20	20	40	20	20,5	20	48	20
60	23,8	27	71	25	25	27	84,6	26
90	30	34,8	100	31	33,5	38	125	34,4
120	34,3	40	120	36	38,1	48	151	39,1
180	42,4	52,7	160	42	45,2	60	190	48
240	46,6	57,7	176	50	52,3	67	208	55
300	50,5	65	192	54	56	75	225	57,5

Tabla 4-2. Temperaturas obtenidas del incendio de estribor.

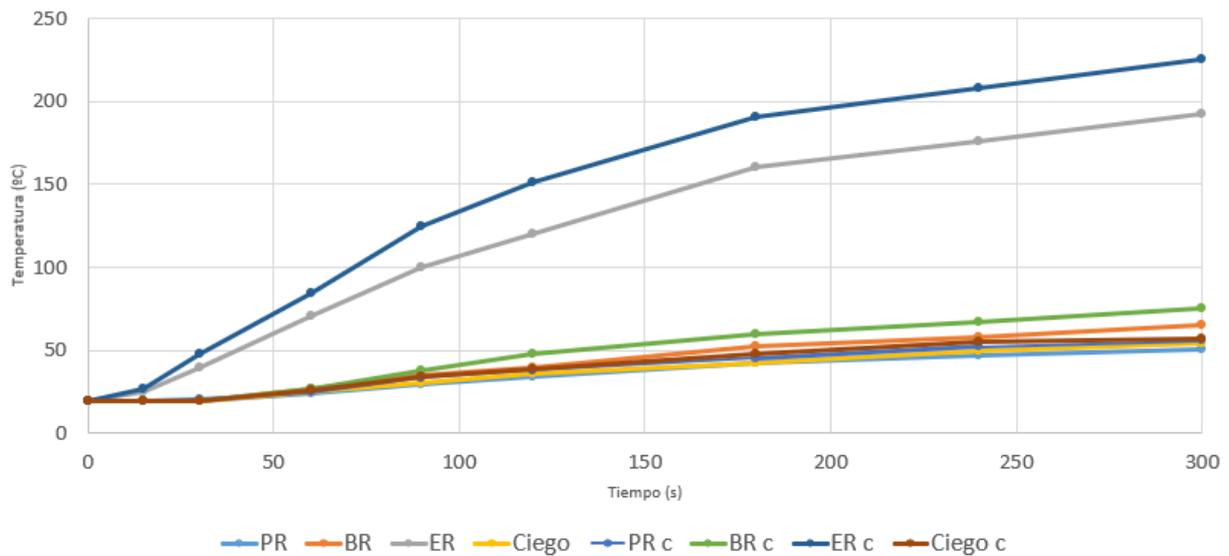


Ilustración 4-6. Comparativa de las temperaturas obtenidas del incendio de estribor.

En este caso, la temperatura del compartimento incendiado alcanzó una temperatura de 225°C cuando los portillos exteriores de todo el modelo se encuentran cerrados. Sin embargo, cuando se simuló el incendio con los portillos abiertos, se alcanzó una temperatura máxima de 192°C tras cinco minutos de simulación.

Para esta simulación, el compartimento adyacente que alcanza una mayor temperatura es el de babor, siendo su temperatura máxima alcanzada de 75°C cuando se encuentran los portillos exteriores cerrados y de 65°C cuando todos los portillos están abiertos.

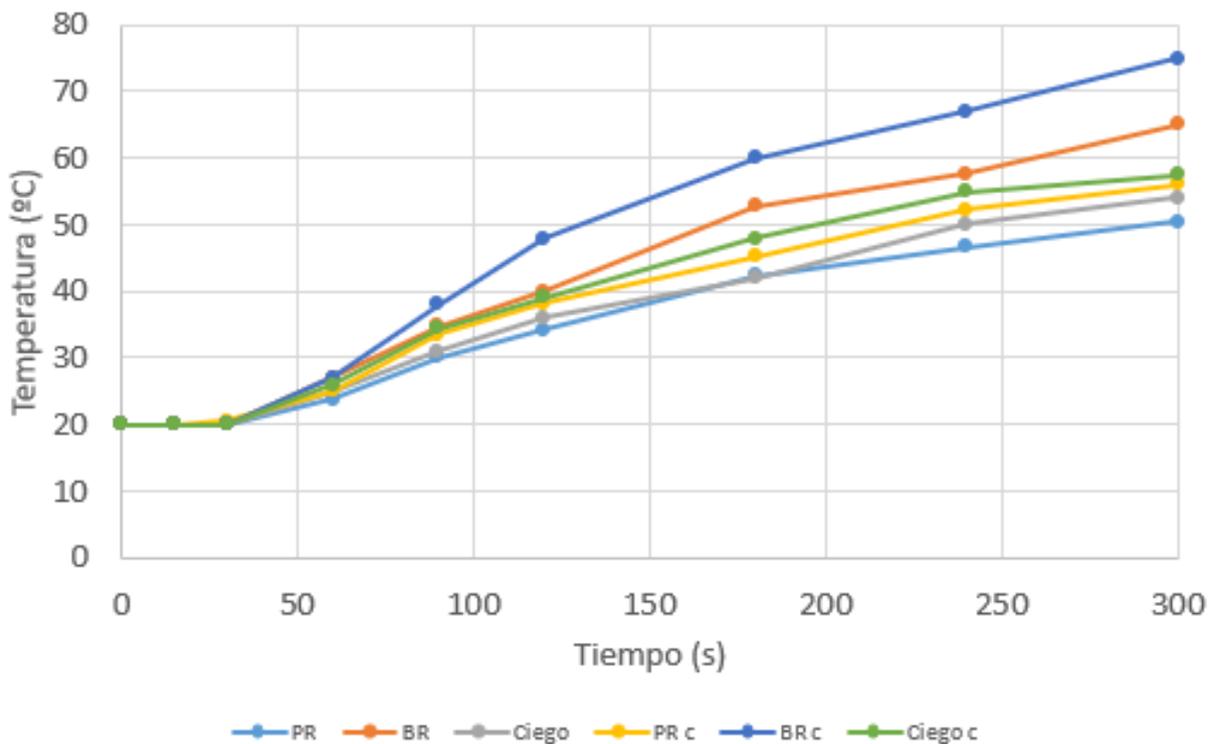


Ilustración 4-7. Temperaturas de compartimentos adyacentes.

Como era de esperar, en el compartimento principal, se obtienen las menores temperaturas tanto para el incendio con portillos cerrados como para el que están abiertos. Esto se debe a que dicho compartimento es el de mayor volumen, no tiene contacto directo con el compartimento incendiado y es el que está más alejado, por lo que el incremento de temperatura se debe a la propagación del humo que acaba en dicho compartimento.

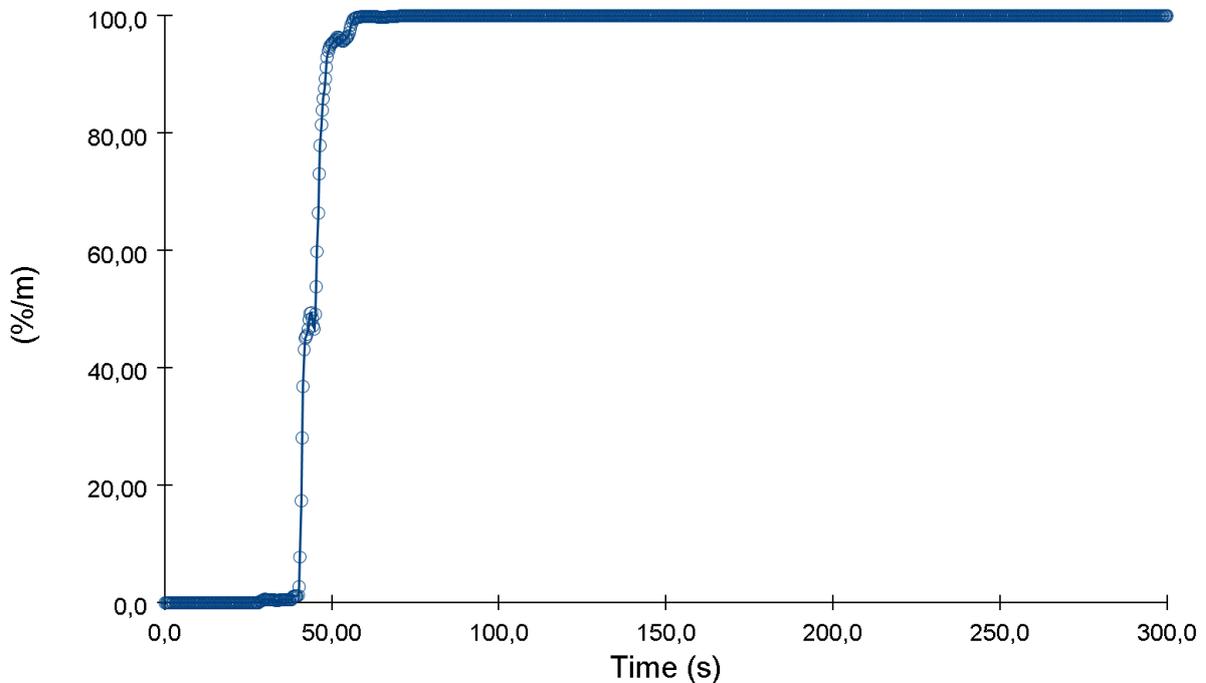


Ilustración 4-8. Propagación del humo del incendio de estribor en el compartimento principal.

La reducción de visibilidad producida en el lugar de la incidencia y los compartimentos adyacentes se desarrolla de manera similar a la que se produce en el incendio del compartimento principal.

En el compartimento de estribor se pierde completamente la visibilidad tras los primeros 5 segundos del incendio y completamente en todos los compartimentos tras 52 segundos cuando los portillos están abiertos. Cuando los portillos están cerrados, se pierde la visibilidad completamente tras los primeros 40 segundos de la simulación. En este caso, el resultado de la pérdida de visibilidad en el compartimento en el compartimento de estribor, donde transcurre la incidencia, no varía entre las simulaciones con los portillos abiertos y cerrados.

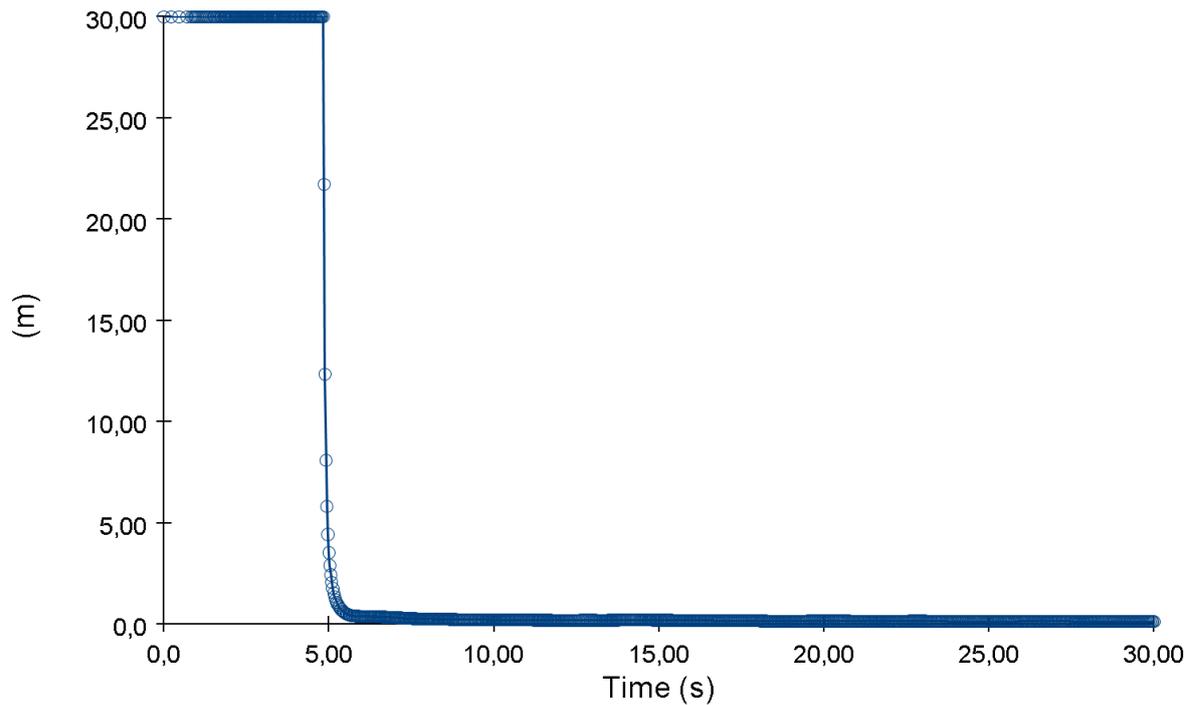


Ilustración 4-9. Reducción de la visibilidad del compartimento de estribor.

Por último, como consecuencia del incendio del compartimento de babor, que es el segundo con mayor volumen. Al igual que en las dos incidencias previas, los datos que obtenemos en la simulación del compartimento con los portillos abiertos y con el portillo más próximo al foco del incendio y el de estribor del exterior cerrados son los que observamos en la Ilustración 4-10.

TEMPERATURA COMPARTIMENTO BABOR

TIEMPO (S)	Abierto				Cerrado			
	PR	BR	ER	Ciego	PR c	BR c	ER c	Ciego c
0	20	20	20	20	20	20	20	20
15	20	23	20	20	21	22	20	20
30	20	36,8	21	20	22	50	20	20
60	30	63	25	27,5	25	100	23	25
90	40	98	32	36,8	32	145	27,7	32
120	50	120	36	45,5	36	175	32,5	36
180	60	140	43,3	55	46	218	41,9	42
240	68	160	50	60	52,5	250	47,3	50
300	73	176	55	65,5	56	266	50	54

Tabla 4-3. Temperaturas obtenidas del incendio de babor.

En este caso, la diferencia de temperaturas alcanzadas en el compartimento en el que se produce el incendio es de aproximadamente 100°C, siendo la temperatura mayor en el compartimento abierto de 179°C y en compartimento con portillos cerrados de 266°C. Estas temperaturas se alcanzaron a los 5 minutos del inicio de la incidencia. De esta simulación se obtiene como resultado que este es el compartimento en el que más notable es la diferencia de temperaturas entre las diferentes condiciones impuestas para el compartimento en el que se desarrollan las incidencias.

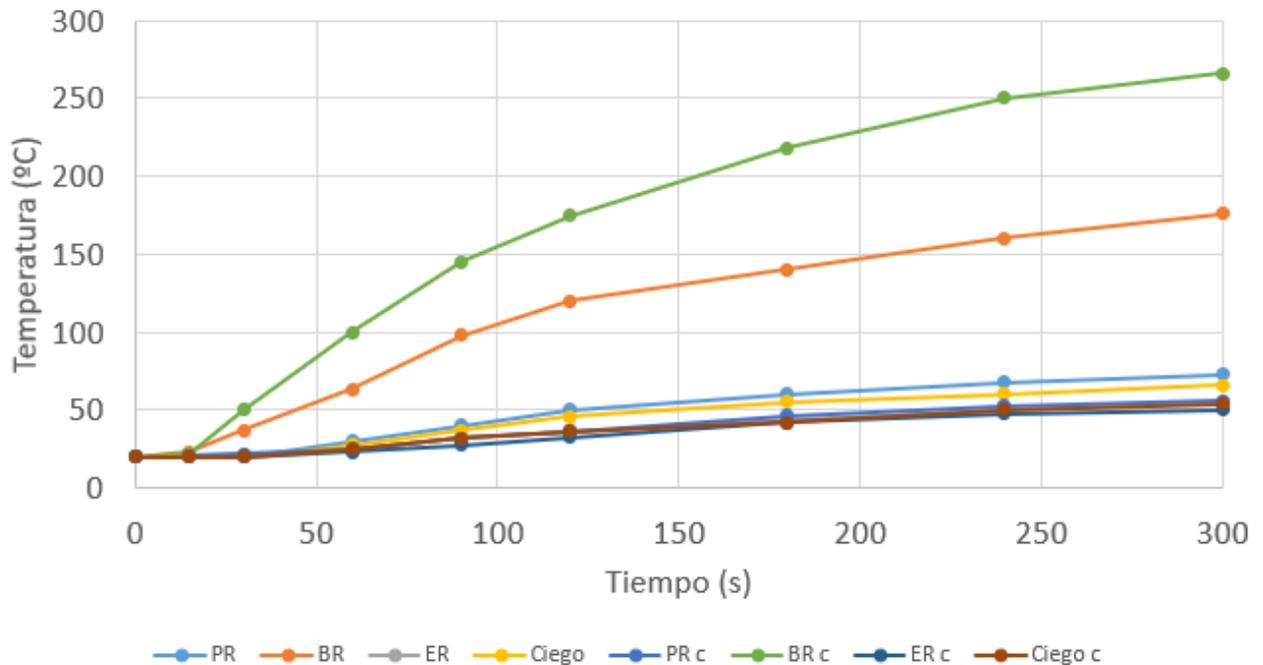


Ilustración 4-10. Comparativa de las temperaturas producidas por el incendio de babor.

Para el incendio de babor, el compartimento del modelo que alcanzó mayor temperatura es el compartimento principal. Este compartimento no solo es el único compartimento adyacente, sino que, además, el foco del incendio se encuentra muy próximo al mamparo que comparten estos dos compartimentos, hecho que explica el mayor incremento de temperatura.

En el compartimento principal se alcanzó una temperatura máxima de 73°C cuando los portillos se encontraban abiertos, alcanzándose esta temperatura tras 5 minutos. En este caso, la diferencia de temperaturas respecto a la simulación con los portillos cerrados es de 17°C, siendo la temperatura máxima alcanzada 56°C, como se puede observar en la Ilustración 4-11.

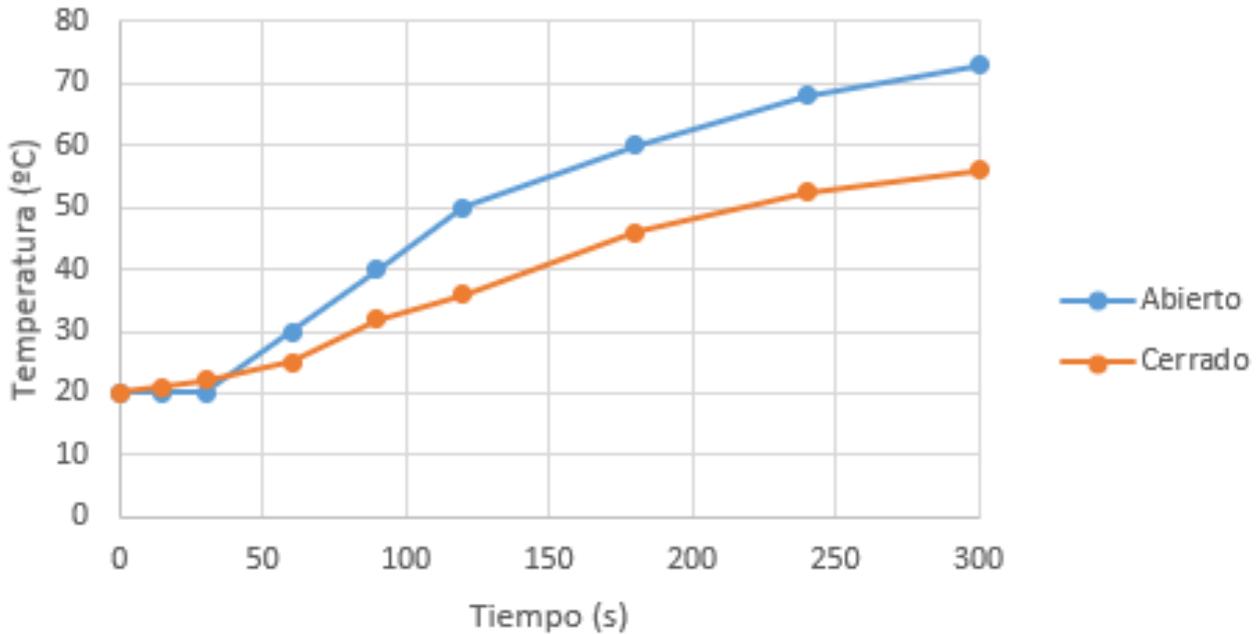


Ilustración 4-11. Aumento de temperaturas del compartimento principal consecuencia del incendio de babor.

En este caso, se puede observar la peculiaridad de que se consiguen mayores temperaturas con los portillos abiertos que con los portillos cerrados, esto se debe a que el portillo que se cerró es el que está más próximo al resto de los portillos que comunican sus correspondientes compartimentos con el incendiado, lo que provoca que la única vía de escape para el humo sea el portillo más próximo al que comunica el pasillo con el exterior, lo que permite una eficaz extracción de este.

Esto también nos indica la importancia que tiene el humo, no solo en la reducción de la visibilidad, sino en el aumento de la temperatura del resto de compartimentos.

Para concluir el análisis de los resultados de este incendio, como se ha hecho previamente, se realiza un estudio de la pérdida de la visibilidad generada en dichos compartimentos.

En este caso, en el compartimento de babor se produce una pérdida de visibilidad total tras 7 segundos, como se aprecia en la Ilustración 4-12. Este es el compartimento en el que más tarde se produce la pérdida de visibilidad. Esto se debe a que, además de tener un volumen menor que el compartimento principal, la parrilla de incendio también tiene menor tamaño que la del compartimento principal y, en comparación, ocupa un menor porcentaje del área del compartimento respecto al área total.

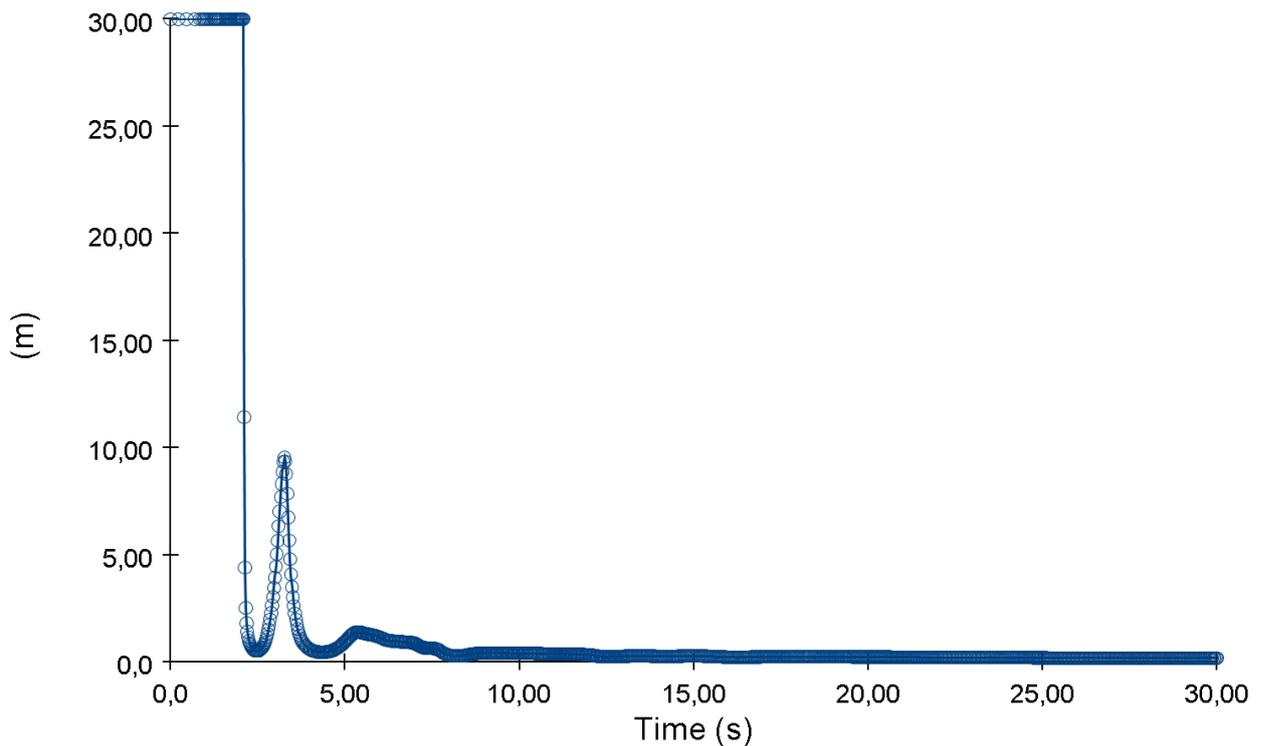


Ilustración 4-12. Reducción de visibilidad en el compartimento de babor.

En el desarrollo de esta incidencia, la pérdida de visibilidad en todos los compartimentos se produce a los 55 segundos del inicio de la incidencia con todos los portillos abiertos y a los 68 segundos cuando se encuentran los portillos cerrados. En este segundo caso, se tarda más en inundar por completo el modelo de humo debido a que el cierre del portillo más próximo a la parrilla solo permite la propagación del humo por el portillo más próximo al exterior, lo que favorece la evacuación de este.

Todas las gráficas obtenidas en Pyrosim de la simulación de los distintos incendios se encuentran recogidas en el Anexo I: Gráficas de los incendios.

4.2 Resultados de la experimentación con botes de humo.

A continuación, en este apartado, se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones que emulan los botes de humo que usamos realmente en los compartimentos del CASI. Los experimentos llevados a cabo se realizaron en el compartimento principal y en el de estribor, para ello se utilizaron dos botes de humo para cada prueba realizada. Para analizar en primera persona los efectos producidos por el humo en las incidencias, se han utilizado dos cámaras para captar el momento en el que perdemos completamente la visibilidad, una cámara de video normal y una de visión 360°.



Ilustración 4-13. Experimento realizado con los botes de humo en el CASI.

En la simulación realizada para analizar el compartimento principal, el sensor colocado a 1,75m de altura registró a los 19 segundos una reducción de visibilidad de 30m a tan solo 2m, quedando totalmente inundado de humo al transcurso de 80 segundos, como se muestra en la Ilustración 4-18. En este caso, el resultado obtenido para la simulación con los portillos cerrados es el mismo que para los portillos abiertos. Los portillos que se decidieron cerrar son los mismo que se cerraron para realizar la simulación del incendio principal.

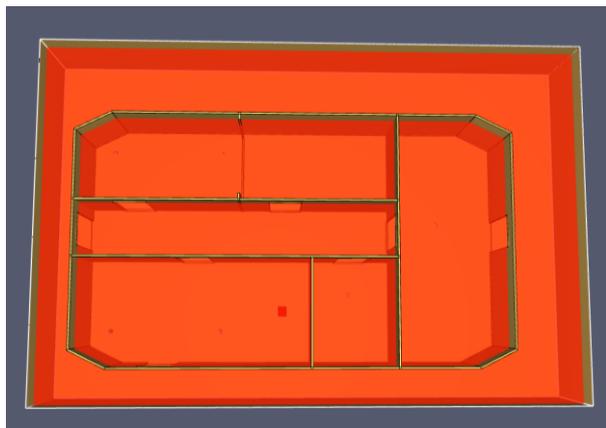


Ilustración 4-14. Visibilidad al inicio de la incidencia.

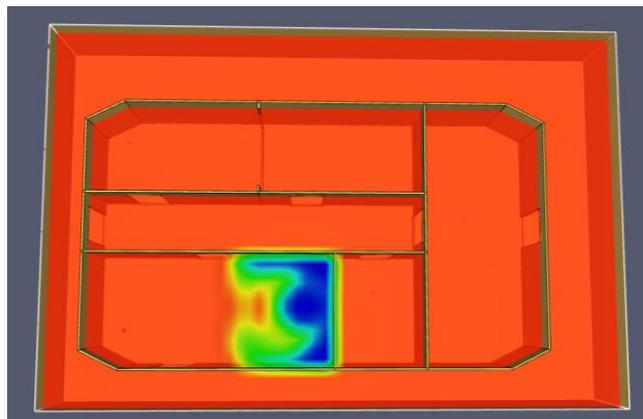


Ilustración 4-15. Visibilidad a los 5s de la incidencia.

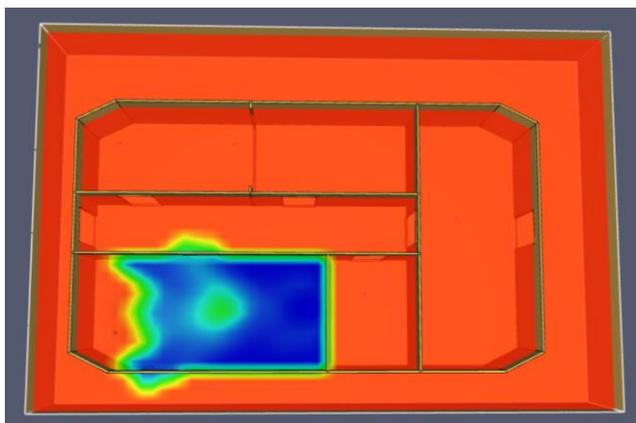


Ilustración 4-16. Incidencia a los 10s de la incidencia.

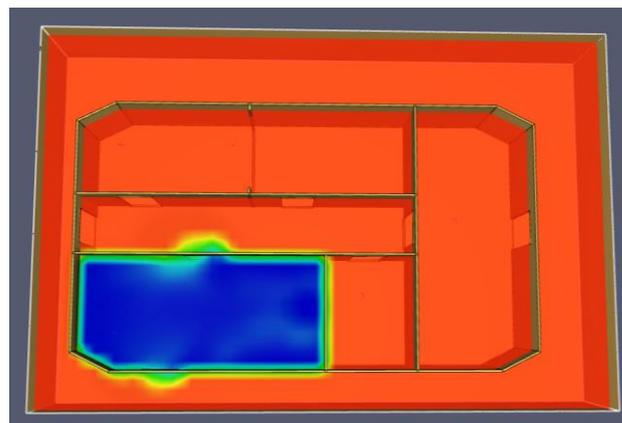


Ilustración 4-17. Visibilidad a los 15s de la incidencia.

En el experimento realizado con los botes de humo, los resultados no coinciden con los resultados mostrados en las gráficas. Aparentemente, sí que se observa una correlación entre el tiempo que tarda en llegar el humo al sensor y lo que tarda en llegar a la cámara 360, sin embargo, en este caso la pérdida de visibilidad no es exponencial, sino que es gradual y el tiempo que tarda en cubrirse la cámara es de 90 segundos. Segundo, el medio en el que se realiza el modelo, no tiene en cuenta variables como el aire exterior, en nuestra experiencia, existe una corriente que permite una mayor pérdida de humo.

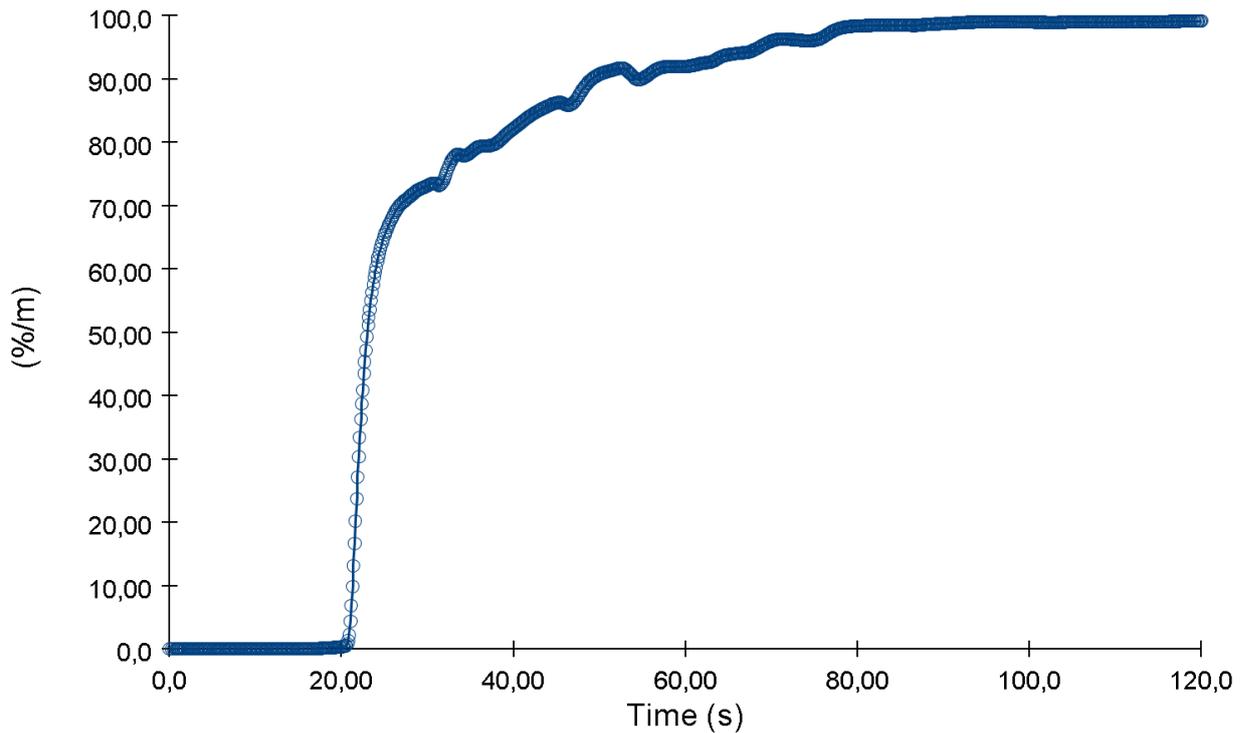


Ilustración 4-18. Aumento del humo en el compartimento principal.

En el compartimento de estribor, igual que se hizo con el compartimento principal, se realizaron las pruebas en las mismas condiciones que en los incendios previamente simulados. En este caso, el sensor de visibilidad también recogía los mismos tiempos para el incendio abierto y el cerrado. En este compartimento se obtuvo una reducción de la visibilidad de 30m a 2m en 14 segundos. Resultado que se aproxima al registrado en video al realizar el experimento en el compartimento de estribor del CASI. La inundación total del compartimento por el humo se produjo a los 60 segundos del inicio de la incidencia, teniendo una visibilidad de 0m tras los primeros 40 segundos, dato también se aproxima al obtenido en las grabaciones del experimento realizado.

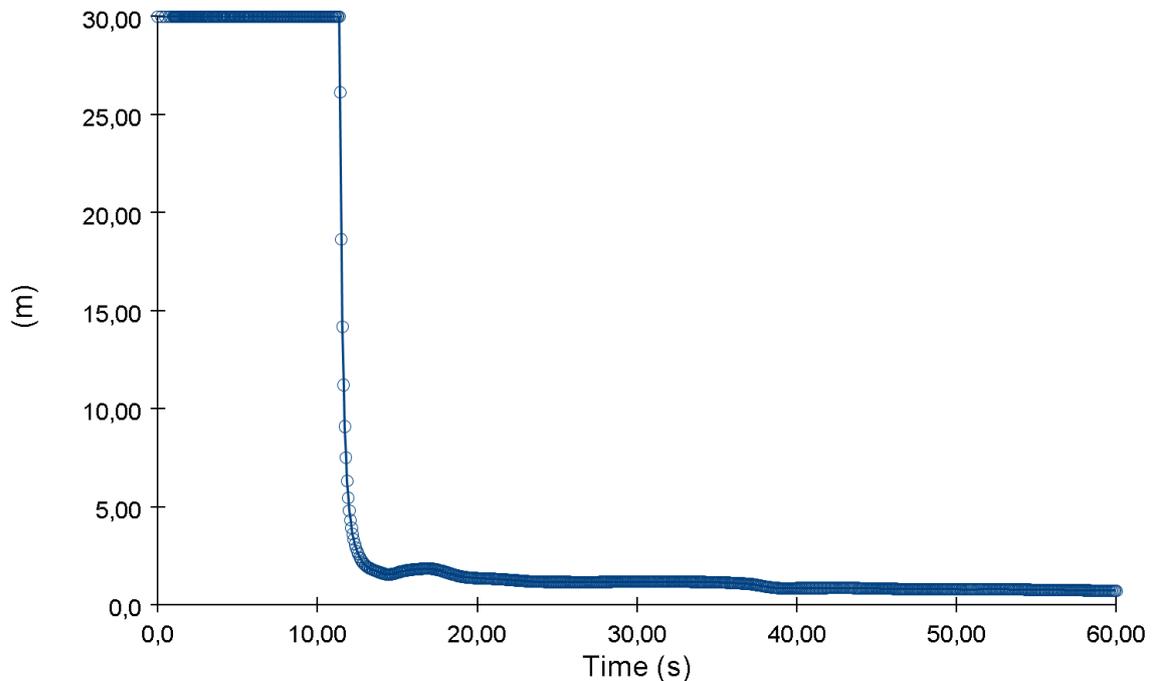


Ilustración 4-19. Reducción de visibilidad del compartimento de estribor durante la incidencia.

Por último, aunque no se realizaron pruebas en el compartimento de babor con botes de humo, sí que se realizaron las mismas simulaciones que en el incendio de este compartimento y se pudo observar que, la pérdida de visibilidad en este caso se produce, para el compartimento con todos los portillos abiertos, a los 40 segundos, pasando de los 30m a los 2m de visibilidad. En esta simulación sí que se produce una variación considerable en el tiempo de pérdida de visibilidad con los portillos cerrados, reduciendo la visibilidad a 2m de distancia a los 22 segundos. También se observan diferencias en la inundación del compartimento, produciéndose en 60 segundos para el compartimento cerrado frente a los 85 segundos que necesita el compartimento con todos los portillos abiertos.

Todas las gráficas que contienen la información referente al desarrollo de la incidencia como las imágenes que muestran la pérdida de visibilidad a lo largo del tiempo se encuentran recogidas en el Anexo II: Gráficas de los botes de humo.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Actualmente existe una gran variedad de elementos tecnológicos que podrían emplearse en el campo de la Seguridad Interior para cambiar la organización de los Trozos, aumentar la eficacia de las acciones llevadas a cabo para combatir las incidencias y garantizar la seguridad del personal durante el transcurso de estas. El avance exponencial de la tecnología en la actualidad nos brinda una infinidad de posibilidades a la hora de mejorar y automatizar sistemas, así como nos permite controlarlos de manera remota, al igual que analizar y monitorizar nuestro entorno a tiempo real.

Como primera conclusión cabe destacar que se ha cumplido completamente el objetivo de realizar un estudio con un enfoque prospectivo, como propuso el Estado Mayor de la Armada, que tenía como fin mostrar nuevos avances y herramientas tecnológicas para automatizar y hacer más eficientes las reacciones del personal de los Trozos.

Las máscaras biónicas, el dispositivo desarrollado en el proyecto Prometeo o las balizas bluetooth son dispositivos que permiten la monitorización de diferentes parámetros de su entorno, lo que permite a un sistema centralizado recopilar la información que comparten estos dispositivos, contrastarla y exponerla para ayudar a la toma de decisiones por parte de los grupos de mando correspondientes. Con la integración de estos dispositivos se puede afirmar que se cumple el primer objetivo secundario recogido en el apartado 1.2. Ya que son dispositivos de monitorización, integrables en sistemas de IA e integrables en los propios equipos que deben de portar el personal de los Trozos.

Por último, respecto al estudio realizado sobre la aplicación de softwares de simulación a la Seguridad Interior. Su bajo coste y facilidad de integración dentro de las unidades, tanto embarcadas como en tierra suponen un elemento más a tener en cuenta como herramienta disponible. Estos softwares tienen la capacidad de generar los resultados necesarios para crear bases de datos que pueden ser empleadas posteriormente para generar un sistema de IA capaz de predecir el desarrollo de una incidencia en unas condiciones concretas, como se ha demostrado en este Trabajo de Fin de Grado. El modelo en el que se desarrollará la incidencia puede ser generado mediante el uso de los planos, como fue nuestro caso, o mediante el empleo del gemelo digital, herramienta de la que se dispondrá en todos los buques futuros, permitiendo así analizar el desarrollo de incidencias incluso antes de que se finalice la construcción de estos buques. Esto ofrece la posibilidad de crear procedimientos específicos para casos particulares y para cada clase de buque. Por lo tanto, se puede concluir que el objetivo secundario referente al empleo de herramientas de IA y la revisión de la doctrina, al igual que el referente al empleo de simulaciones como se indica en el apartado 1.2 se han cumplido satisfactoriamente.

5.2 Líneas futuras

Para finalizar con este proyecto, se realizan una serie de propuestas con las que se pretende continuar investigando sobre este campo.

En primer lugar, cabe destacar que el empleo de simulaciones es un elemento extremadamente útil para predecir el comportamiento de una incidencia antes de que esta se produzca, por lo tanto, una línea de investigación interesante es crear, mediante la simulación de los compartimentos del CASI, una base de datos que se pudiese emplear para generar un sistema de IA. Con el fin de analizar si el programa es capaz de predecir, en función de las condiciones impuestas, la evolución de la incidencia. A su vez, se podría aprovechar esta línea de investigación para probar la validez de los resultados que generase el programa, esto se puede hacer mediante el empleo de sensores que recopilasen datos durante el desarrollo de la incidencia para después contrastarlos. Para ello se podrían hacer uso de los botes del humo, como se hizo anteriormente en este trabajo, utilizando sensores de visibilidad y humo en los compartimentos.

Se propone realizar un estudio similar al realizado en este trabajo utilizando como escenario las lanchas de instrucción. Dicho experimento tendría como finalidad simular y realizar incidencias a bordo con el fin de generar así nuevas reacciones preplaneadas específicas. Pudiendo ser extrapolables a buques de características similares.

Por último, es interesante hacer uso del software Pyrosim con el fin de estudiar los lugares en los cuales es más eficiente instalar sensores de temperatura, humo o visibilidad, entre otros con el fin de conseguir monitorizar por completo un buque, utilizando el menor número de sensores posible. La finalidad de esta línea de investigación es optimizar el número de sensores que nos permita detectar incidencias con la mayor brevedad posible. Incluyendo la posibilidad de realizar una interfaz que permita acceder a los datos que proporcionan estos sensores a tiempo real.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Fragatas Clase ‘Santa María’ (F-80) - Fragatas clase ‘Santa María’ - Buques - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España.” <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/04Fragatas-F100-F80--02fragata-clase-santa-maria-f-80> (accessed Mar. 09, 2021).
- [2] “Fragatas Clase ‘Álvaro de Bazán’ (F-100) - Fragatas clase ‘Álvaro de Bazán’ - Buques - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España.” <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/04Fragatas-F100-F80--01fragatas-clase-alvaro-de-baza-f-100> (accessed Mar. 09, 2021).
- [3] “Las nuevas fragatas F110 de la Armada toman forma: guerra antisubmarina, cañón, antenas radar... - Libertad Digital.” <https://www.libertaddigital.com/espana/2019-12-21/las-nuevas-fragatas-f110-de-la-armada-toman-forma-guerra-antisubmarina-canon-antenas-radar-1276649807/> (accessed Mar. 09, 2021).
- [4] Autor, “D-CP-01(A) Manual Doctrinal De Seguridad Interior a Bordo.” 1, 2013.
- [5] “Guerra de las Malvinas - Wikipedia, la enciclopedia libre.” https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra_de_las_Malvinas (accessed Jan. 19, 2021).
- [6] “Atlantic Models 1/350 HMS Glamorgan, previewed by Scott Van Aken.” <https://modelingmadness.com/review/misc/ships/gb/spahrglam.htm> (accessed Jan. 31, 2021).
- [7] Autor, “I-CP-02(A) Técnicas y materiales de control de averías,” 02, 2014.
- [8] Autor, “Manual del Trozo de Reparaciones.”
- [9] “estanquidad | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.” <https://dle.rae.es/estanquidad#7IdLydk> (accessed Mar. 10, 2021).
- [10] “Partes de un barco - Oceanica Náutica.” <http://oceanicanautica.es/embarcaciones-de-recreo/partesdeunbarco/> (accessed Jan. 31, 2021).
- [11] Autor, “I-CP-01 (A) Técnicas y materiales de contraincendios,” 01, 2014.
- [12] “Los tablones de madera arden con gran fuego. peligro de incendio. | Foto Premium.” https://www.freepik.es/fotos-premium/tablon-madera-arden-gran-fuego-peligro-incendio_9440778.htm (accessed Jan. 31, 2021).
- [13] “Extintores | Fotos y Vectores gratis.” <https://www.freepik.es/search?dates=any&format=search&page=1&query=extintores&sort=popular> (accessed Jan. 31, 2021).

- [14] “Comprobación del Sistema Contra incendios (Deluge System) - Ingeniero Marino.” <https://ingenieromarino.com/comprobacion-del-sistema-contra-encendios-deluge-system/> (accessed Jan. 31, 2021).
- [15] “Esfuerzo de arrufo y quebranto - Wikipedia, la enciclopedia libre.” https://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo_de_arrufo_y_quebranto (accessed Feb. 01, 2021).
- [16] “Las Cámaras termográficas, clave en el control del COVID-19 - TSP Innovación.” <https://tspinnovacion.es/las-camaras-de-medicion-de-temperatura-corporal-seran-la-clave-en-el-control-del-covid-19/> (accessed Feb. 01, 2021).
- [17] A. P. Garc, D. Cotutor, and M. V. Garc, “Diseño del Sistema de Evacuación de Humos en un Edificio Histórico Empleando Métodos de Simulación de Movimiento del Humo Mediante Software CFD,” 2017.
- [18] “Qué es la Prospectiva y el Análisis Prospectivo: cómo anticipar el futuro – LISA Institute.” <https://www.lisainstitute.com/blogs/blog/prospectiva-y-analisis-prospectivo> (accessed Mar. 02, 2021).
- [19] “Descubre las cinco herramientas y tecnologías contra los incendios forestales - La Tercera.” <https://www.latercera.com/noticia/descubre-las-cinco-herramientas-y-tecnologias-contra-los-incendios-forestales/> (accessed Feb. 14, 2021).
- [20] “Call for Code 2019 Global Winner: Prometeo protects firefighter health with IoT and AI.” <https://developer.ibm.com/callforcode/blogs/call-for-code-2019-finalist-prometeo/> (accessed Mar. 02, 2021).
- [21] “Esta es la máscara que podría ayudar a los bomberos a salvar muchas vidas en los incendios | CNN.” <https://cnnespanol.cnn.com/2017/03/29/esta-mascara-podria-salvar-muchas-vidas-en-los-incendios/> (accessed Feb. 14, 2021).
- [22] “OSA | Imaging live humans through smoke and flames using far-infrared digital holography.” <https://www.osapublishing.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-21-5-5379&id=249517> (accessed Feb. 14, 2021).
- [23] “8 cosas que deberías saber sobre los beacons - Accent Systems.” <https://accent-systems.com/es/blog/8-cosas-que-deberias-saber-sobre-los-beacons/?v=04c19fa1e772> (accessed Feb. 14, 2021).
- [24] “An overview of Bluetooth Beacons - Part 1 - Novel Bits.” <https://www.novelbits.io/overview-bluetooth-beacons-part-1/> (accessed Feb. 14, 2021).
- [25] Guillermo Orsi, “Beneficios de la Modelización y Simulación de Procesos,” Rosario, Santa Fe, Argentina, 2011. Accessed: Feb. 18, 2021. [Online]. Available: http://consultoralogistica.net/fs_files/user_img/Publicaciones/Publicacion - Beneficios de la modelizacion y simulacion de procesos.pdf.
- [26] “¿Qué es un gemelo digital y para qué sirve? | BBVA.” <https://www.bbva.com/es/que-es-un-gemelo-digital-y-para-que-sirve/> (accessed Mar. 03, 2021).
- [27] D. R. L. Back G.G.III Sheffey J.L. (Hughes Associates Inc), Williams F.W. (Navy Technology Center for Safety and Survivability) Satterefiels D.B. (NAVSEA) and D.-N. S. S. Command, “Lessons Learned form the CG-19 Weapons Effects Test on Mitigating the Effects of a Missile Induced Conflagration,” 2004. [Online]. Available: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA419996>.

ANEXO I: GRÁFICAS DE LOS INCENDIOS.

En este anexo se recogen todas las distintas gráficas obtenidas para las condiciones de compartimento abierto y compartimento cerrado de los distintos incendios simulados.

Gráficas del **incendio principal** abierto.

Gráficas de **temperaturas**:

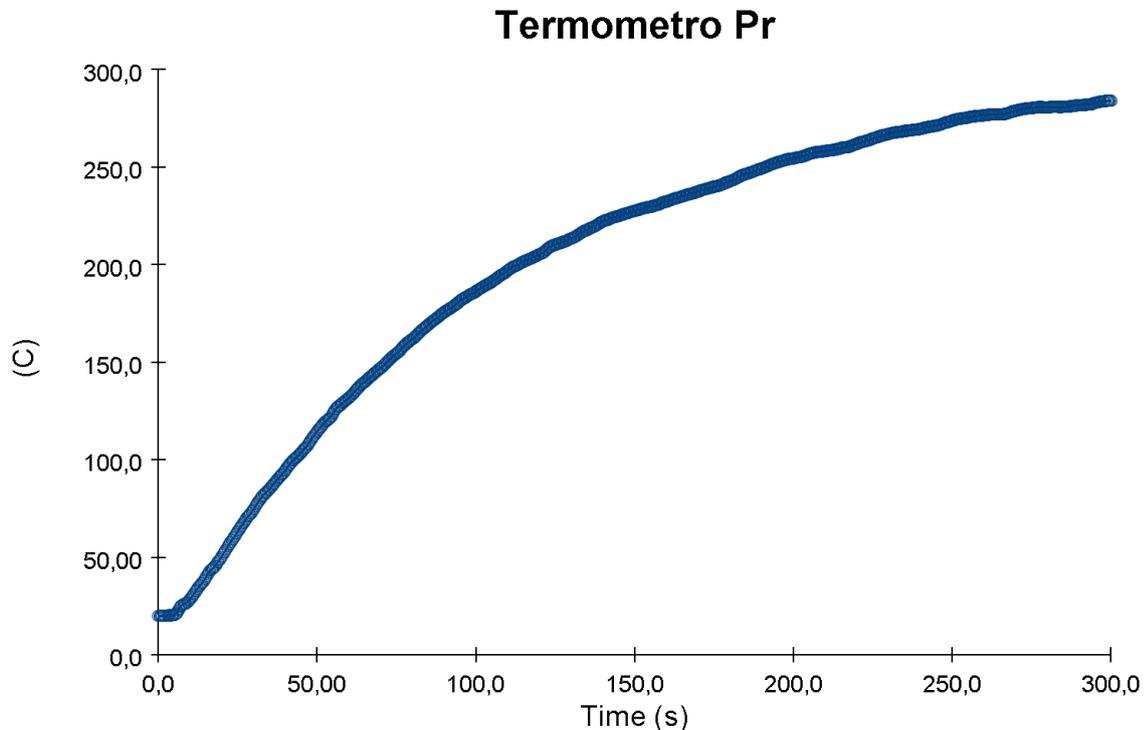


Ilustración AI-1. Termómetro principal. Incendio principal abierto.

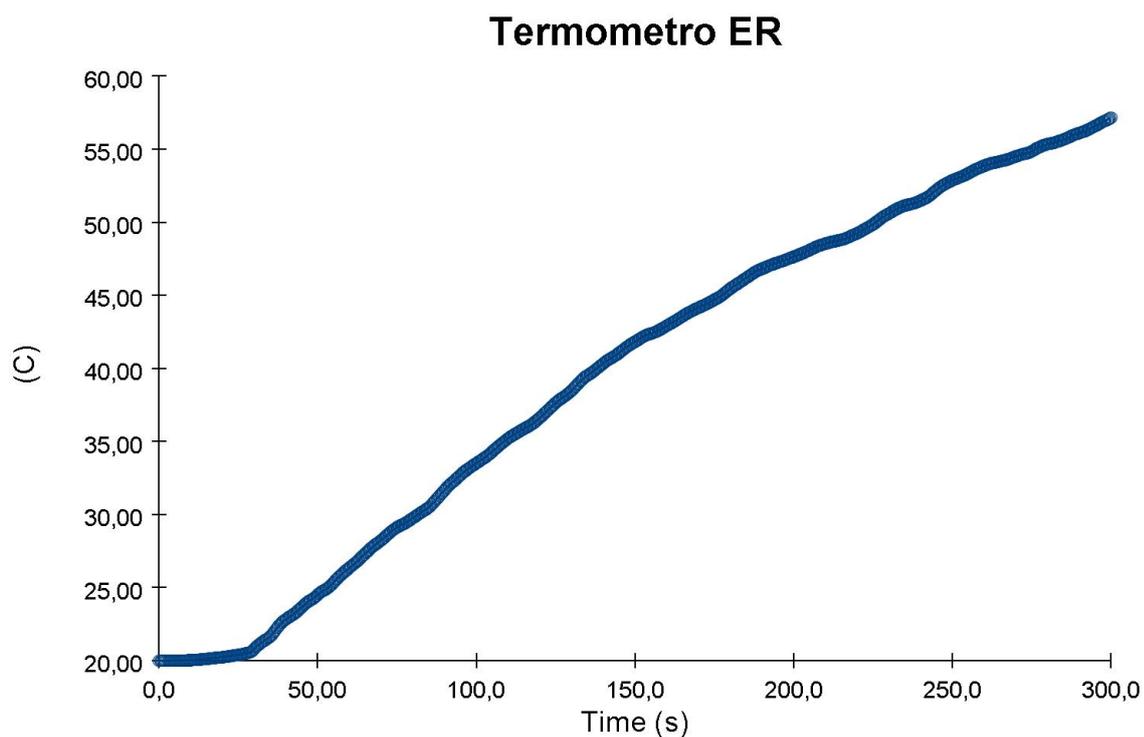


Ilustración AI-2. Termómetro de estribo. Incendio principal abierto.

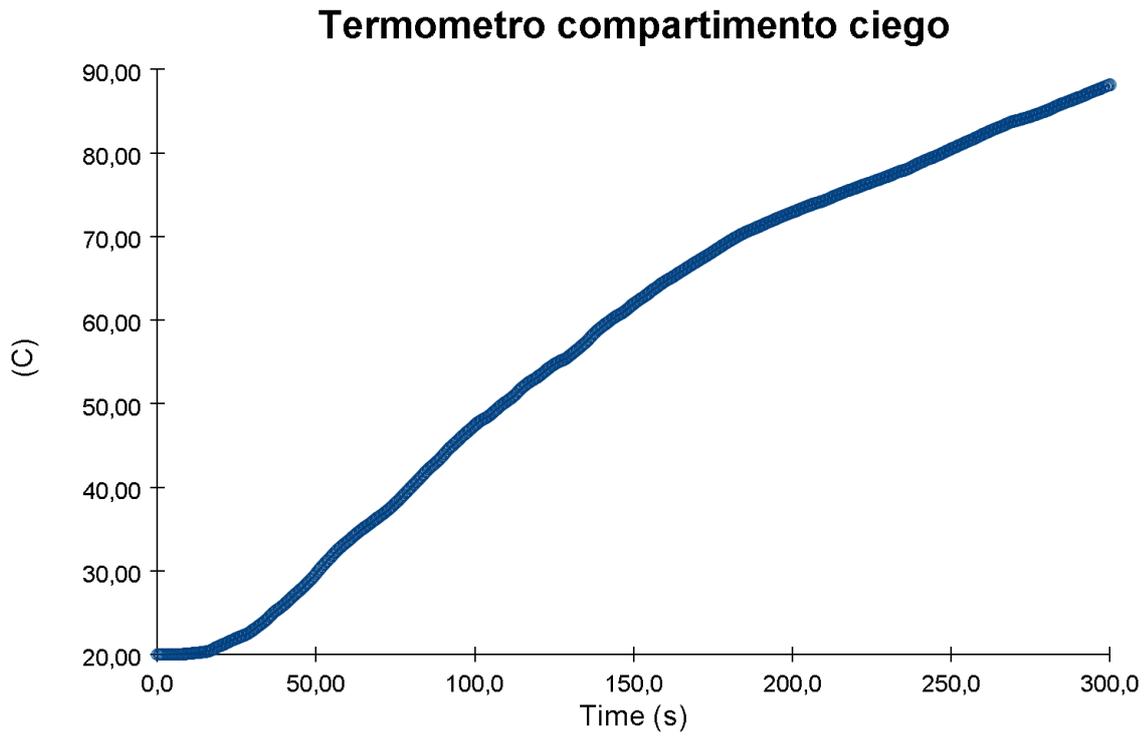


Ilustración AI -3. Termómetro del compartimento ciego. Incendio principal abierto.

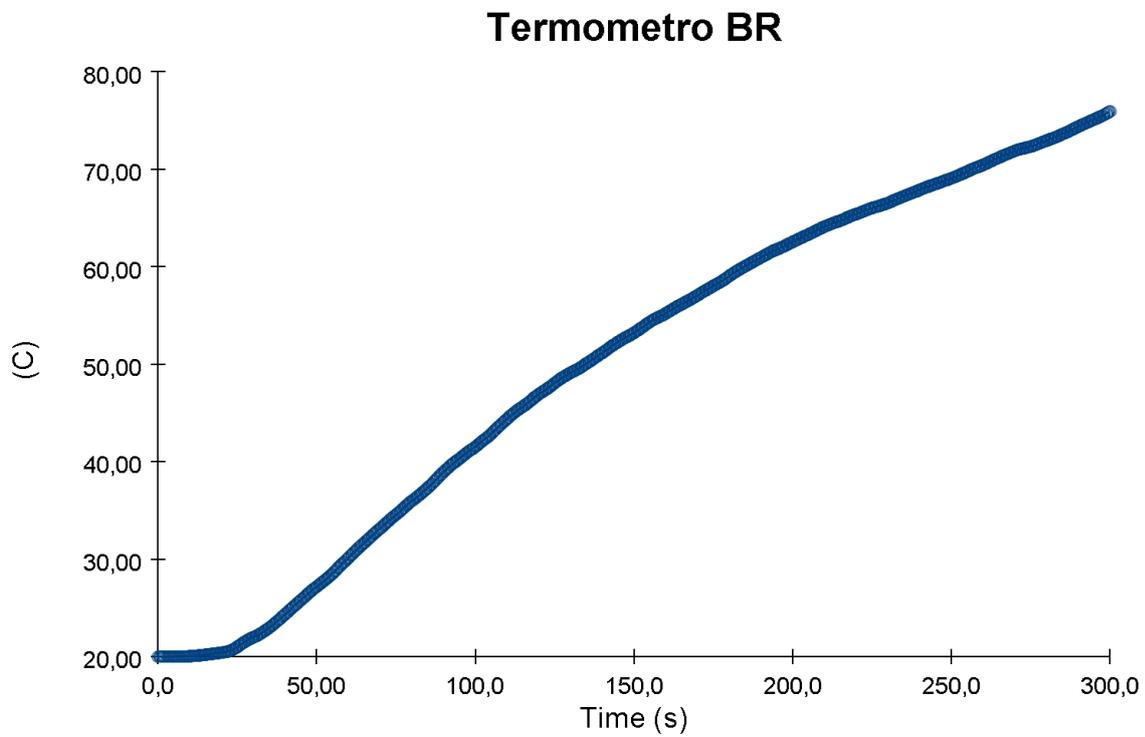


Ilustración AI -4. Termómetro de estribor. Incendio principal abierto.

Gráficas del **porcentaje de humo** por metro de compartimento.

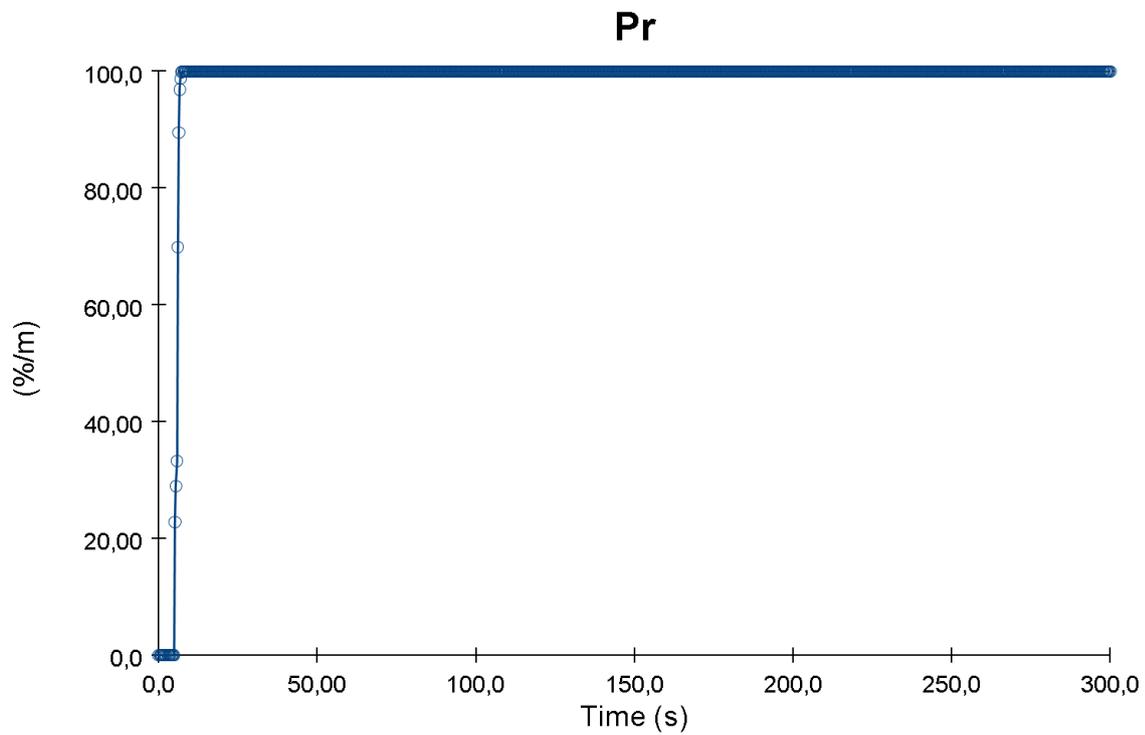


Ilustración AI -5. Cantidad de humo en el compartimento principal.

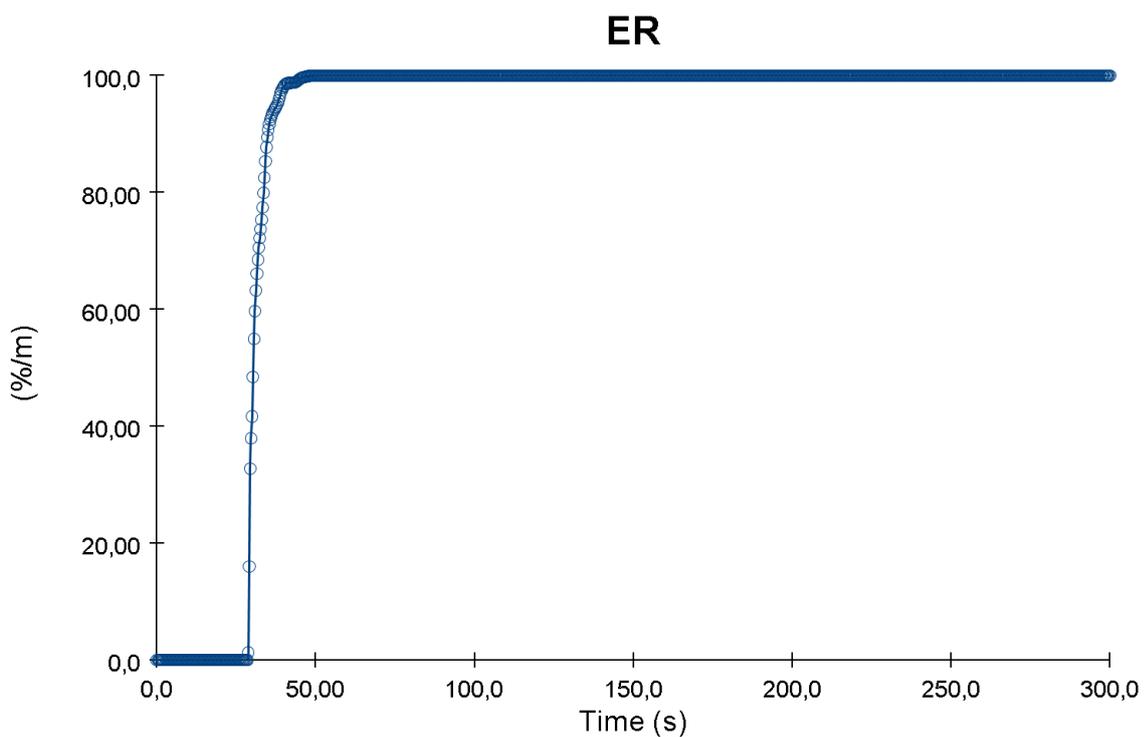


Ilustración AI -6. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.

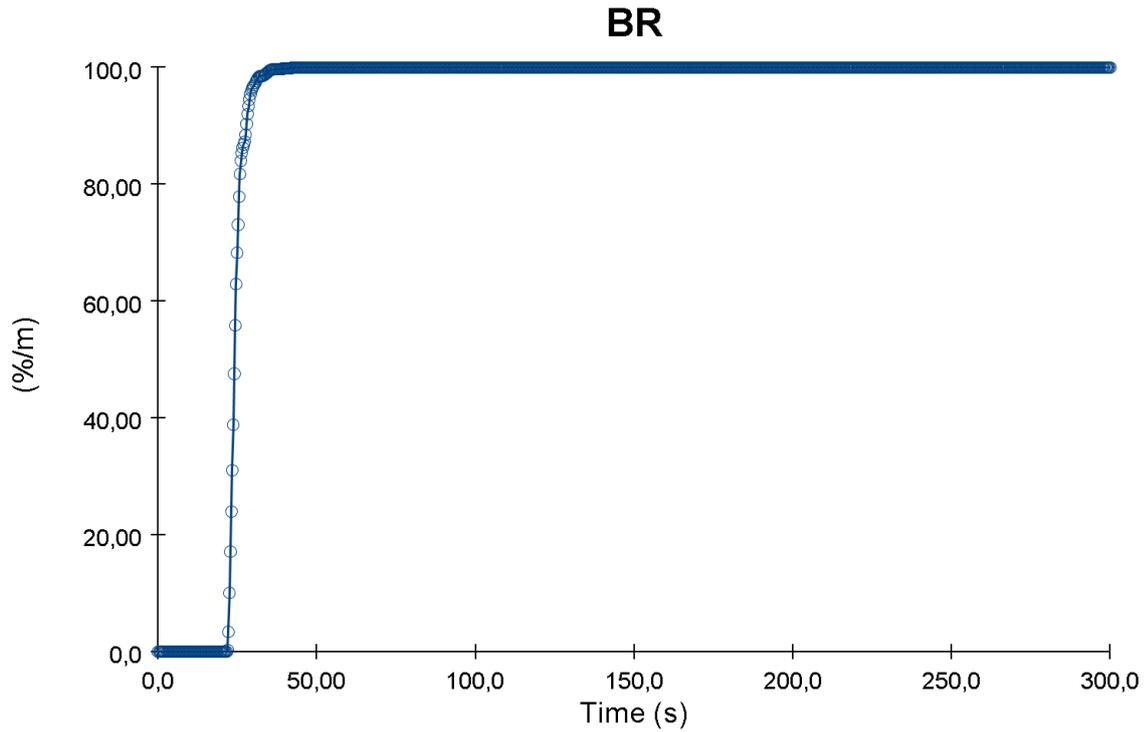


Ilustración AI -7. Cantidad de humo en el compartimento de babor.

Gráficas de la **visibilidad** del compartimento.

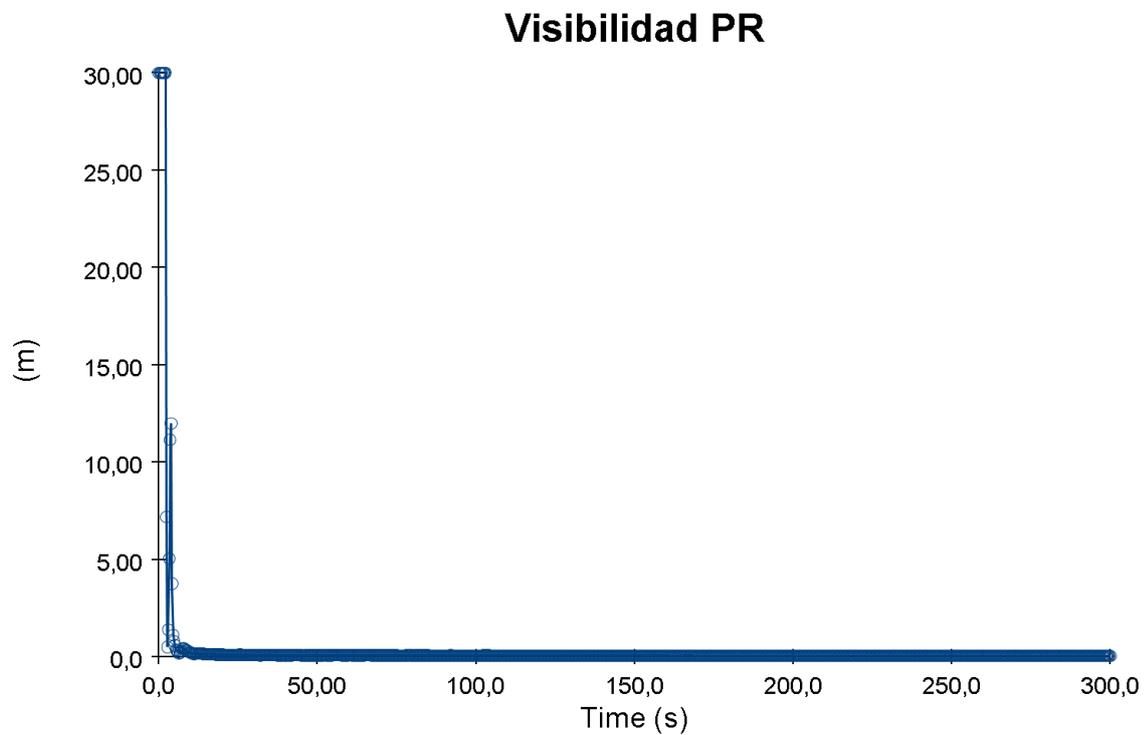


Ilustración AI -8. Reducción de visibilidad en el compartimento principal.

Visibilidad ER

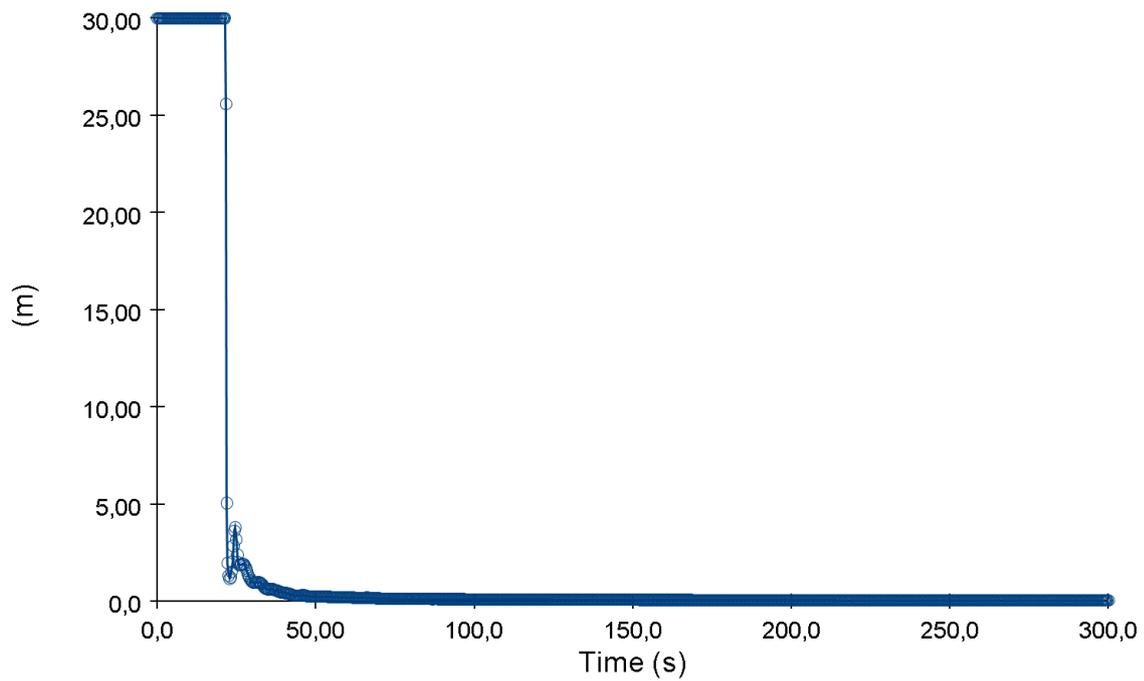


Ilustración AI -9. Reducción de visibilidad en el compartimento de estribor.

Visibilidad BR

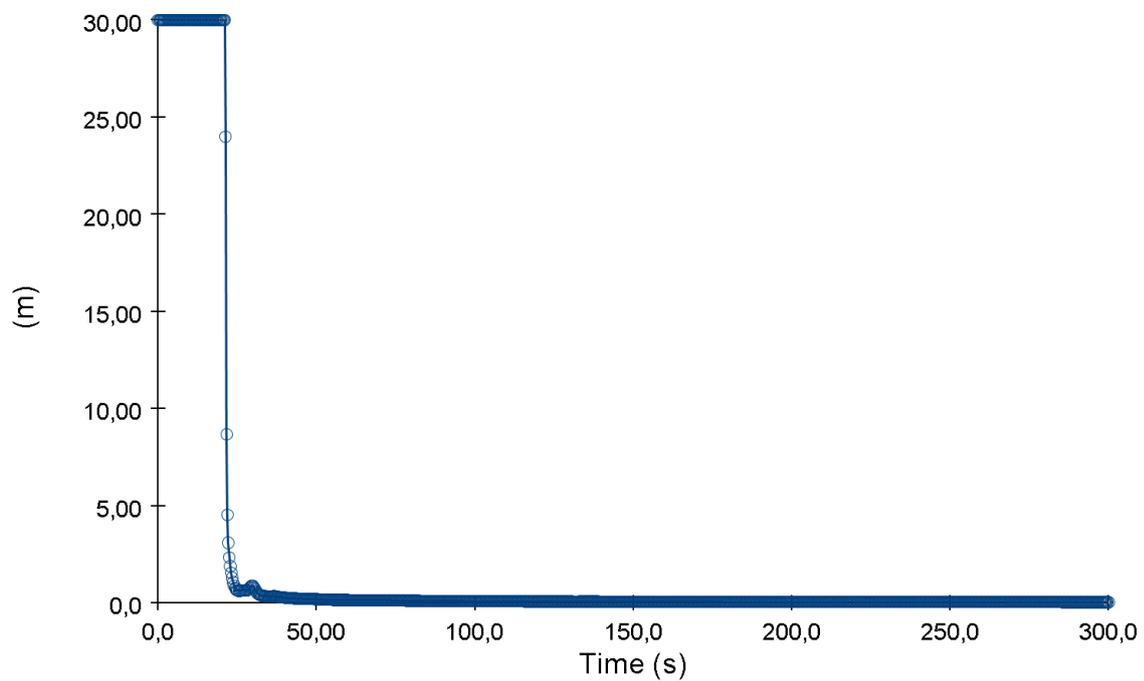


Ilustración AI -10. Reducción de visibilidad en el compartimento de babor.

Gráficas del incendio del **compartimento principal** cerrado.

Gráficas de **temperaturas**.

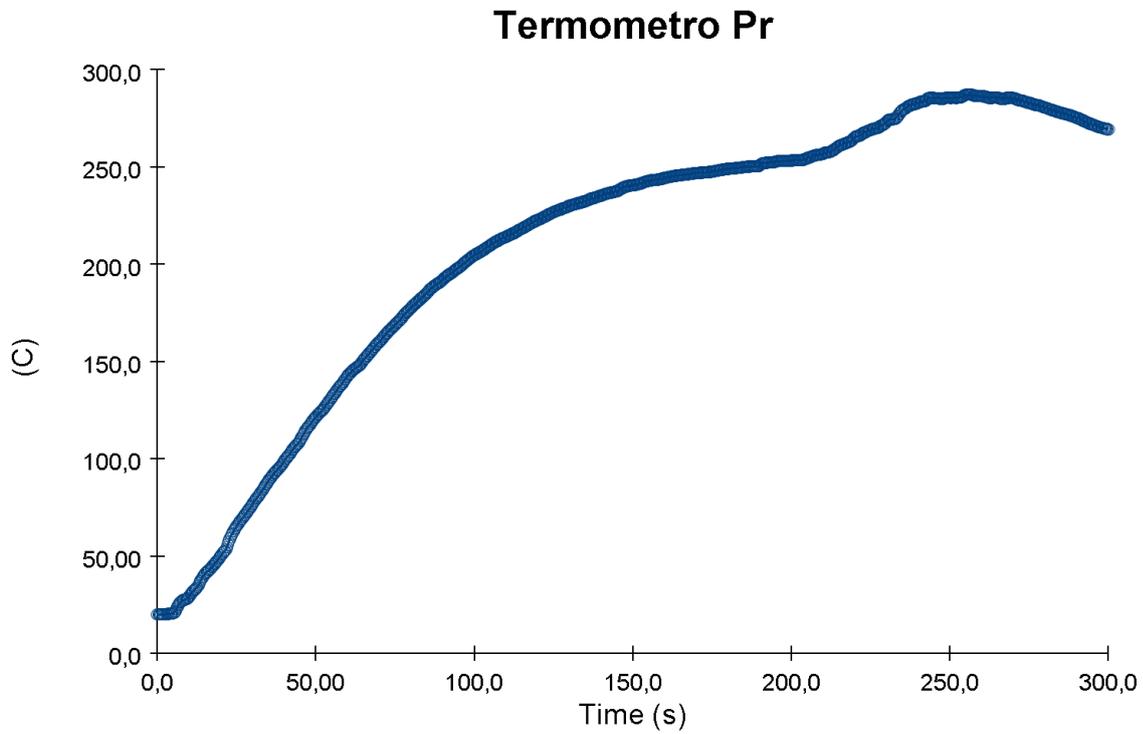


Ilustración AI -11. Termómetro principal. Incendio principal cerrado.

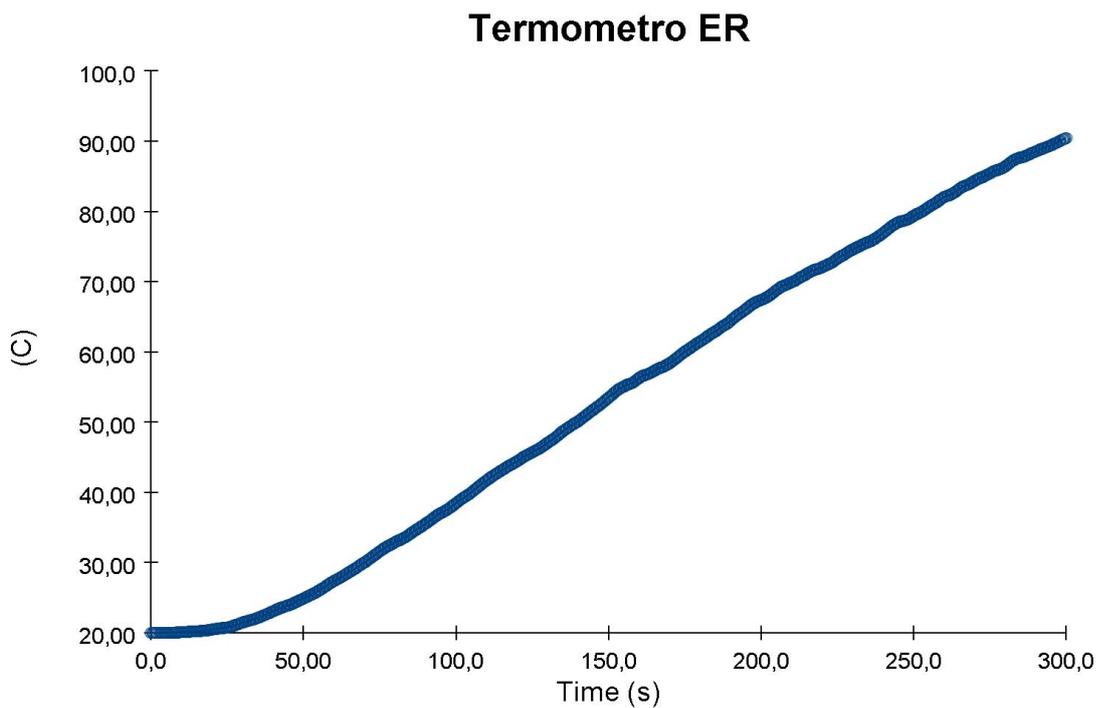


Ilustración AI -12. Termómetro de estribor. Incendio principal cerrado

Termómetro compartimento ciego

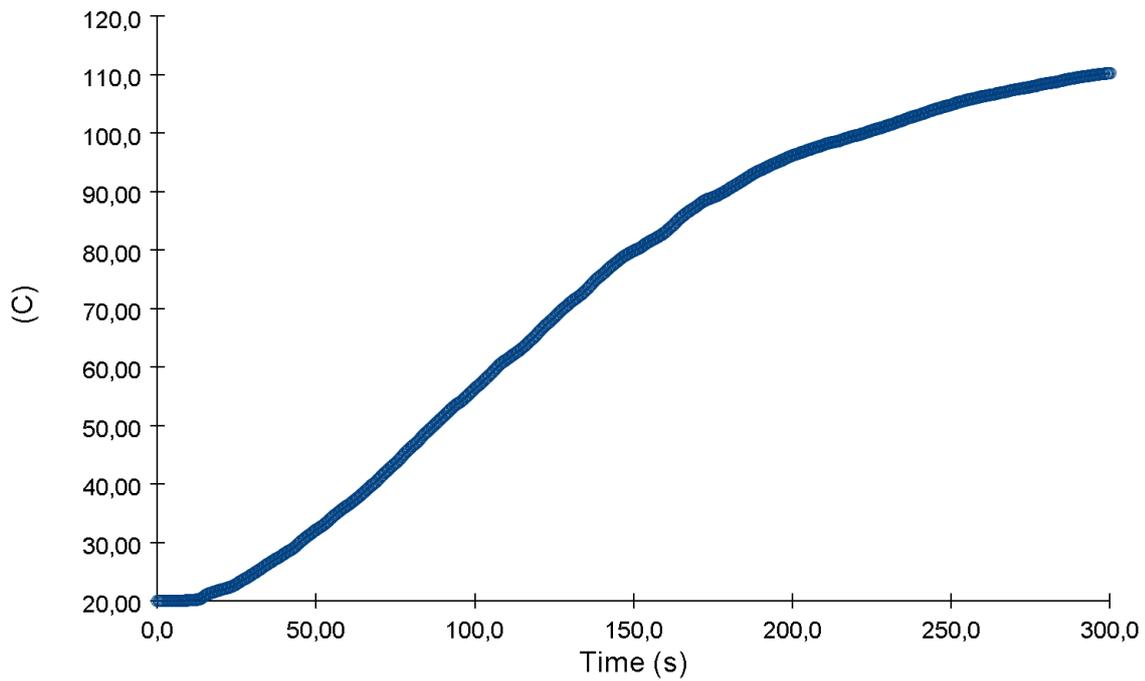


Ilustración AI -13. Termómetro del compartimento ciego. Incendio principal cerrado

Termómetro BR

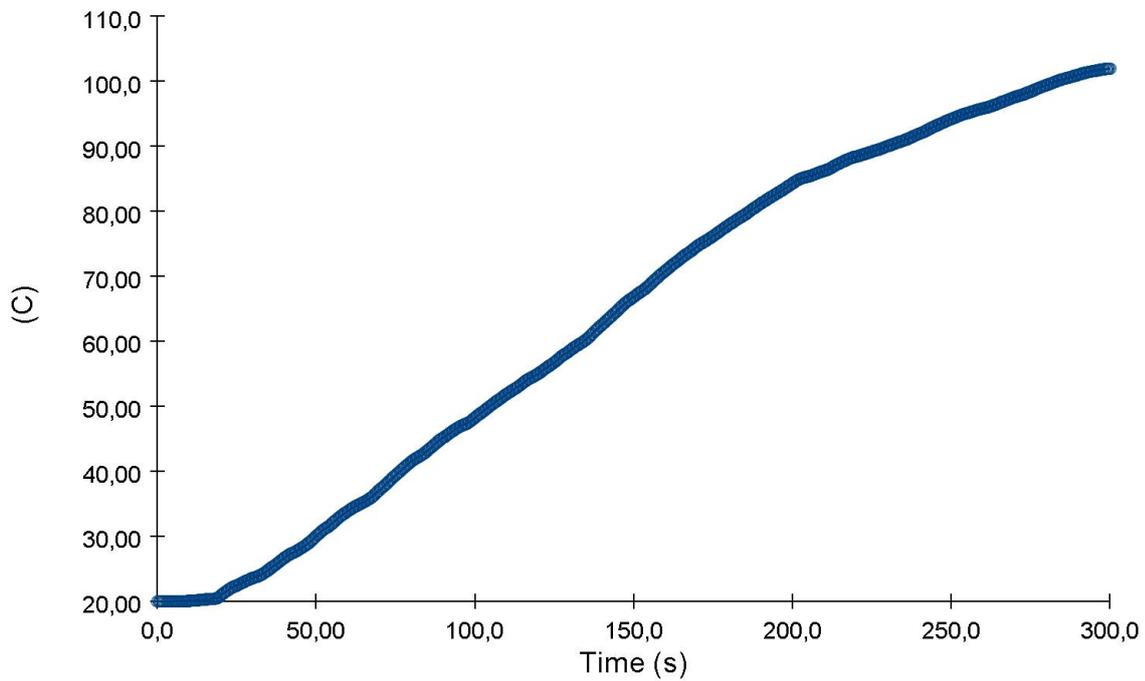


Ilustración AI -14. Termómetro de babor. Incendio principal cerrado

Gráficas del **porcentaje de humo** por metro de compartimento.

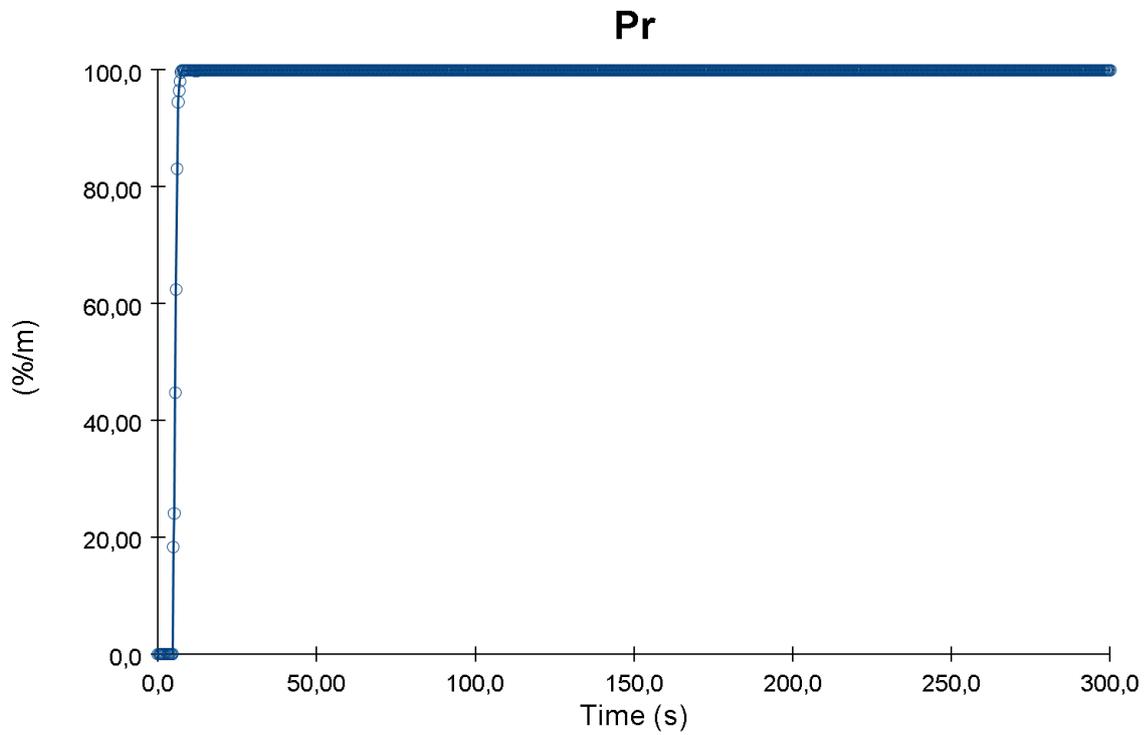


Ilustración AI -15.Cantidad de humo en el compartimento principal.

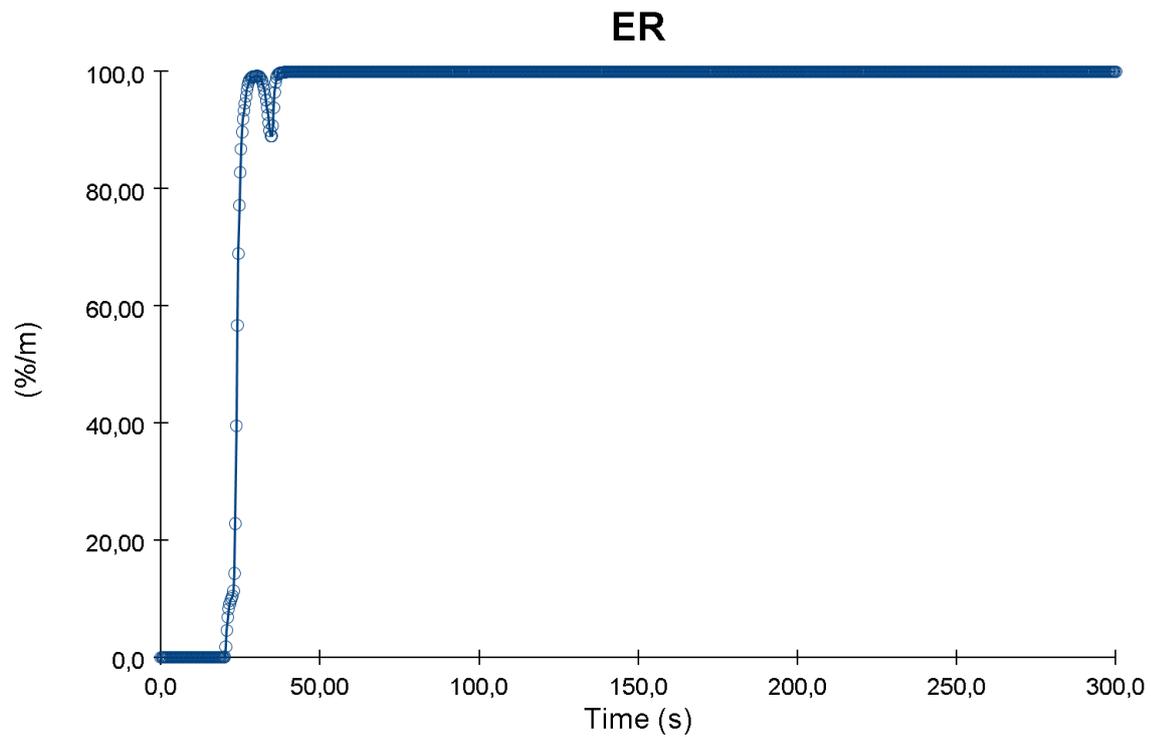


Ilustración AI -16.Cantidad de humo en el compartimento de estribor.

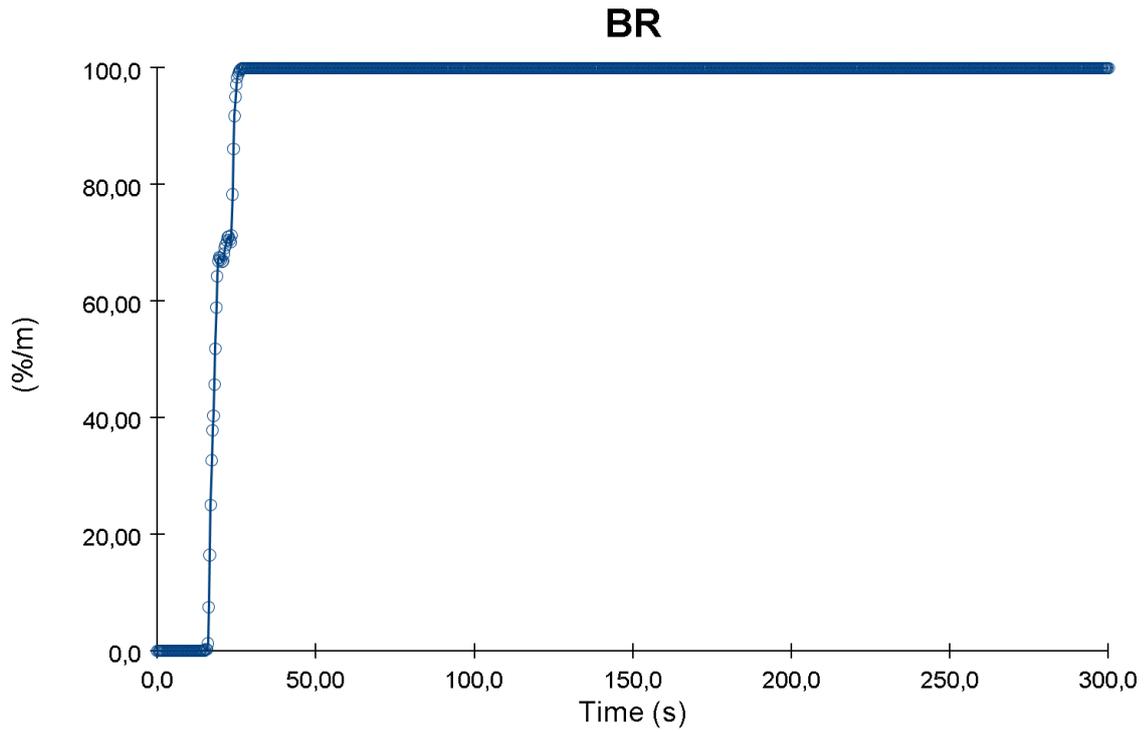


Ilustración AI -17. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.

Gráficas de **visibilidad**.

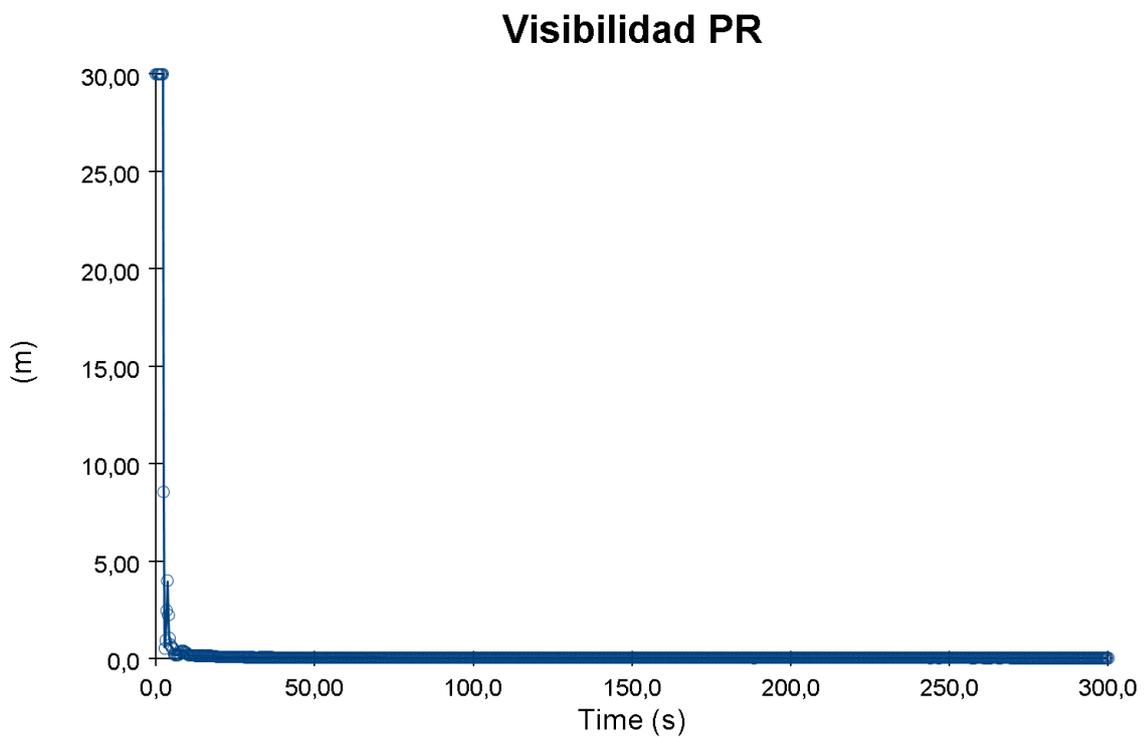


Ilustración AI -18. Reducción de visibilidad en el compartimento principal.

Visibilidad ER

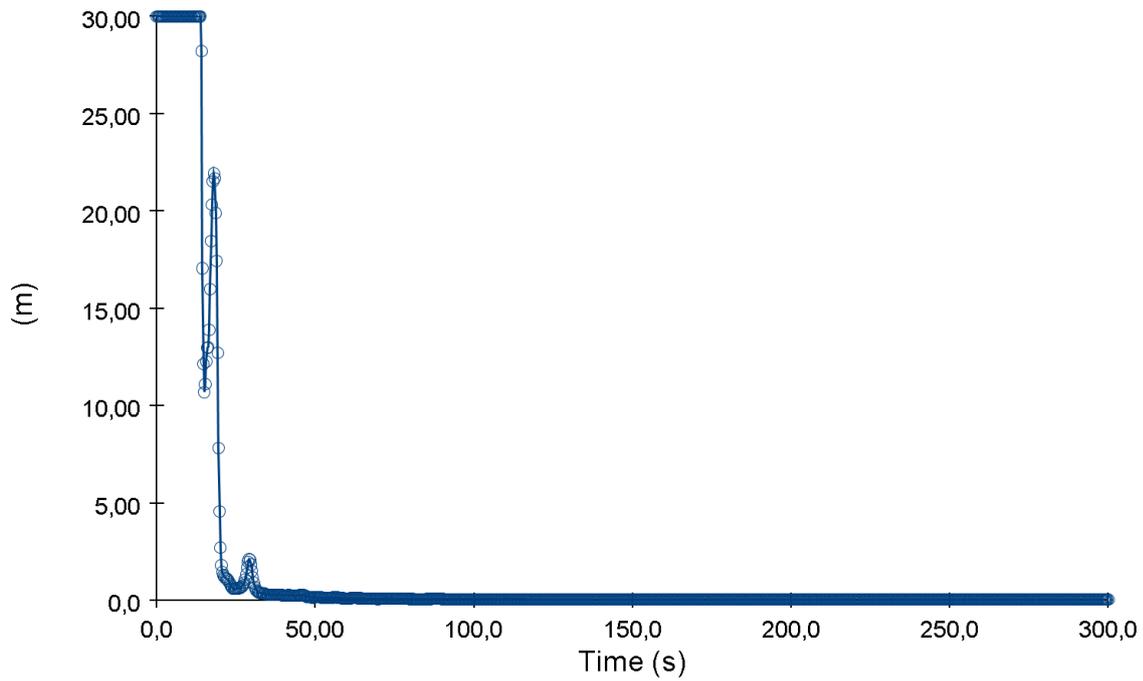


Ilustración AI -19. Reducción de visibilidad en el compartimento de estribor.

Visibilidad BR

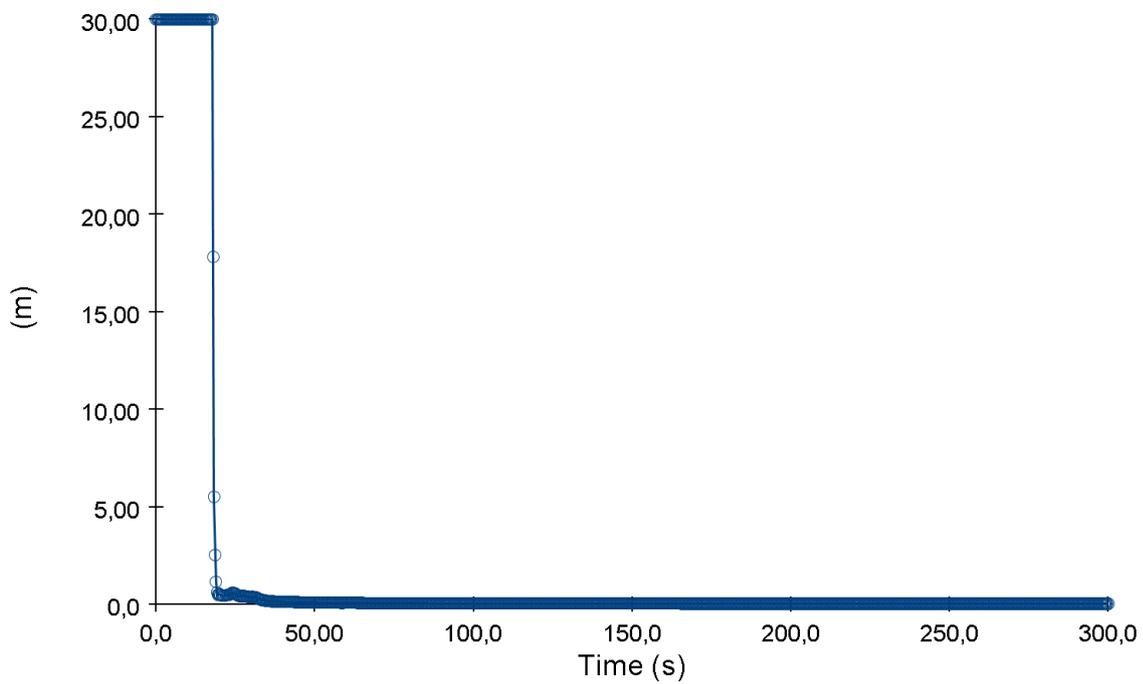


Ilustración AI -20. Reducción de visibilidad en el compartimento de babor.

Gráficas del incendio del **compartimento de estribor** abierto.

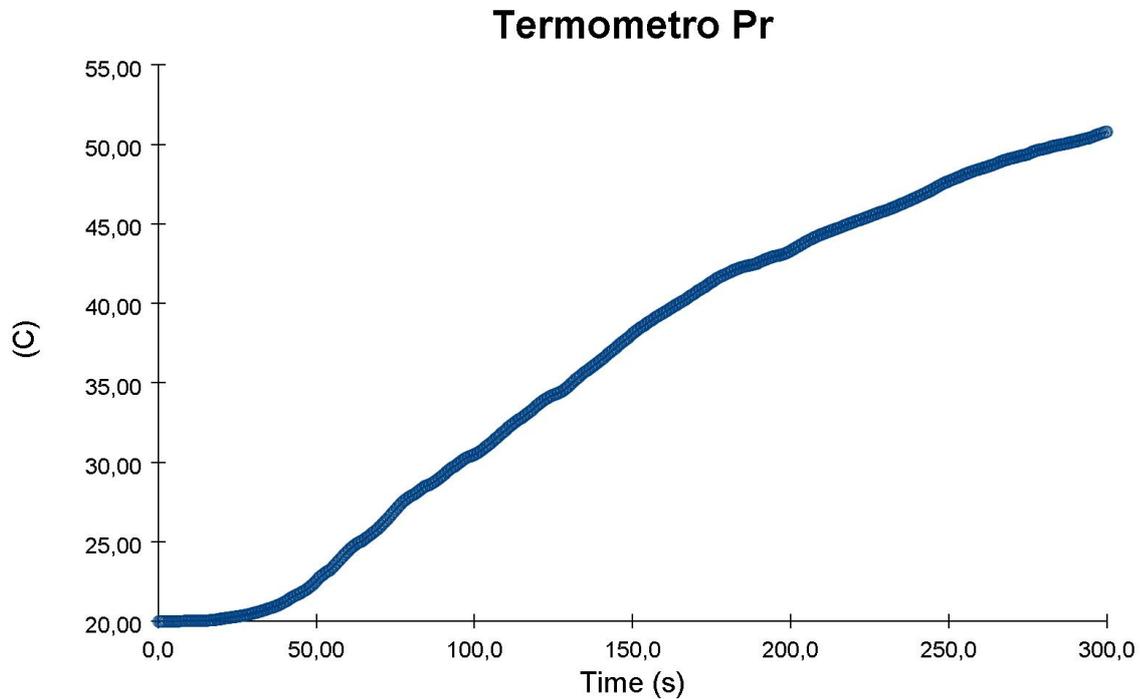


Ilustración AI -21. Termómetro principal. Incendio de estribor abierto.

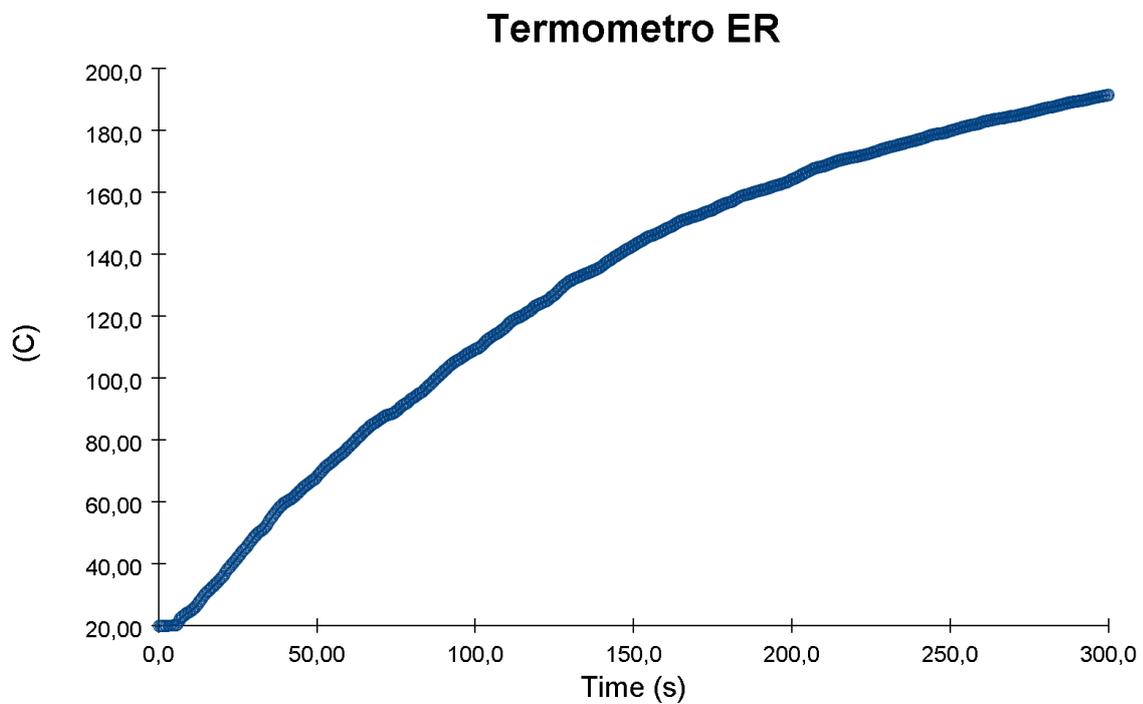


Ilustración AI -22. Termómetro de estribor. Incendio de estribor abierto.

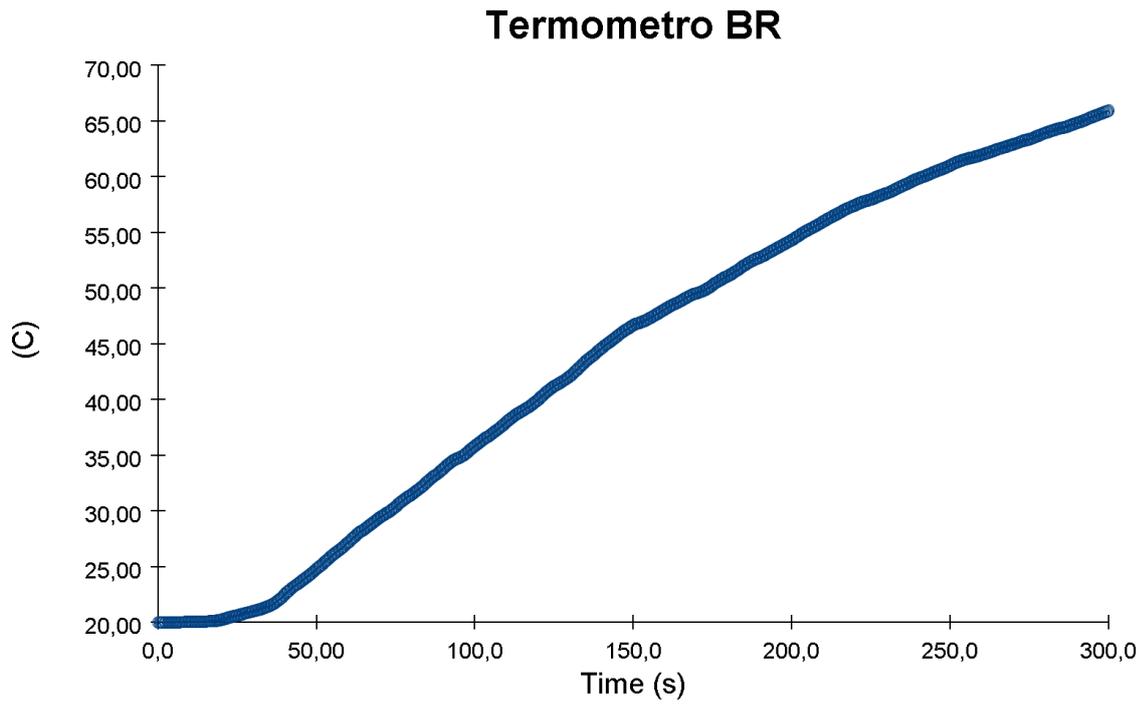


Ilustración AI -23. Termómetro de babor. Incendio de estribor abierto.

Gráficas porcentaje de humo por metro.

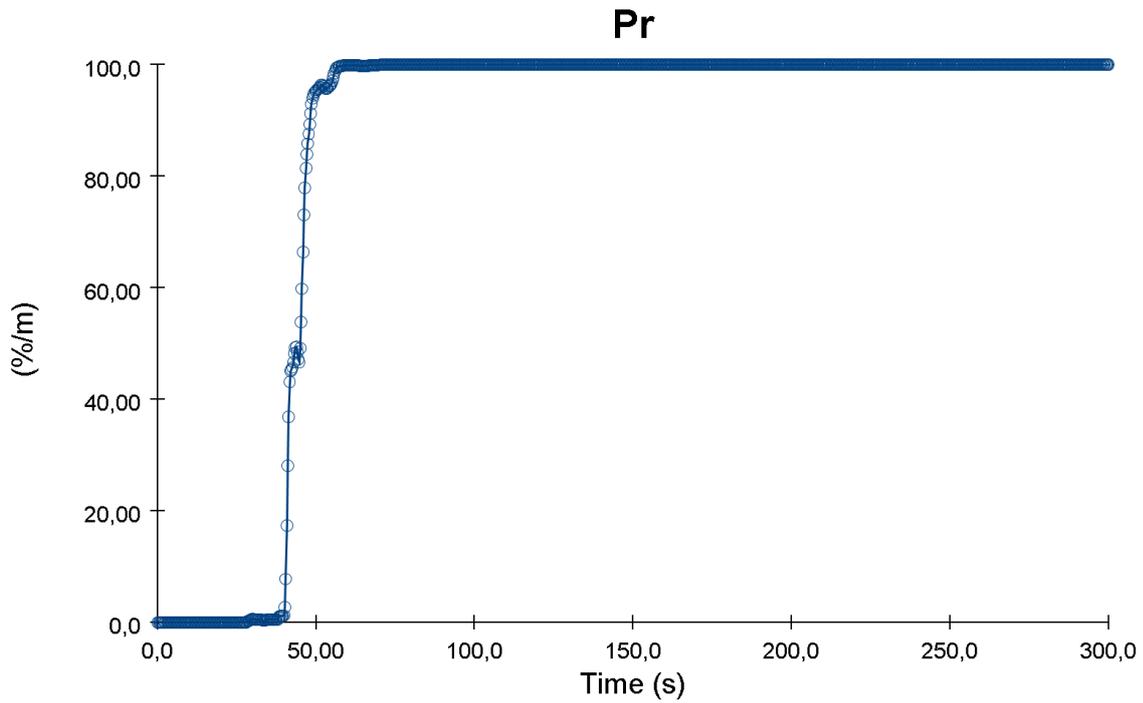


Ilustración AI -24. Cantidad de humo en el compartimento principal.

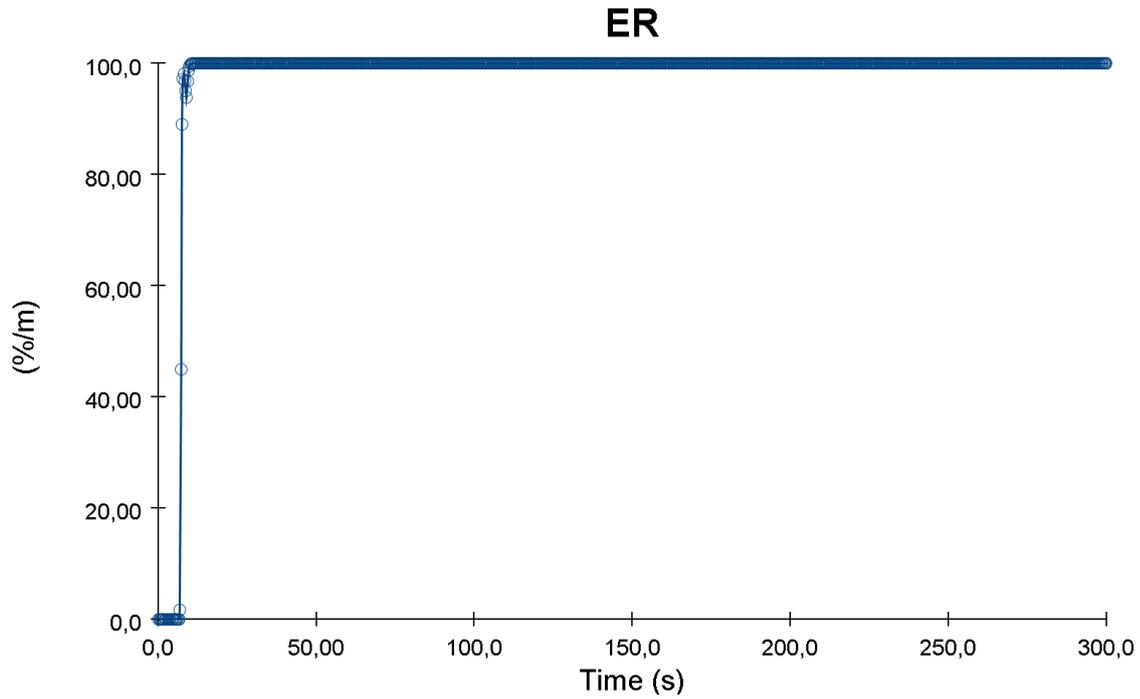


Ilustración AI -25. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.

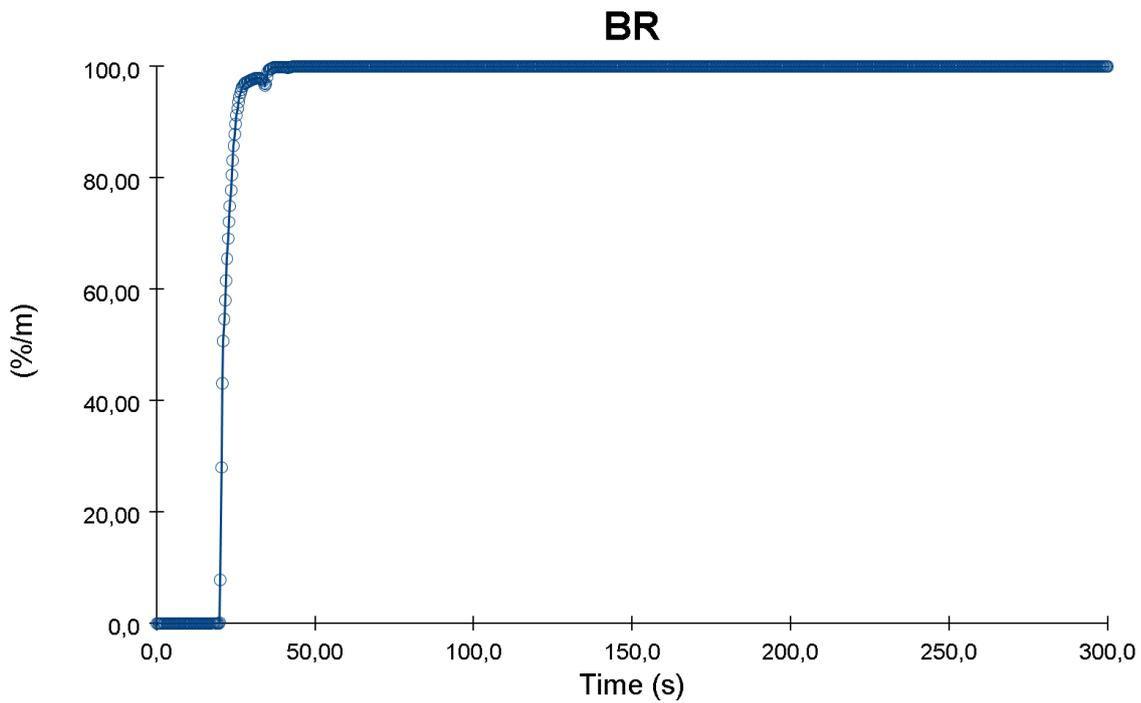


Ilustración AI -26. Cantidad de humo en el compartimento de babor.

Gráficas del incendio de **estribor** cerrado.

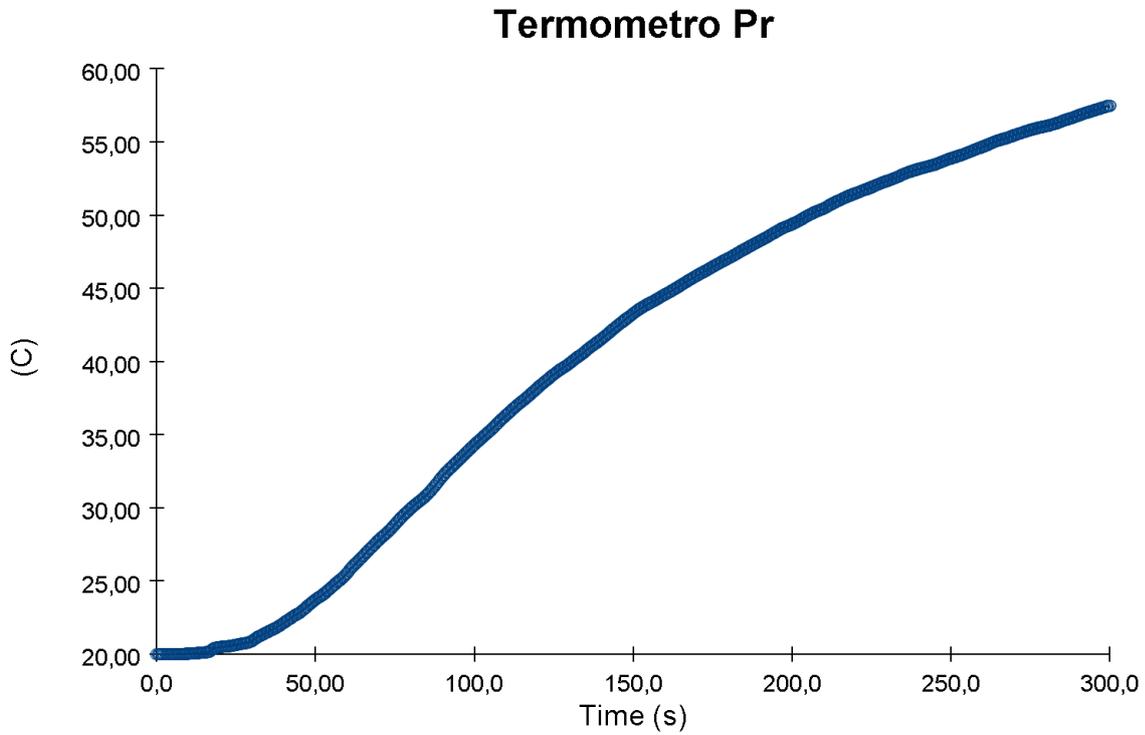


Ilustración AI -27. Termómetro principal. Incendio de estribor cerrado.

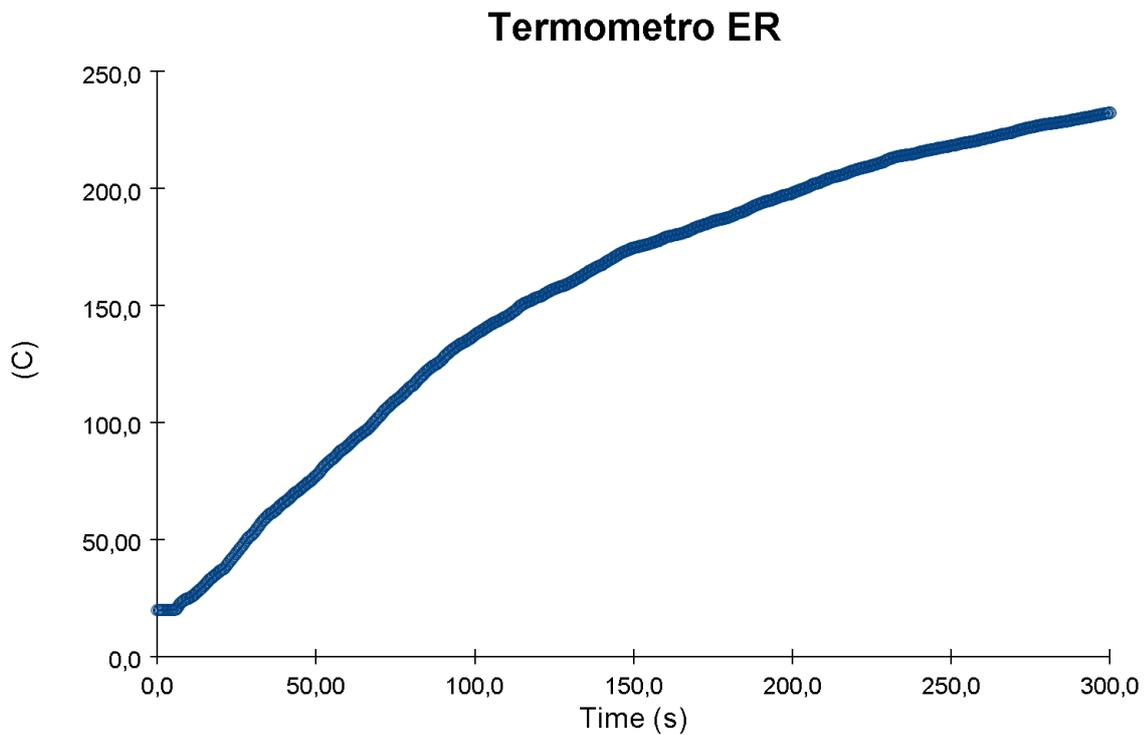


Ilustración AI -28. Termómetro de estribor. Incendio de estribor cerrado.

Termometro compartimento ciego

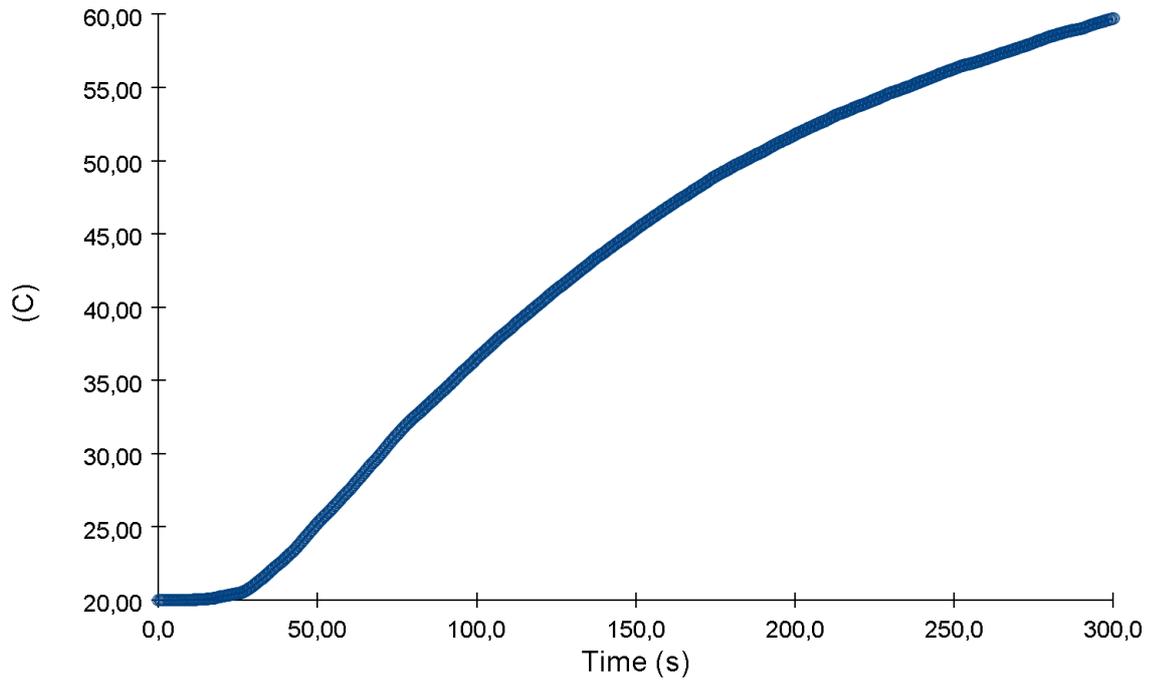


Ilustración AI -29. Termómetro del compartimento ciego. Incendio de estribor cerrado.

Termometro BR

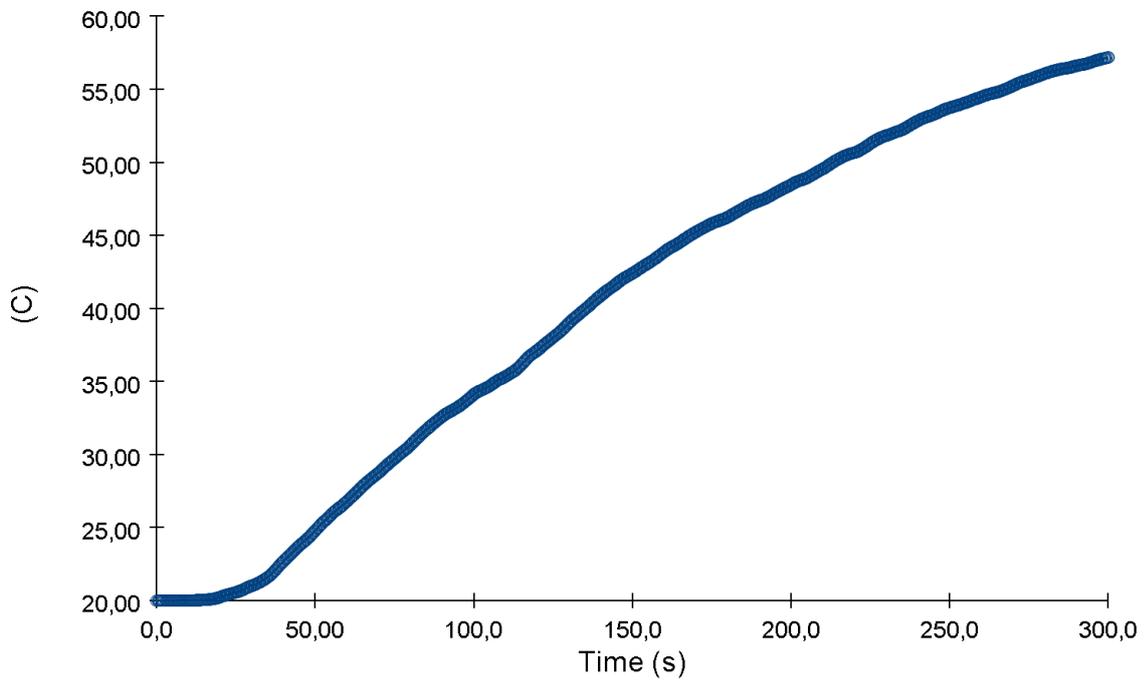


Ilustración AI -30. Termómetro de babor. Incendio de estribor cerrado.

Gráficas del **porcentaje de humo** por metro de compartimento.

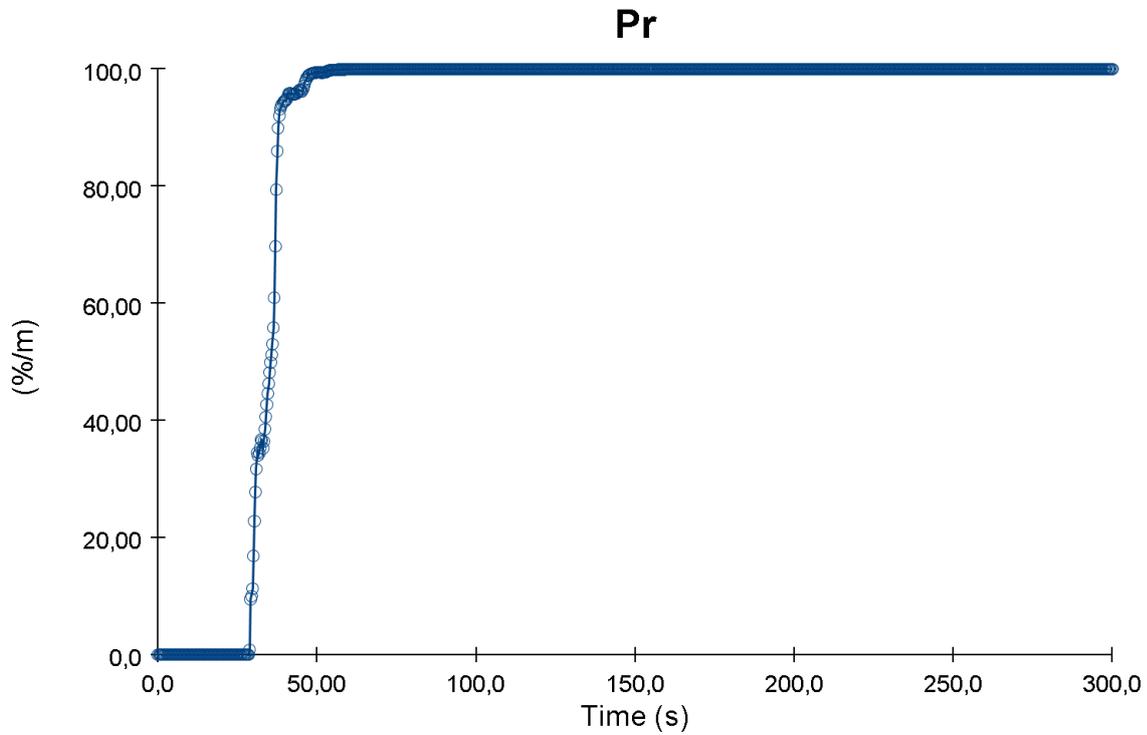


Ilustración AI -31. Cantidad de humo en el compartimento principal.

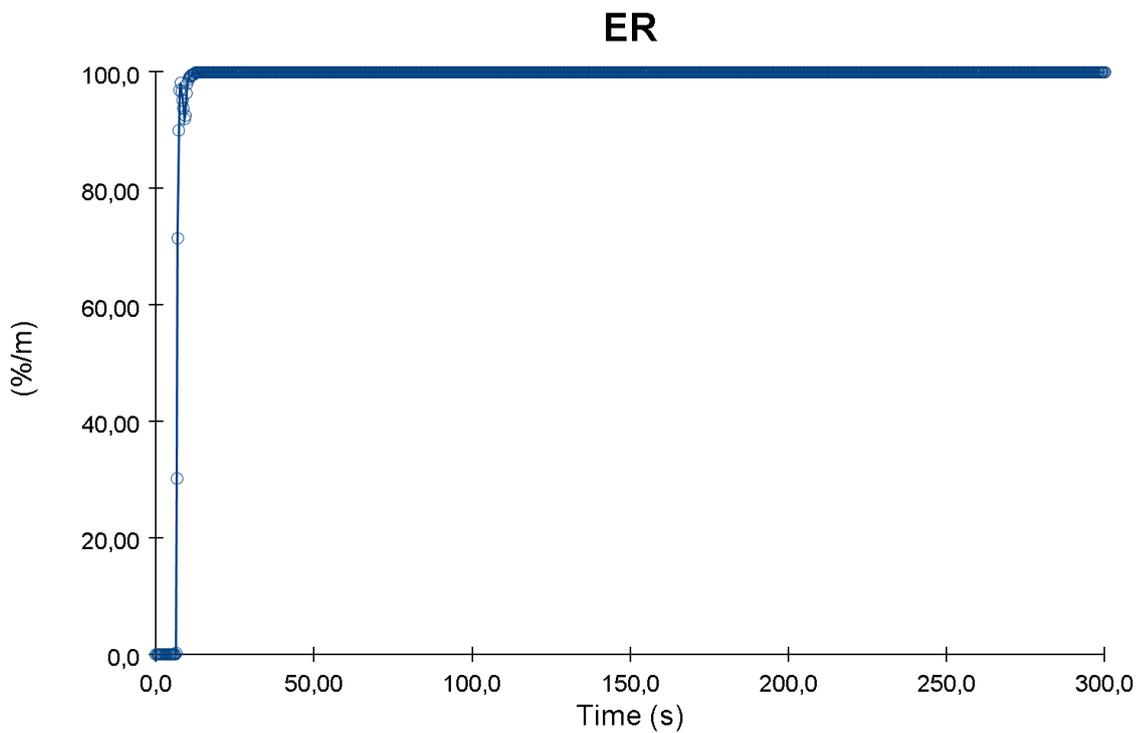


Ilustración AI -32. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.

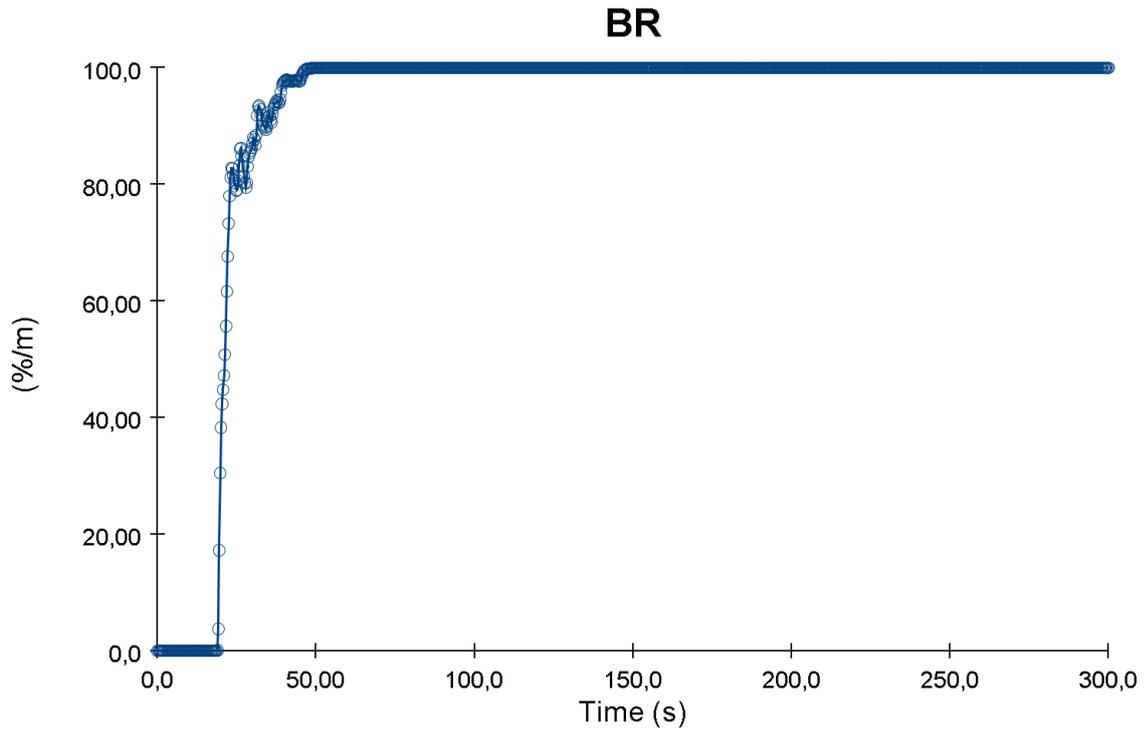


Ilustración AI -33. Cantidad de humo en el compartimento de babor.

Gráficas de la **visibilidad** del compartimento.

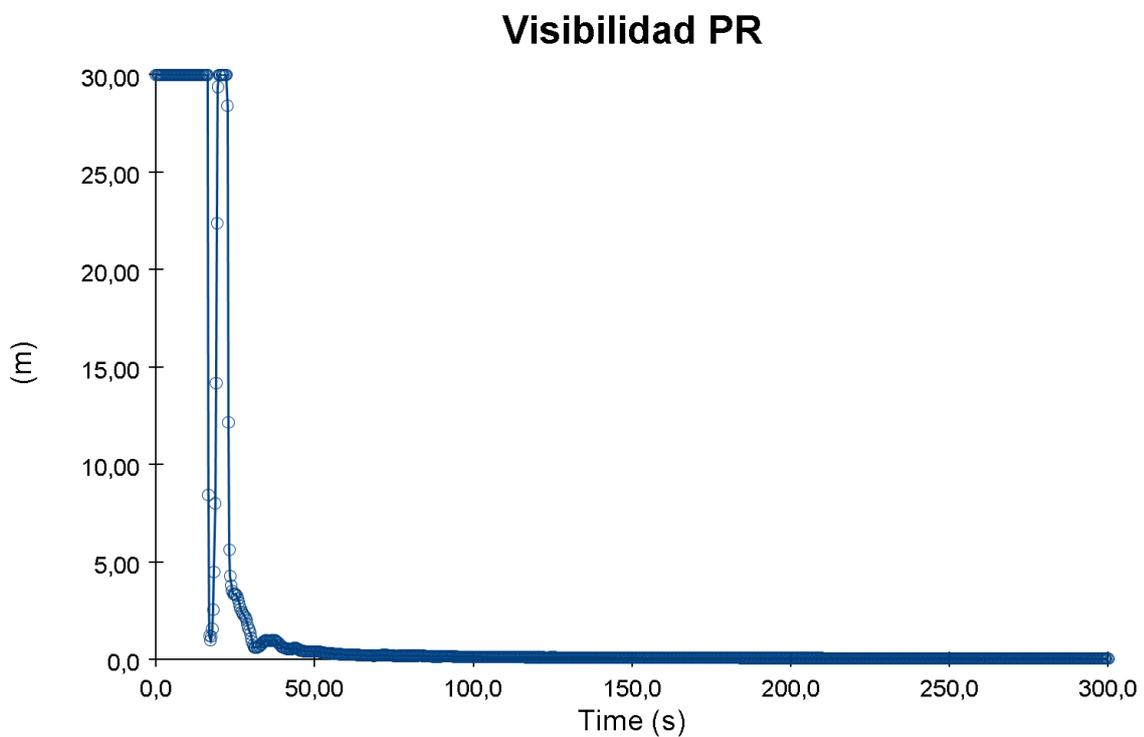


Ilustración AI -34. Reducción de visibilidad en el compartimento principal.

Visibilidad ER

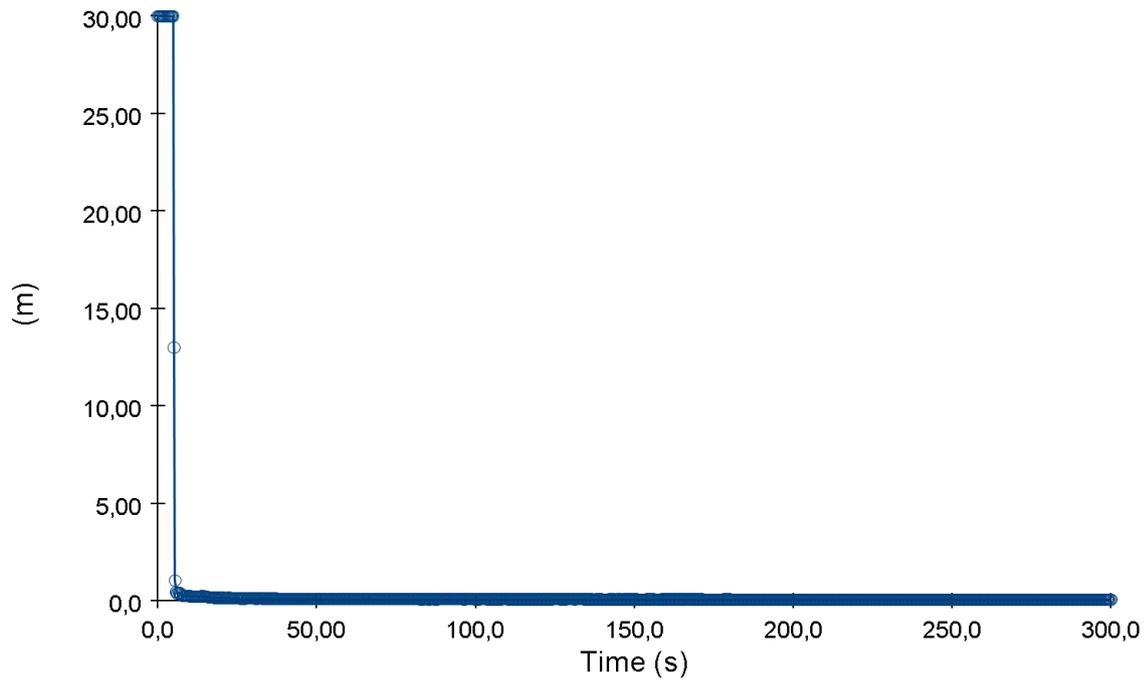


Ilustración AI -35. Reducción de visibilidad en el compartimento de estribor.

Visibilidad BR

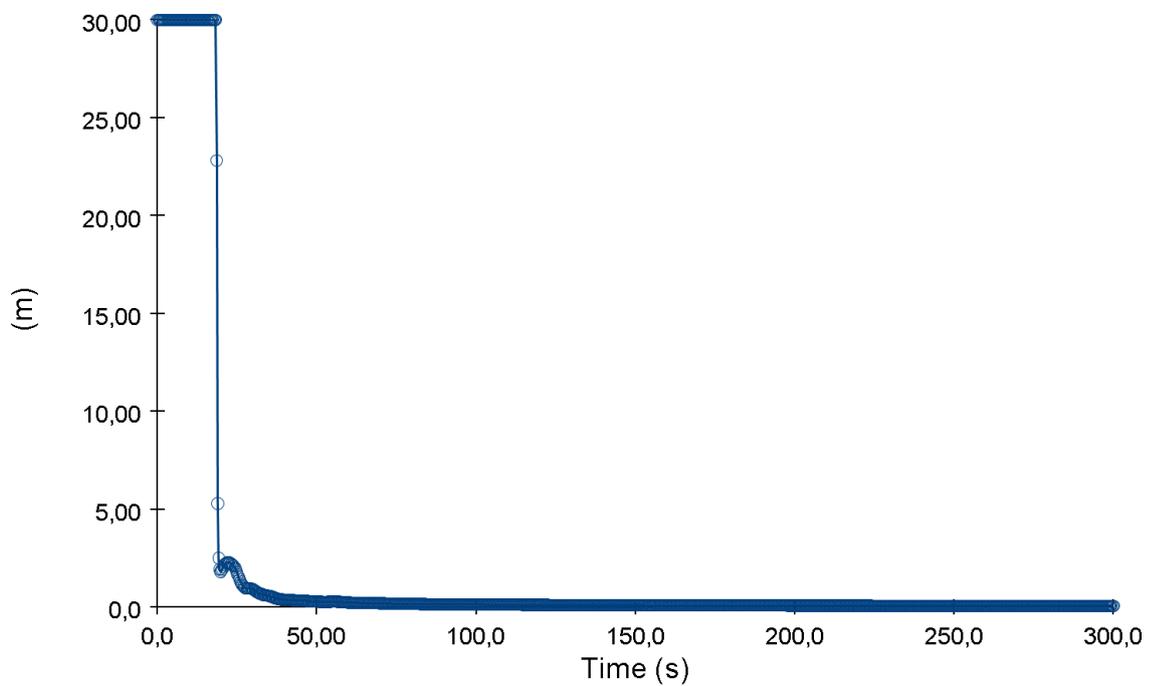


Ilustración AI -36. Reducción de visibilidad en el compartimento de babor.

Gráficas del incendio de **babor** abierto.

Gráficas de **temperatura**.

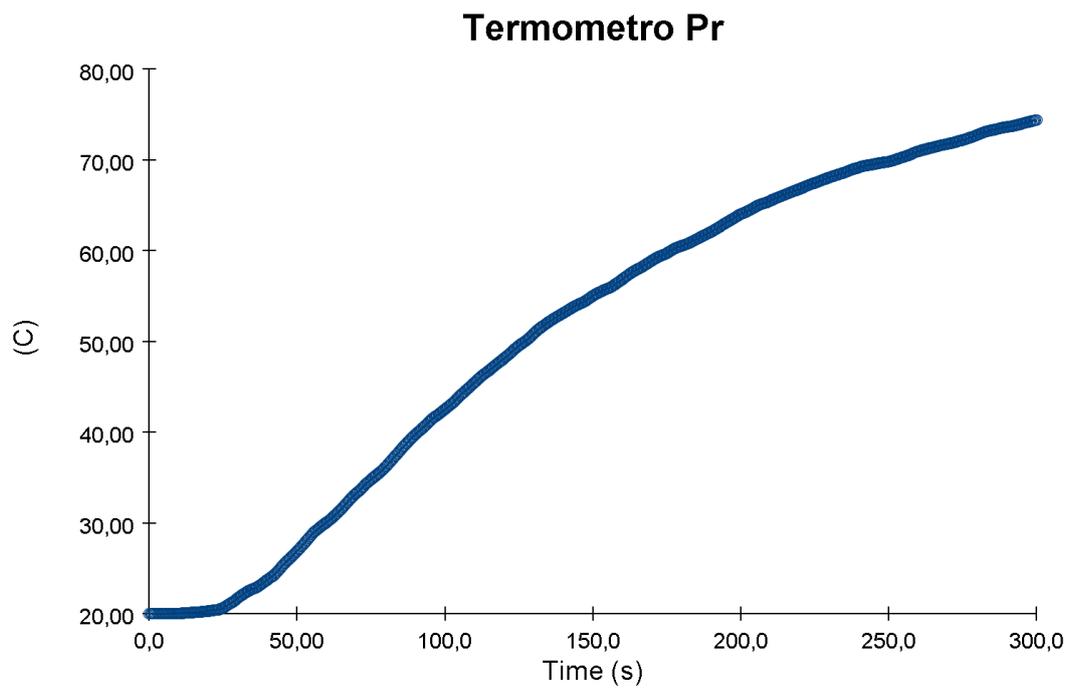


Ilustración AI -37. Termómetro principal. Incendio de babor abierto.

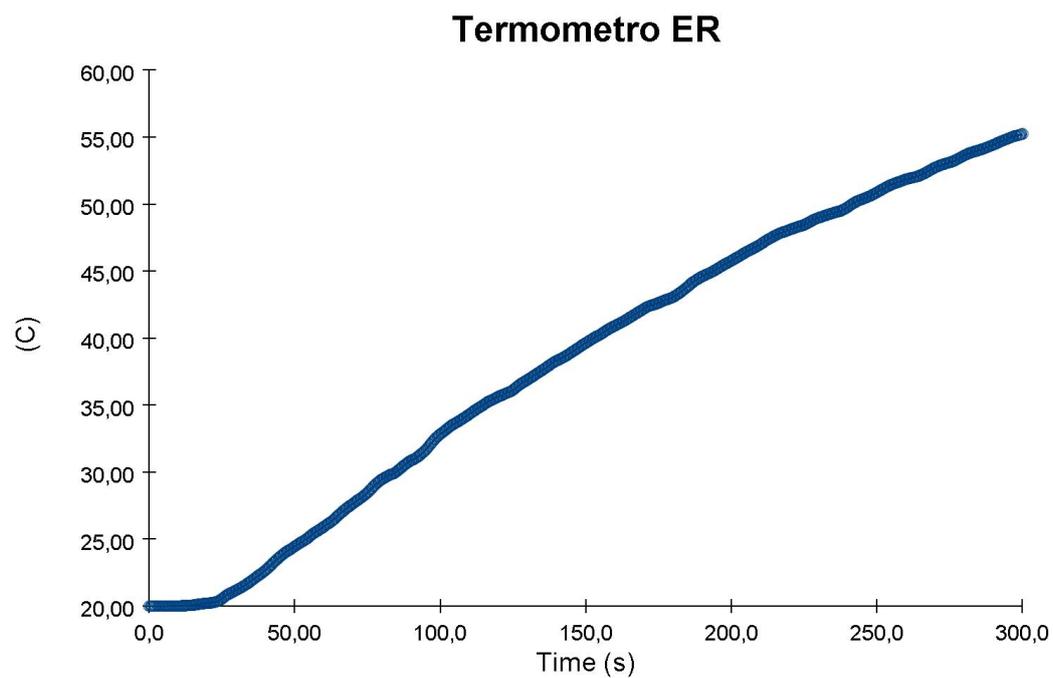


Ilustración AI -38. Termómetro de estribor. Incendio de babor abierto.

Termometro compartimento ciego

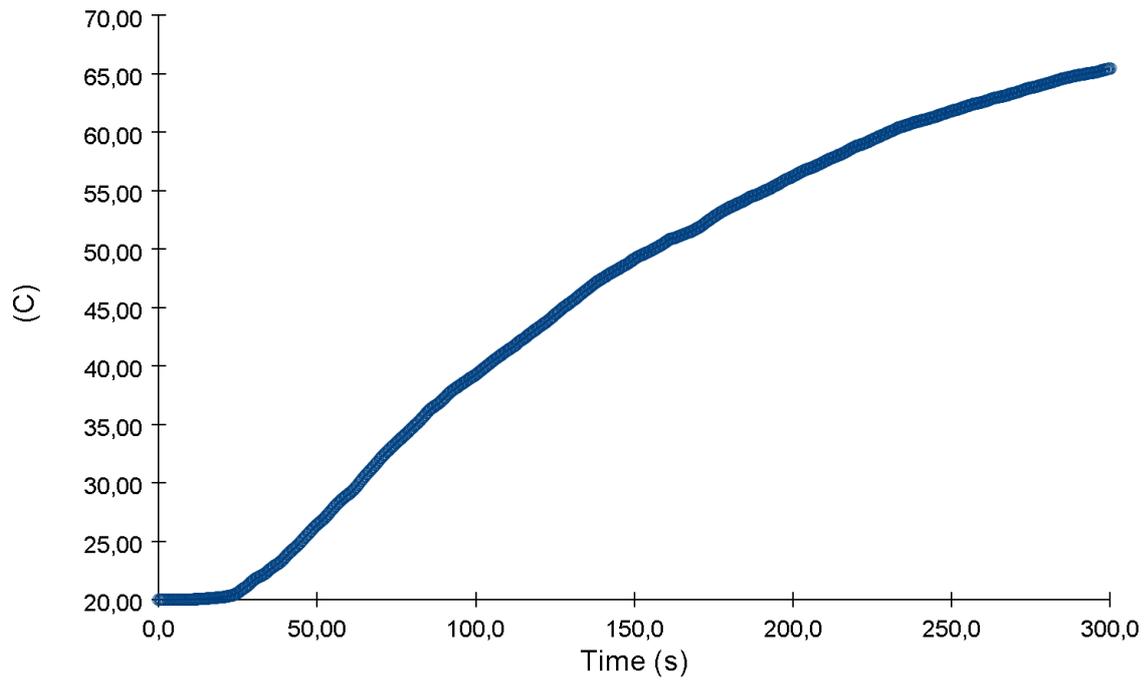


Ilustración AI -39. Termómetro del compartimento ciego. Incendio de babor abierto.

Termometro BR

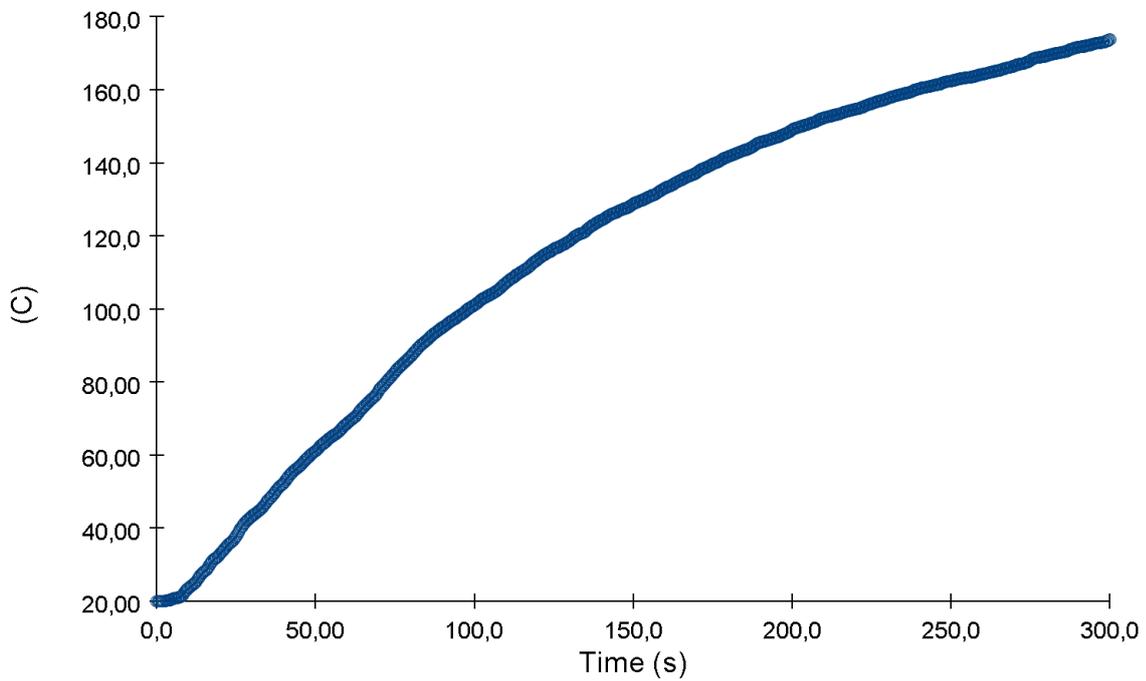


Ilustración AI -40. Termómetro de babor. Incendio de babor abierto.

Gráficas del **porcentaje de humo** por metro de compartimento.

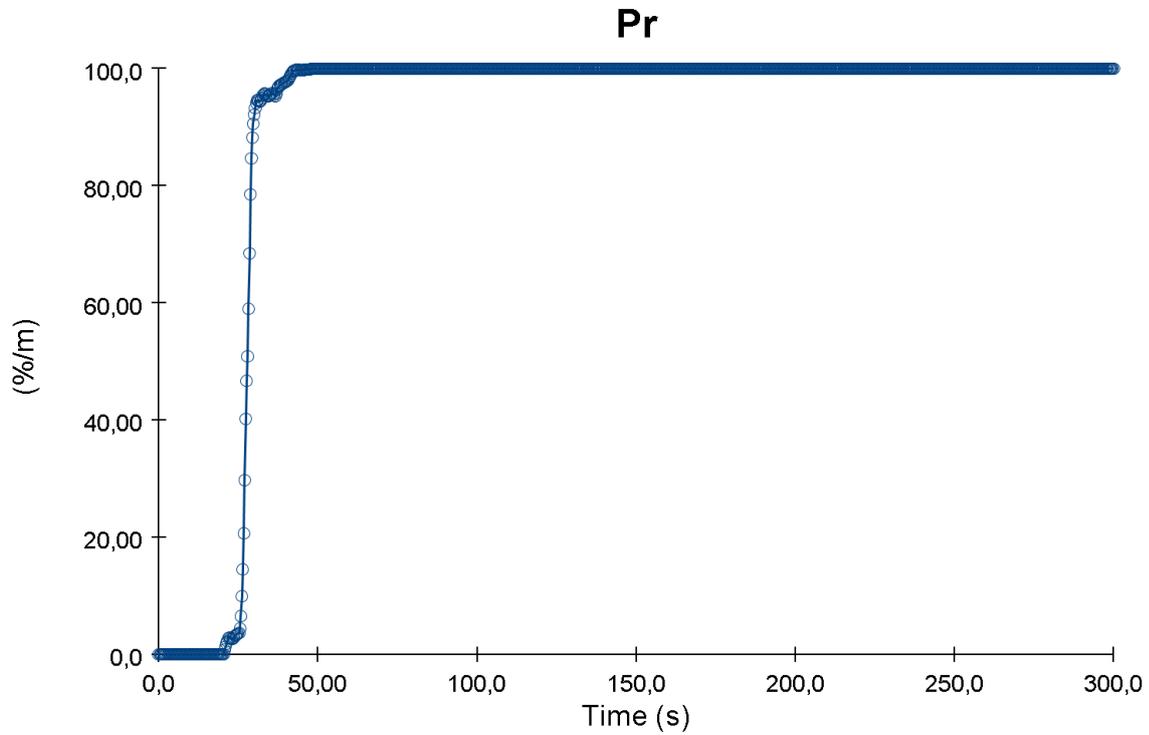


Ilustración AI -41. Cantidad de humo en el compartimento del compartimento principal.

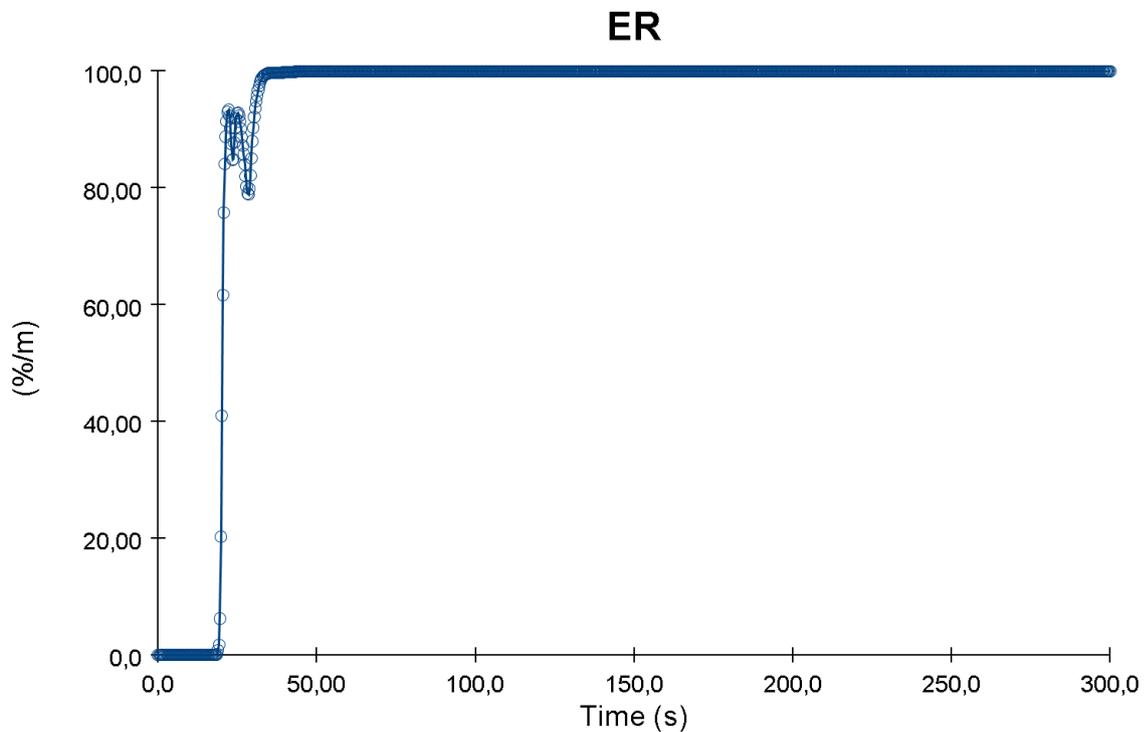


Ilustración AI -42. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.

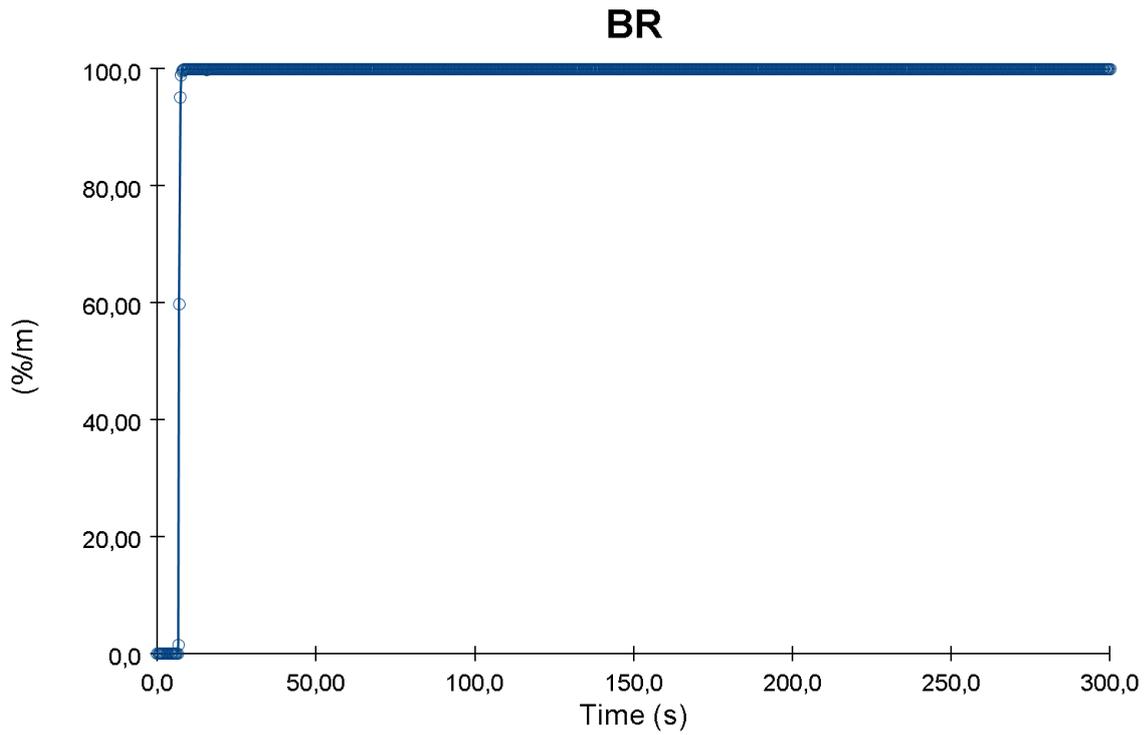


Ilustración AI -43. Cantidad de humo en el compartimento de babor.

Gráficas de la **visibilidad** del compartimento.

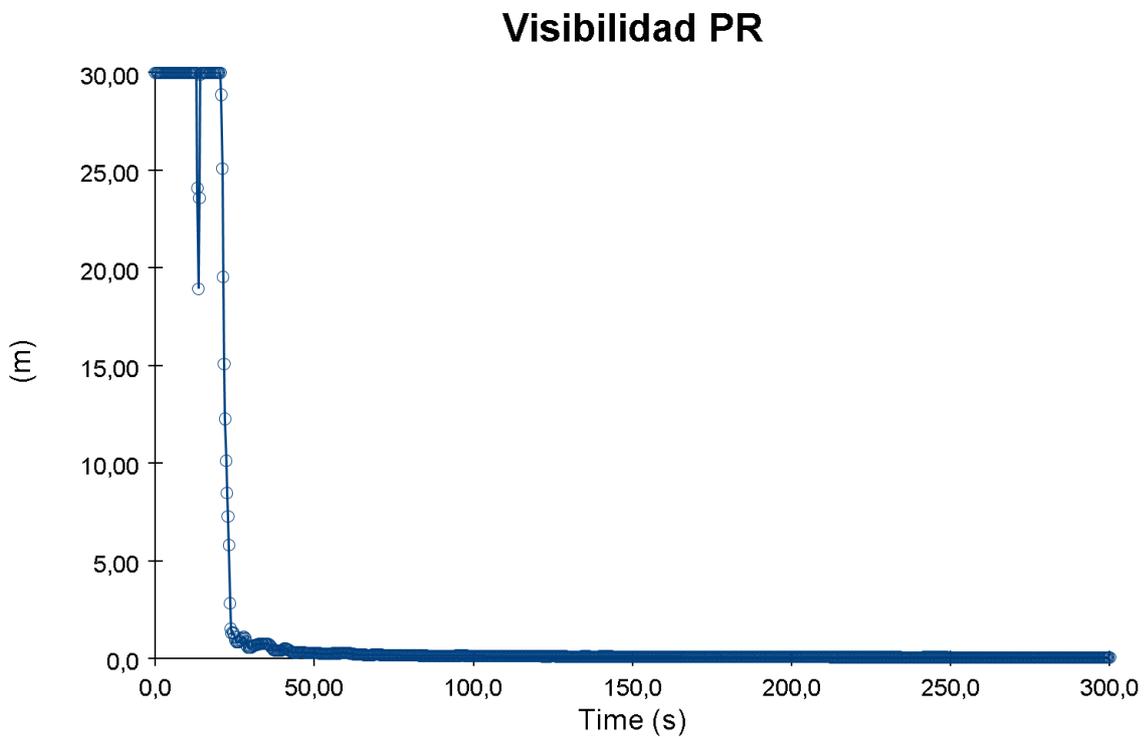


Ilustración AI -44. Reducción de visibilidad en el compartimento principal.

Visibilidad ER

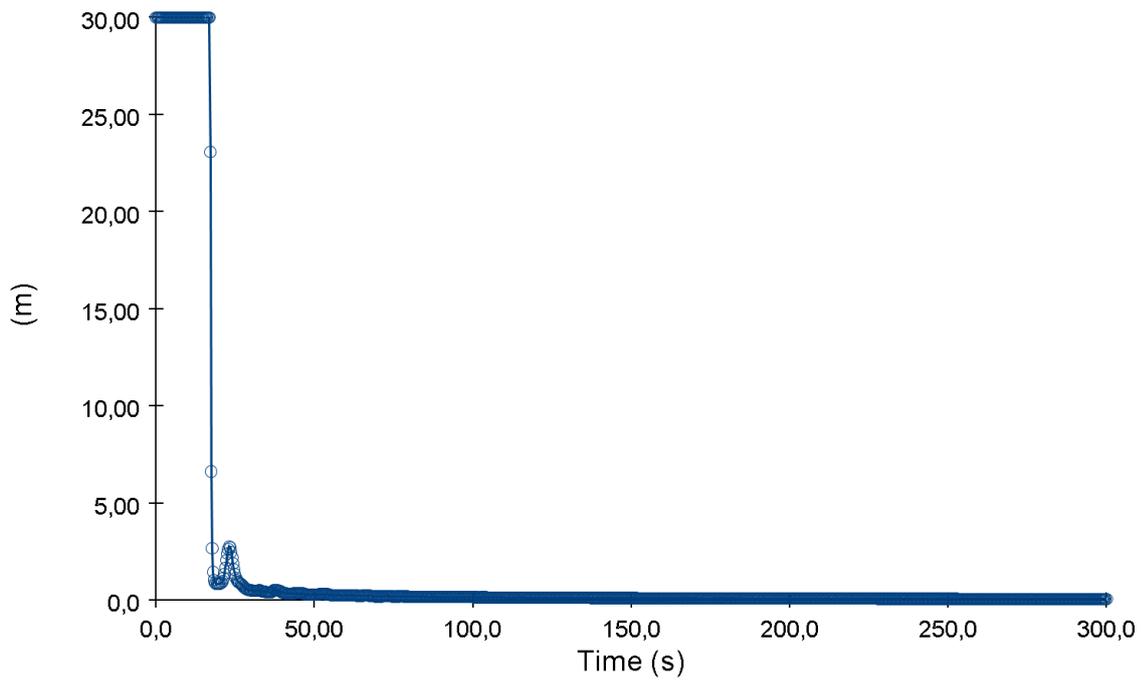


Ilustración AI -45. Reducción de visibilidad en el compartimento de estribor.

Visibilidad BR

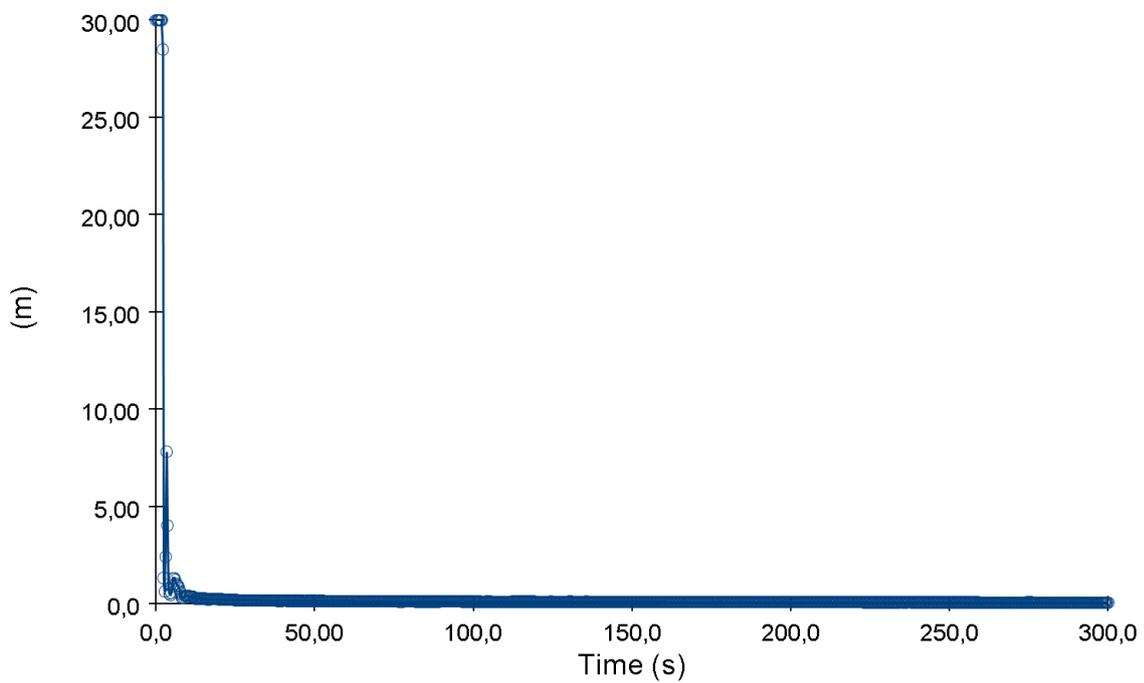


Ilustración AI -46. Reducción de visibilidad en el compartimento de babor.

Gráficas del incendio de **babor** cerrado.

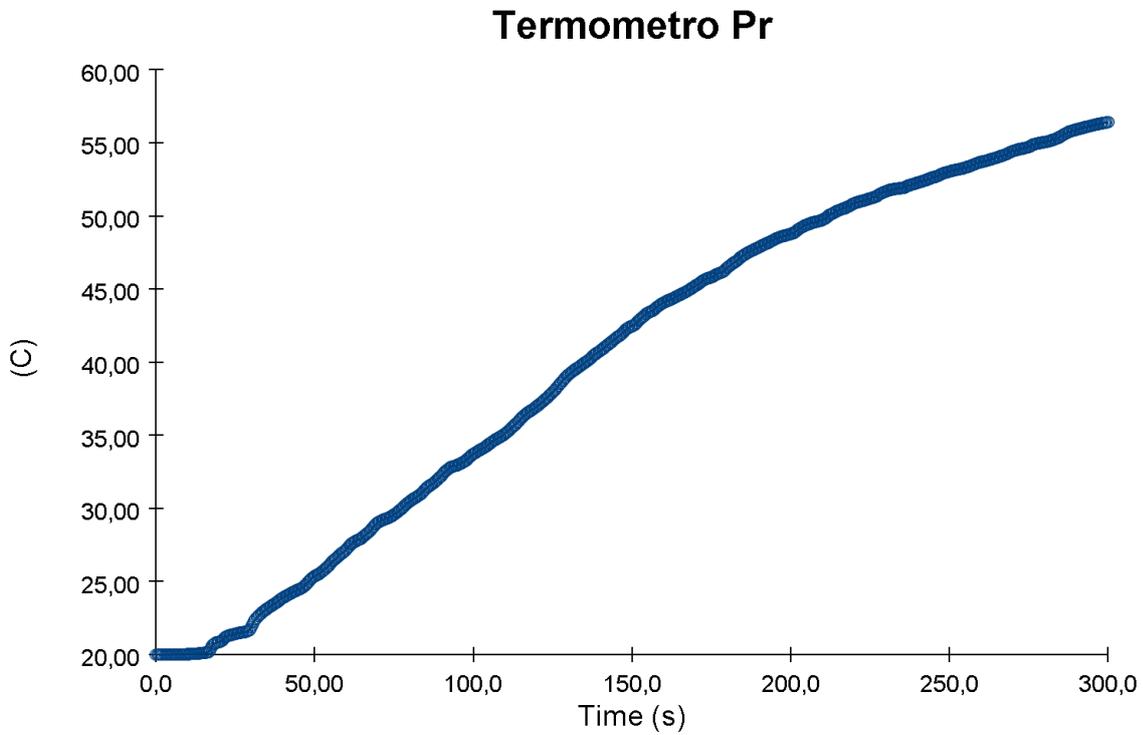


Ilustración AI -47. Termómetro principal. Incendio de babor cerrado.

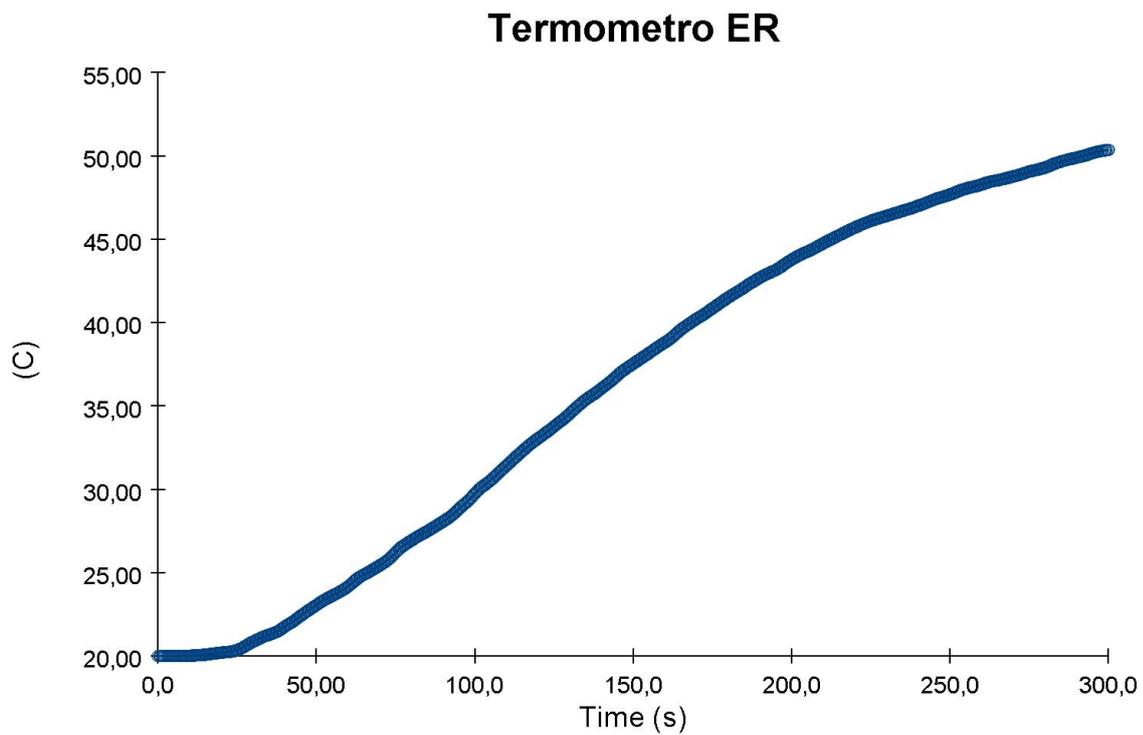


Ilustración AI -48. Termómetro de estribor. Incendio de babor cerrado.

Termometro compartimento ciego

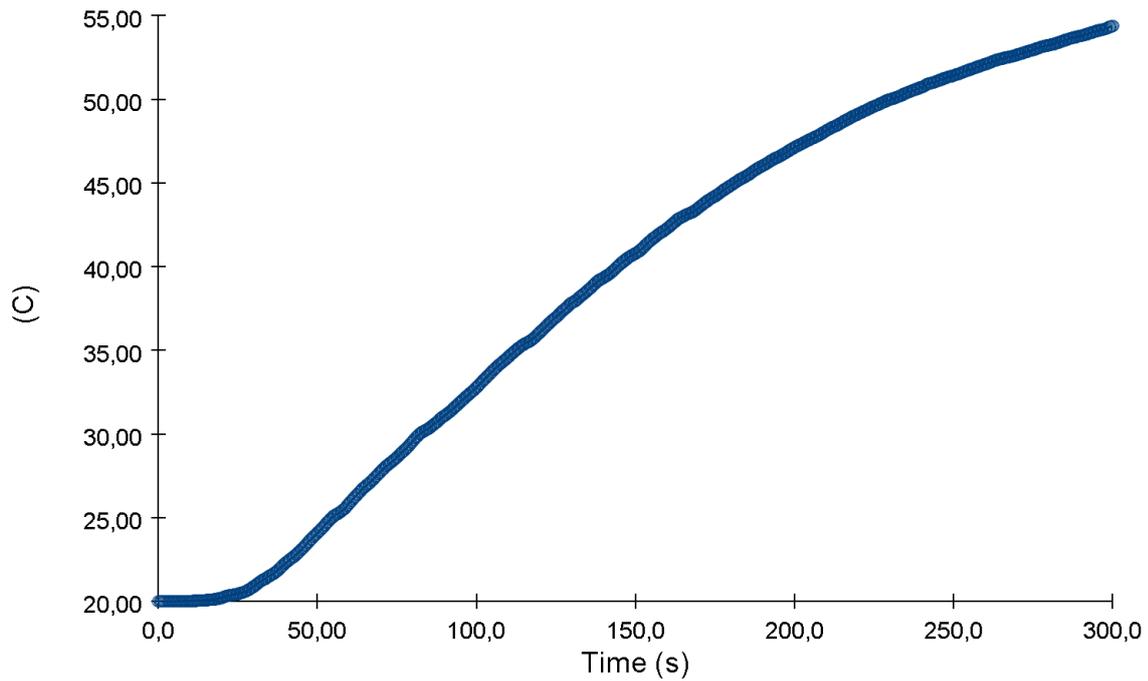


Ilustración AI -49. Termómetro del compartimento ciego. Incendio de babor cerrado.

Termometro BR

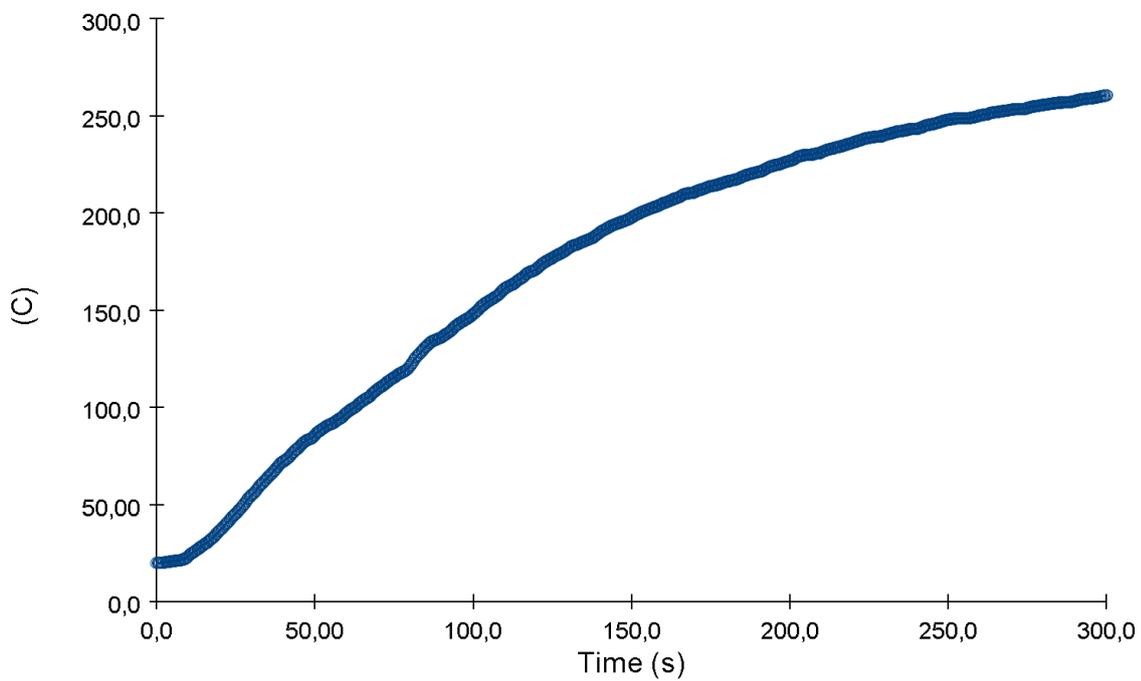


Ilustración AI -50. Termómetro de babor. Incendio de babor cerrado.

Gráficas del **porcentaje de humo** por metro de compartimento.

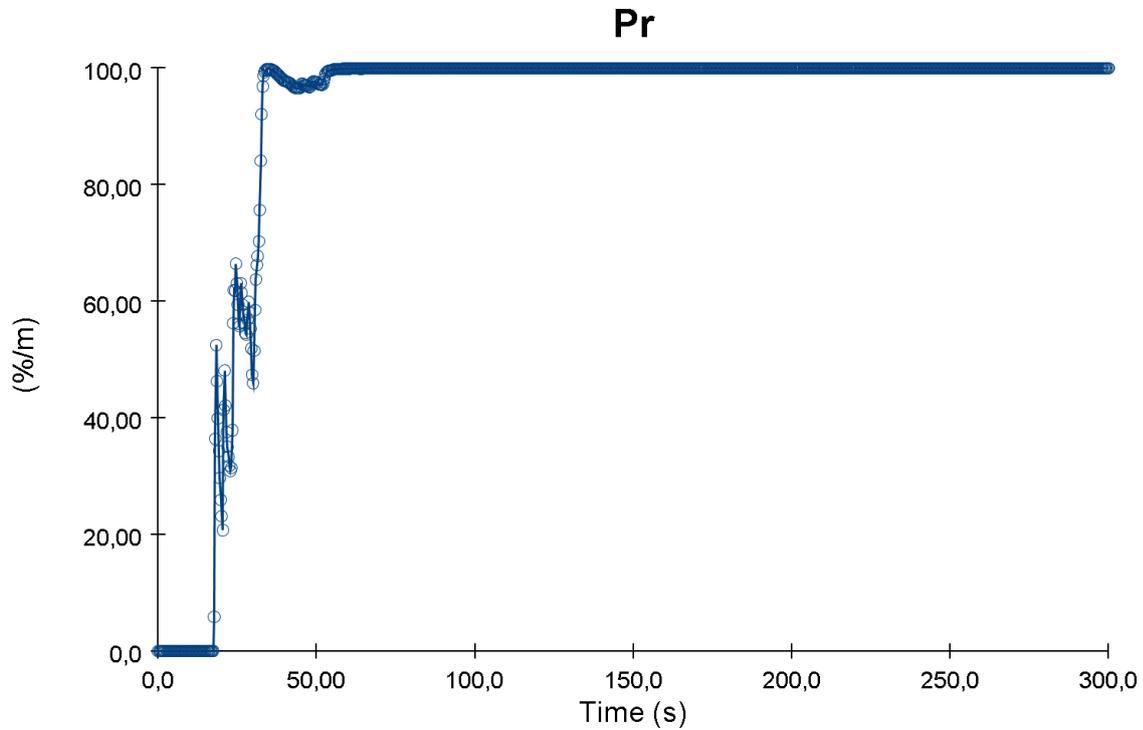


Ilustración AI -51. Cantidad de humo en el compartimento principal.

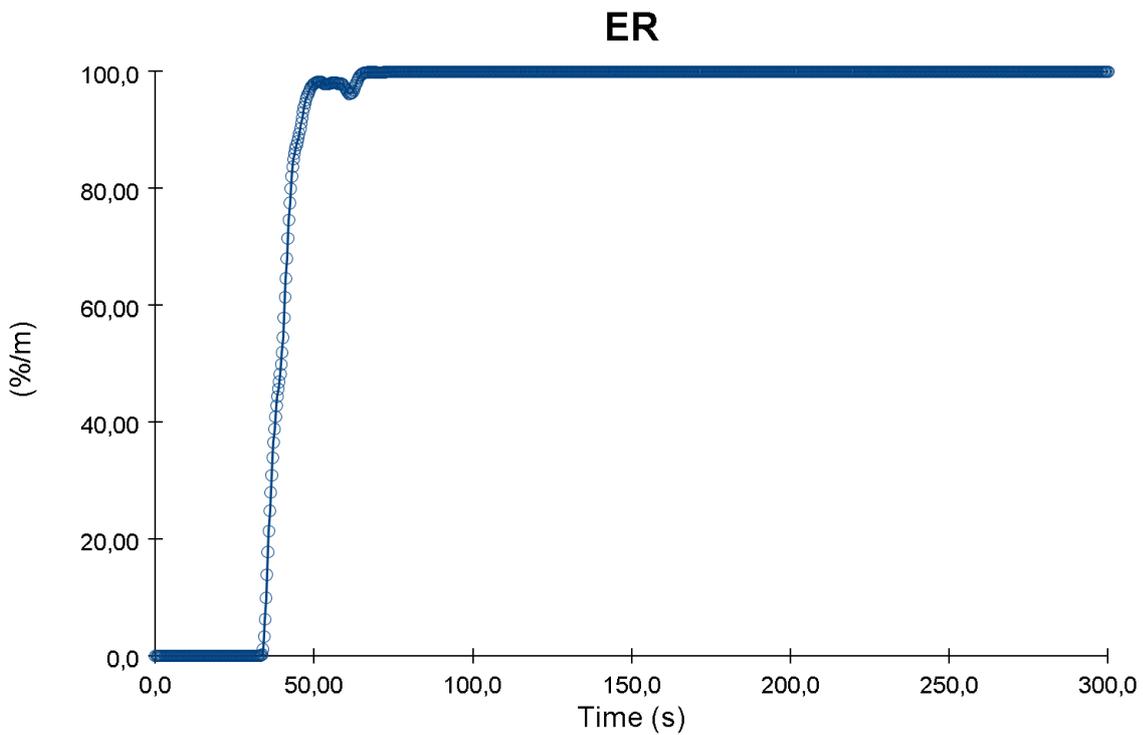


Ilustración AI -52. Cantidad de humo en el compartimento de estribor.

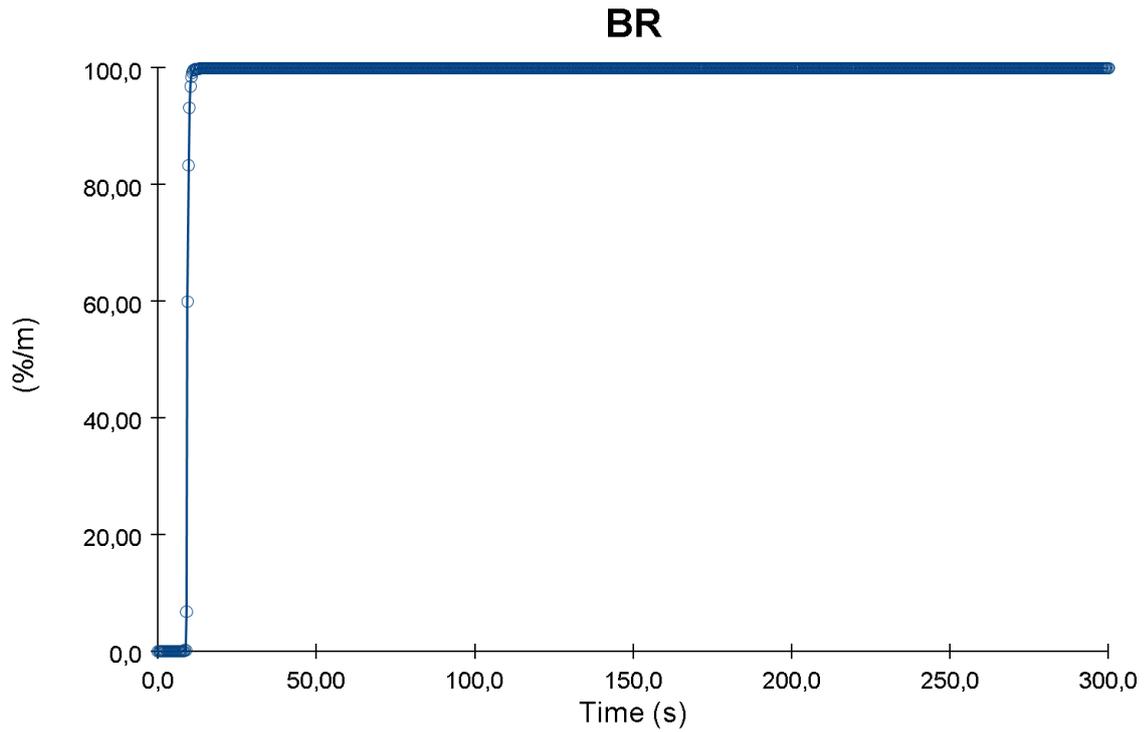


Ilustración AI -53. Cantidad de humo en el compartimento de babor

Gráficas de la **visibilidad** de los compartimentos.

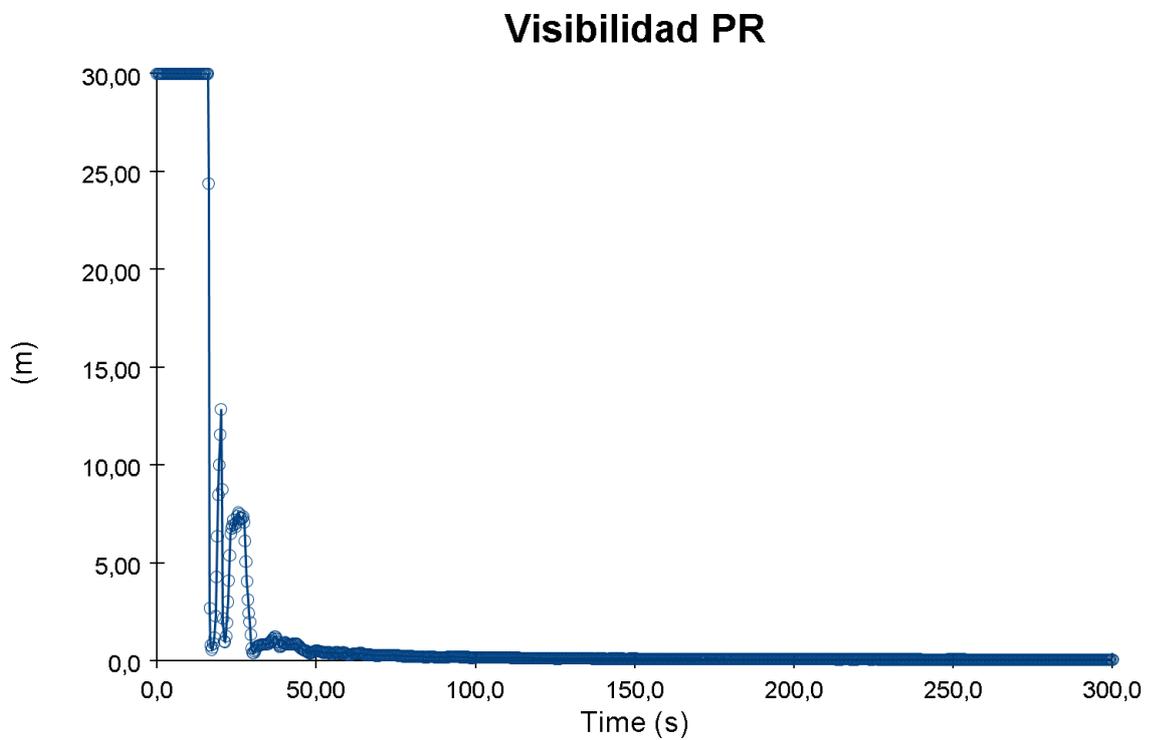


Ilustración AI -54. Reducción de la visibilidad del compartimento principal.

Visibilidad ER

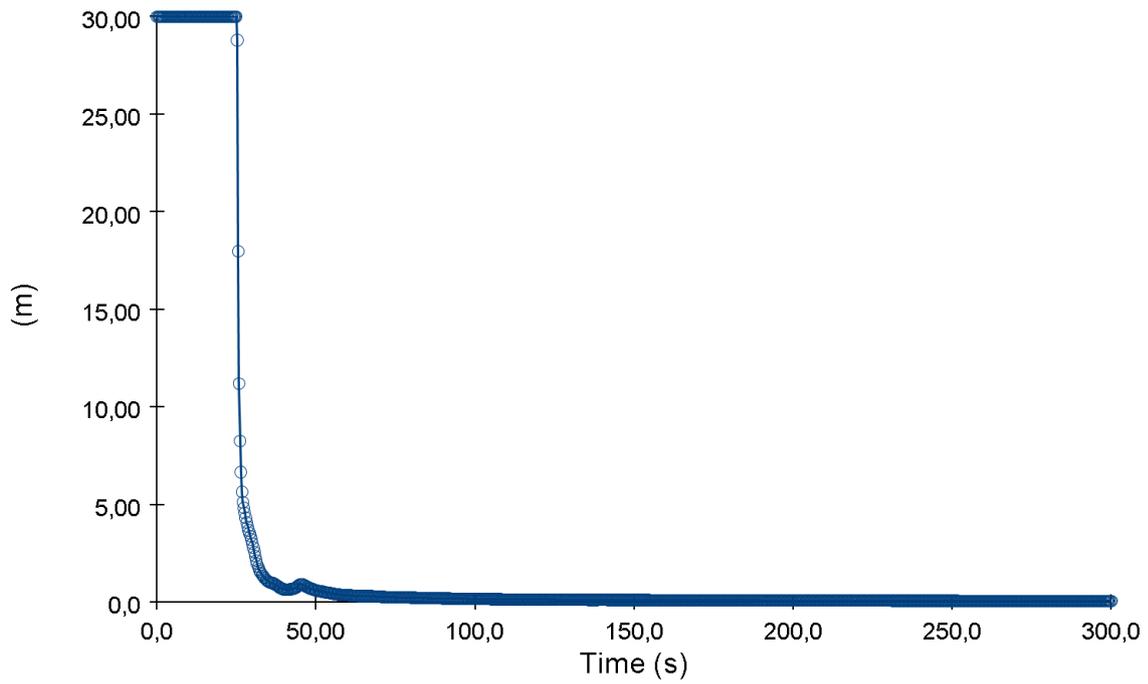


Ilustración AI -55. Reducción de la visibilidad del compartimento de estribor.

Visibilidad BR

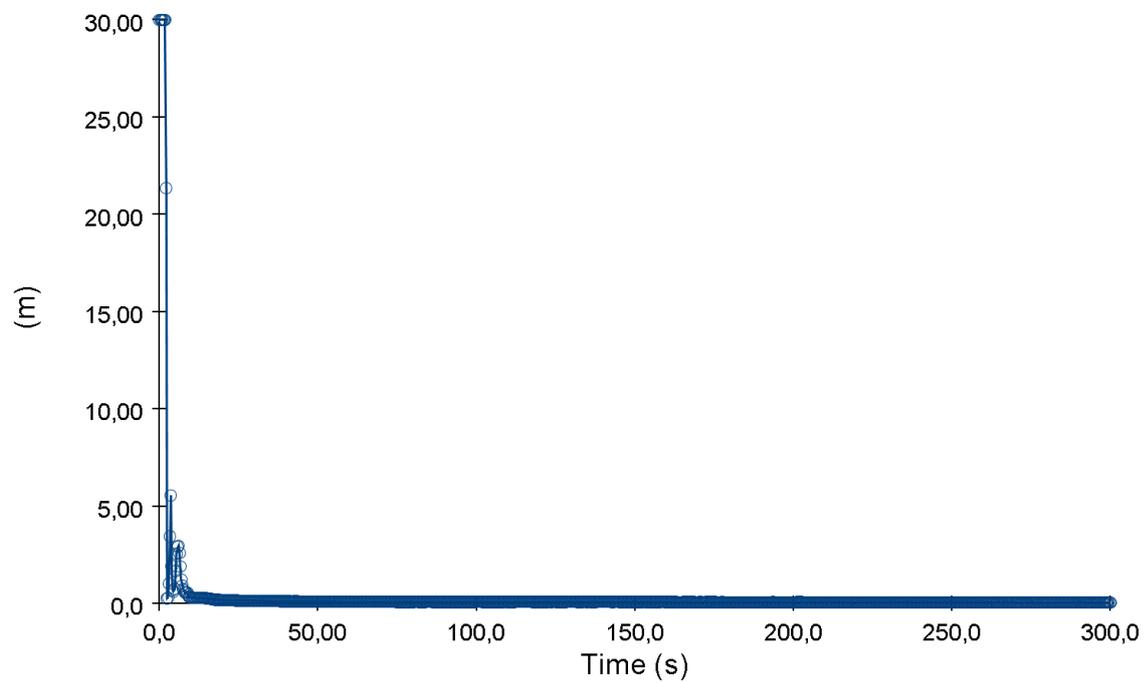


Ilustración AI -56. Reducción de la visibilidad del compartimento de babor.

Gráficas incendio **Principal 30 segundos.**

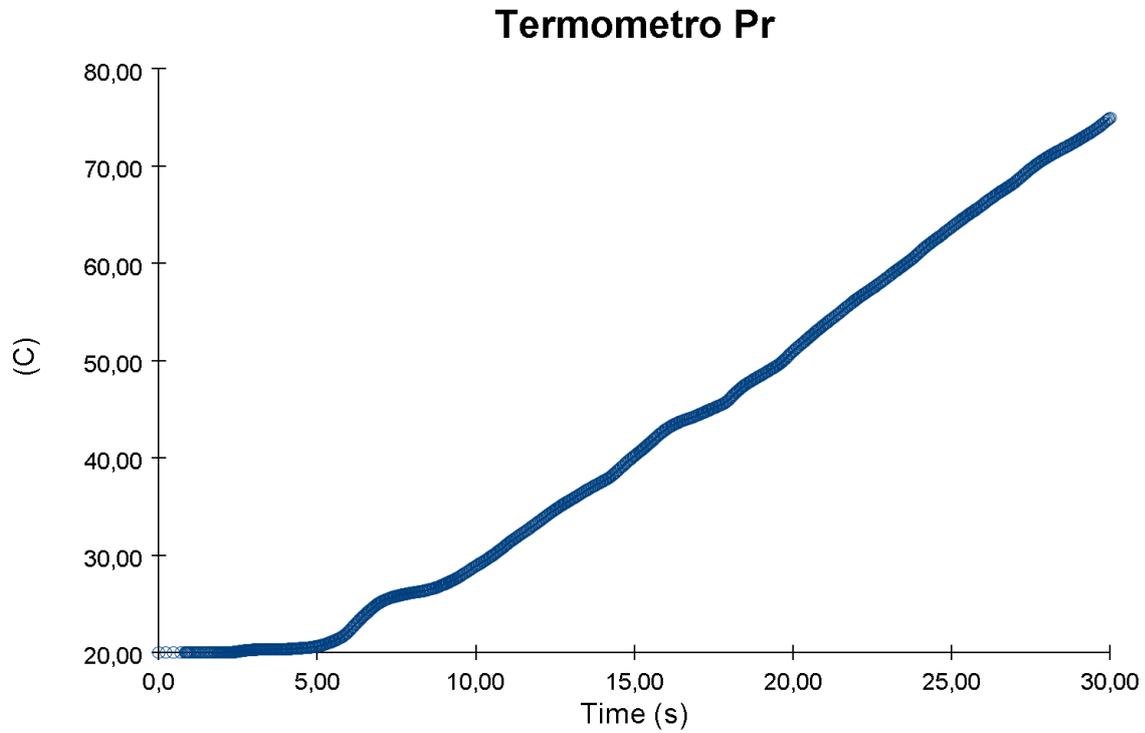


Ilustración AI -57. Termómetro principal. Incendio principal abierto.

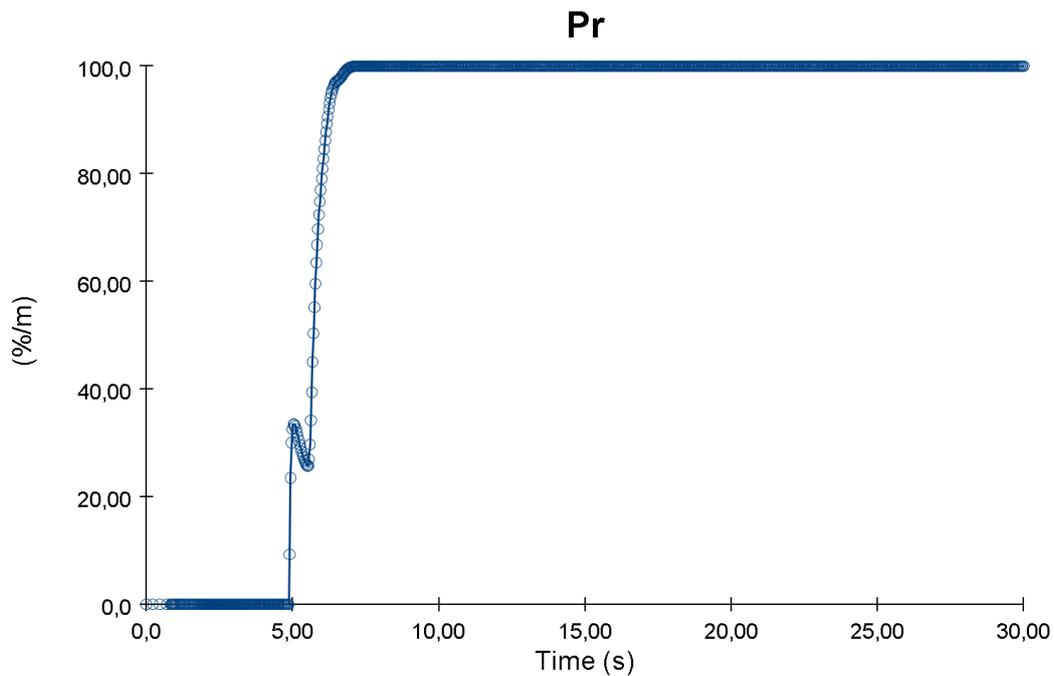


Ilustración AI -58. Cantidad de humo en el compartimento principal.

Visibilidad PR

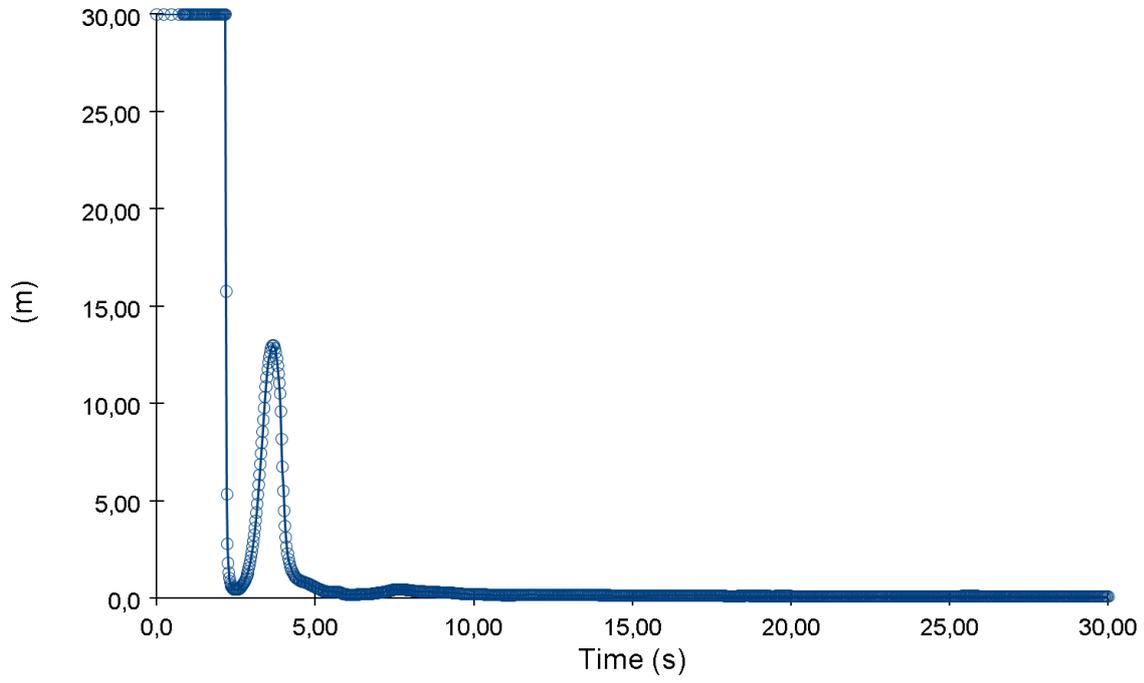


Ilustración AI -59. Reducción de la visibilidad del compartimento principal.

Graficas incendio **estribor 30 segundos**.

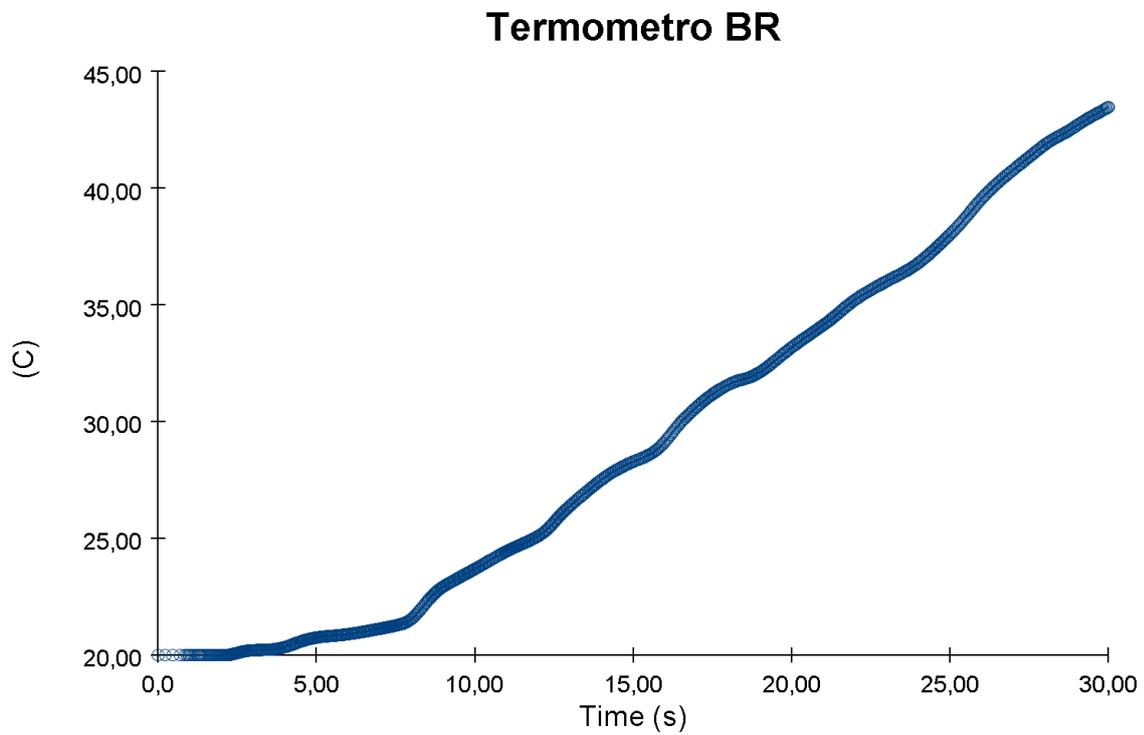


Ilustración AI -60. Termómetro de babor. Incendio de babor abierto.

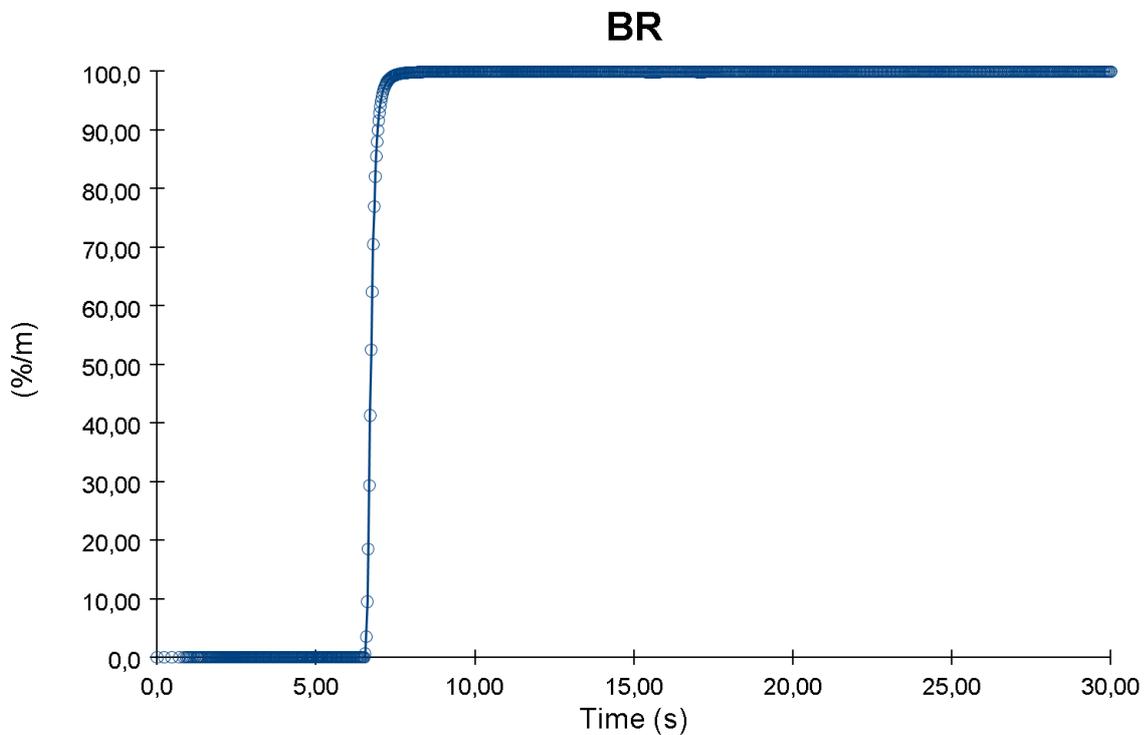


Ilustración AI -61. Cantidad de humo en el compartimento de babor.

Visibilidad BR

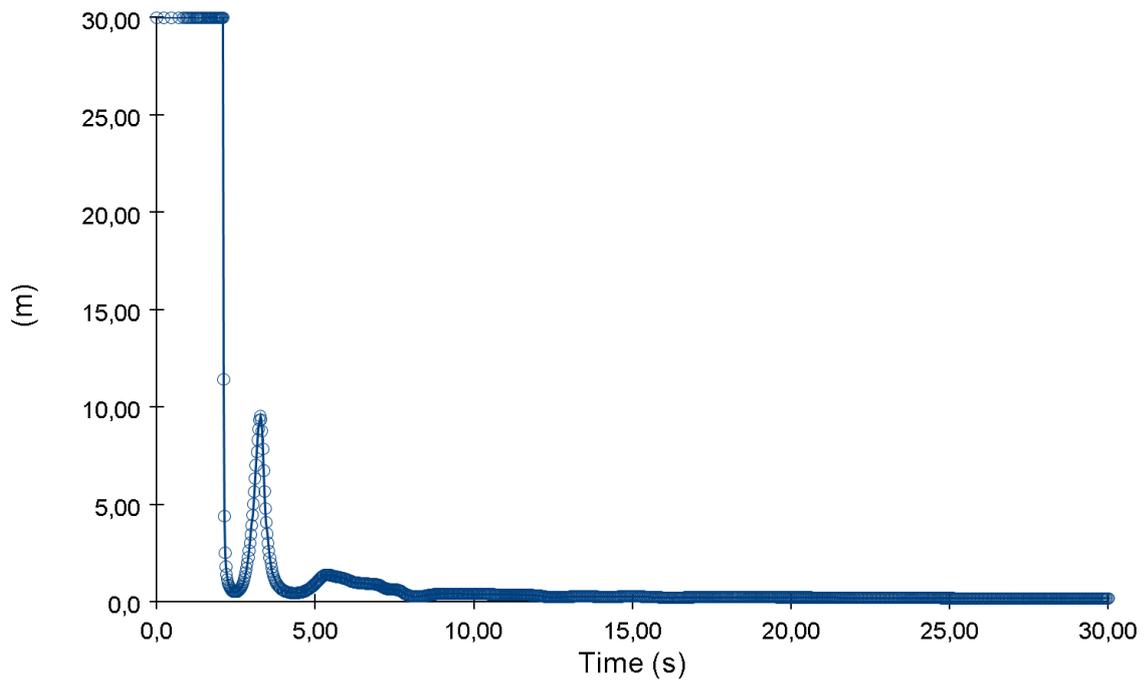


Ilustración AI -62. Reducción de la visibilidad del compartimento de babor.

Gráficas del incendio de **labor 30 segundos**.

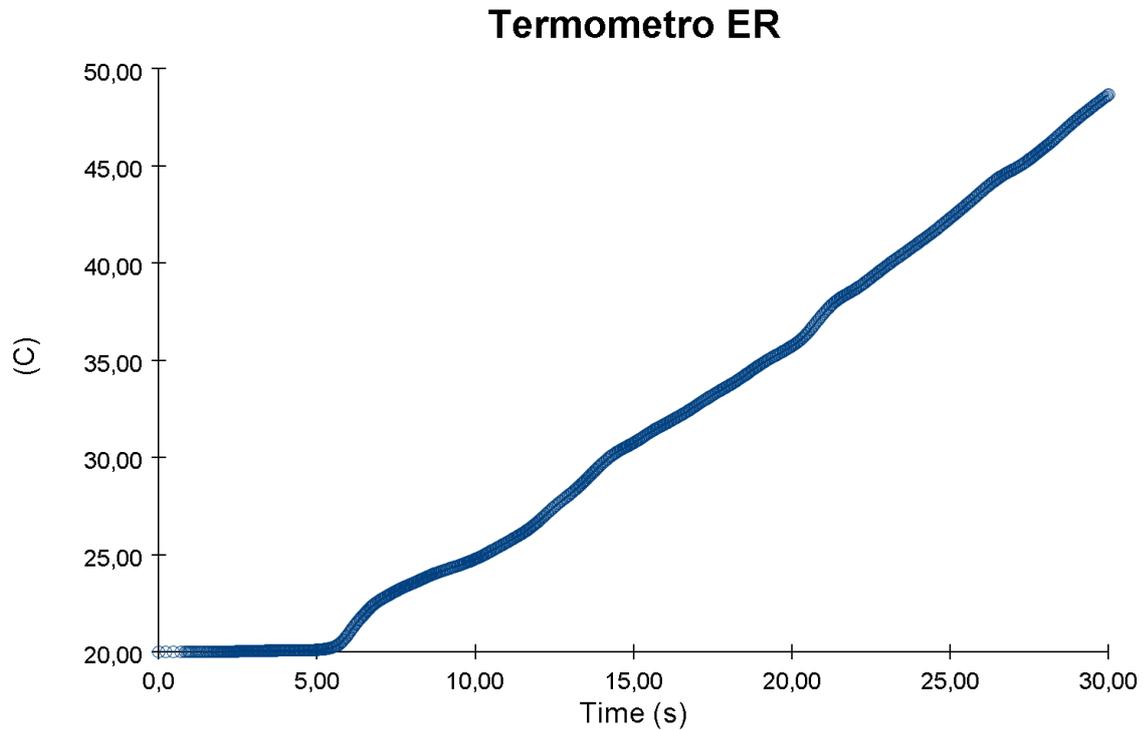


Ilustración AI -63. Termómetro de estribo. Incendio de estribo abierto.

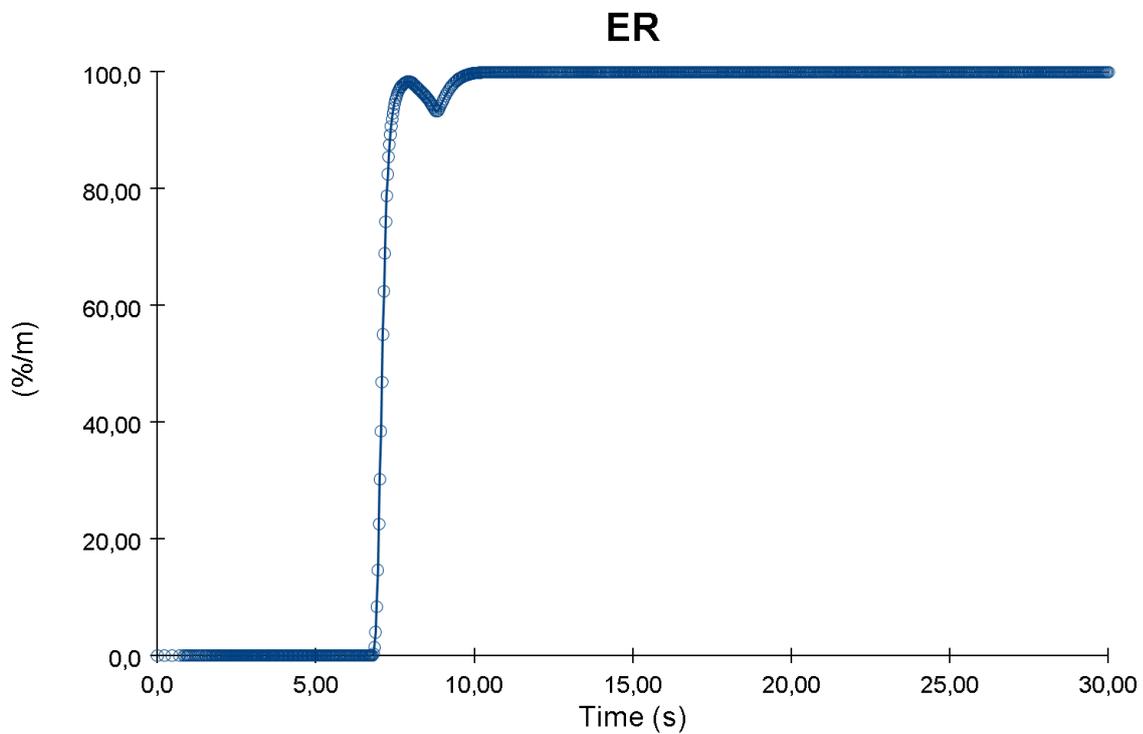


Ilustración AI -64. Cantidad de humo en el compartimento de estribo.

Visibilidad ER

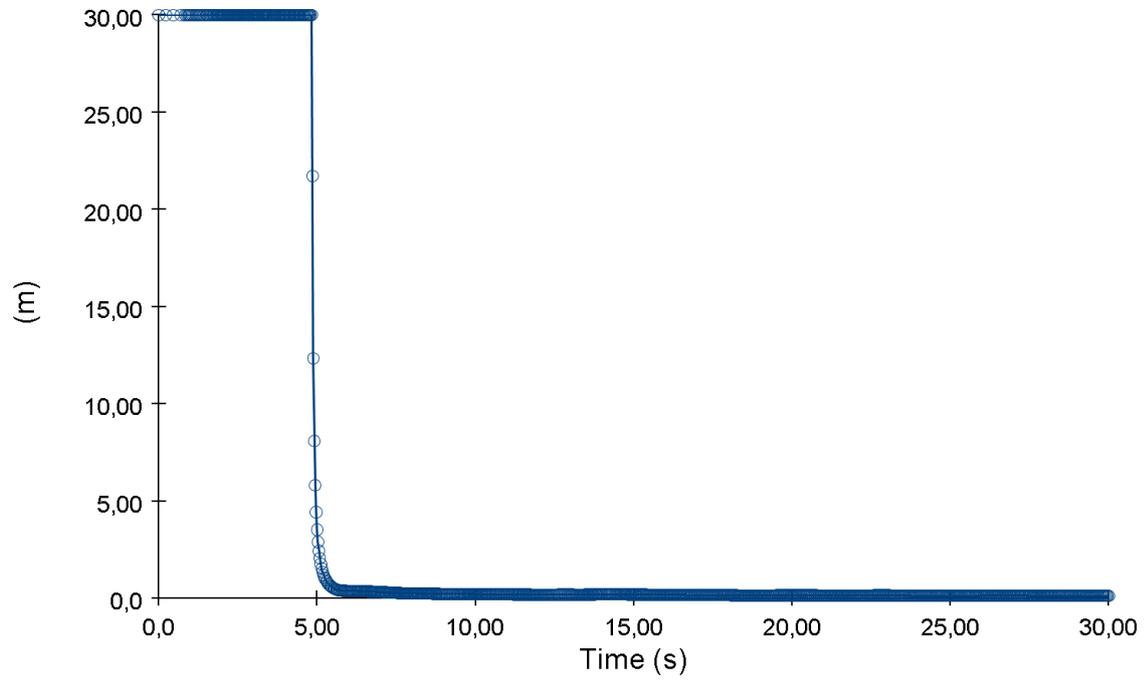


Ilustración AI -65. Reducción de la visibilidad del compartimento de estribor.

ANEXO II: GRÁFICAS DE LOS BOTES DE HUMO.

Gráficas de los botes de humo en el **compartimento principal**.

Abierto:

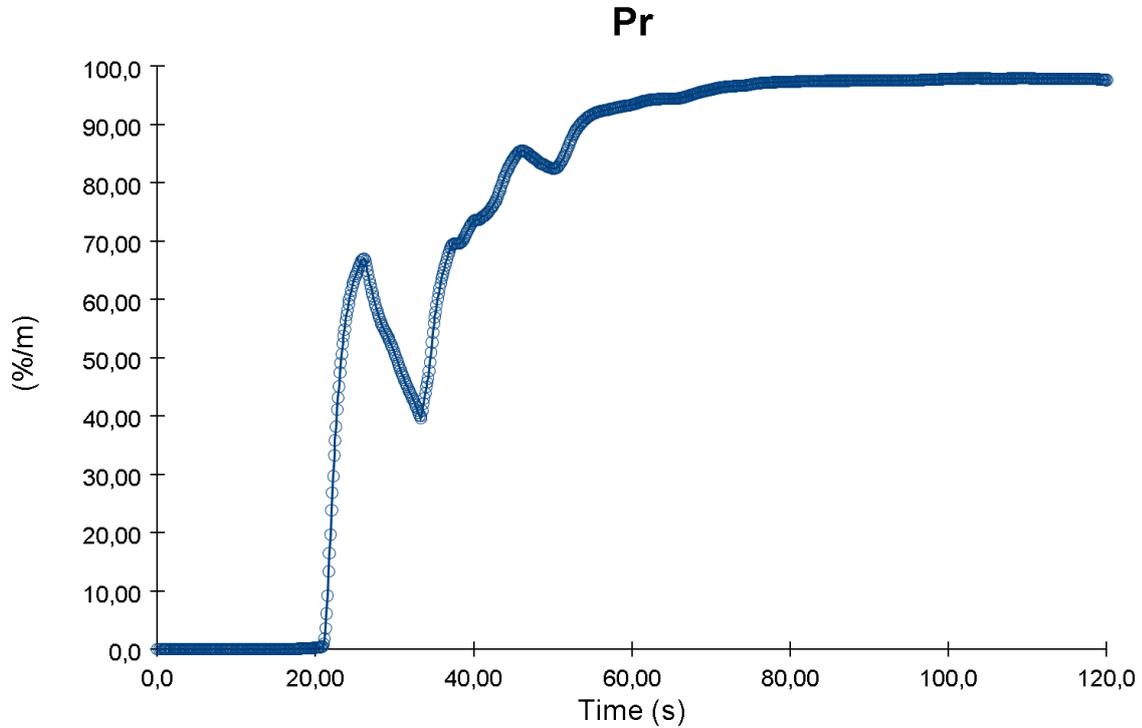


Ilustración AII-1. Concentración de humo en el compartimento principal.

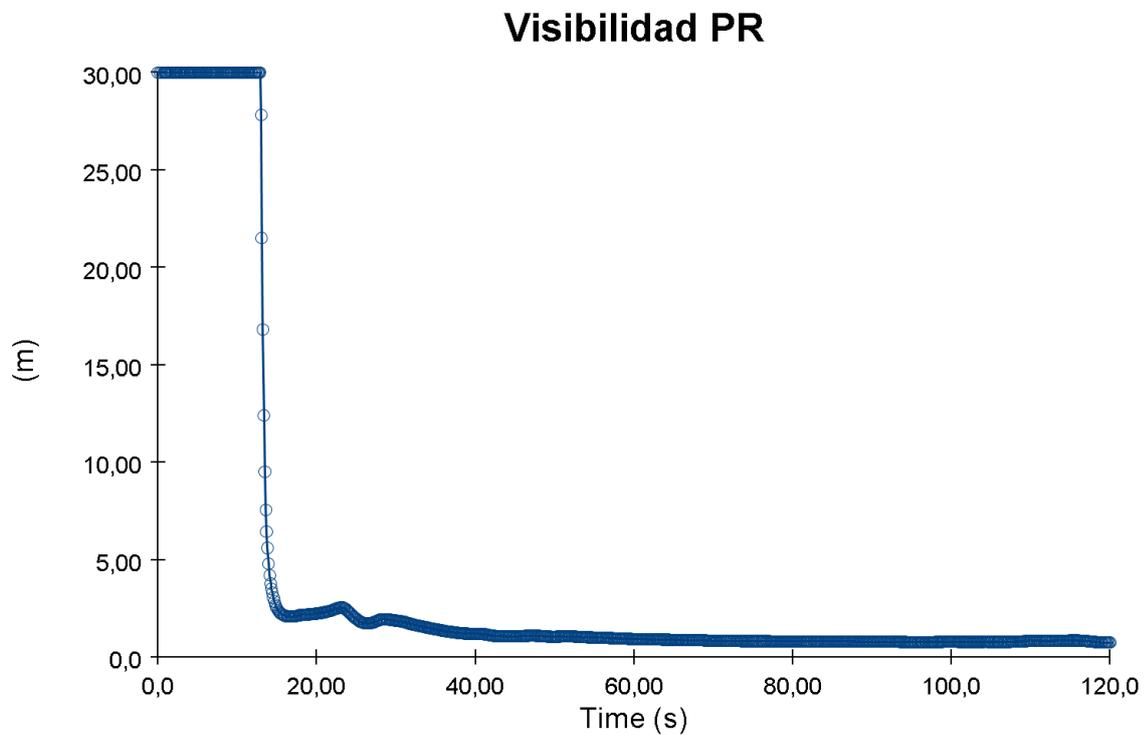


Ilustración AII -2. Reducción de la visibilidad del compartimento principal abierto.

Cerrado:

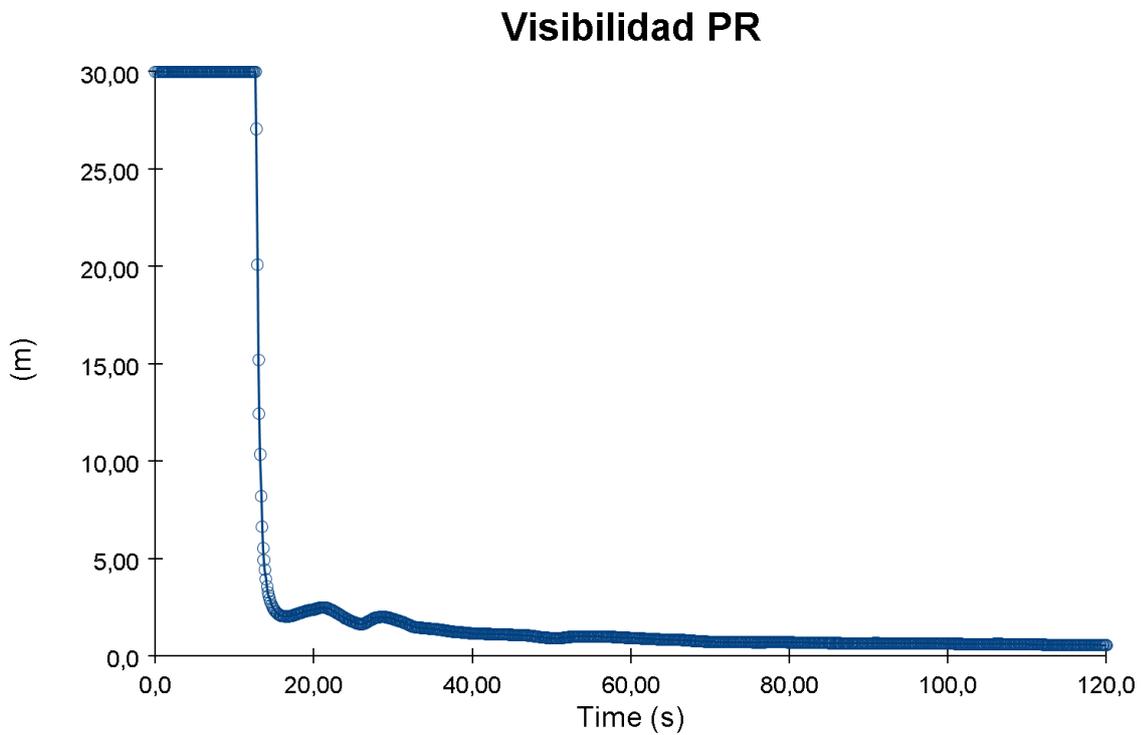


Ilustración AII -3. Reducción de la visibilidad del compartimento principal cerrado.

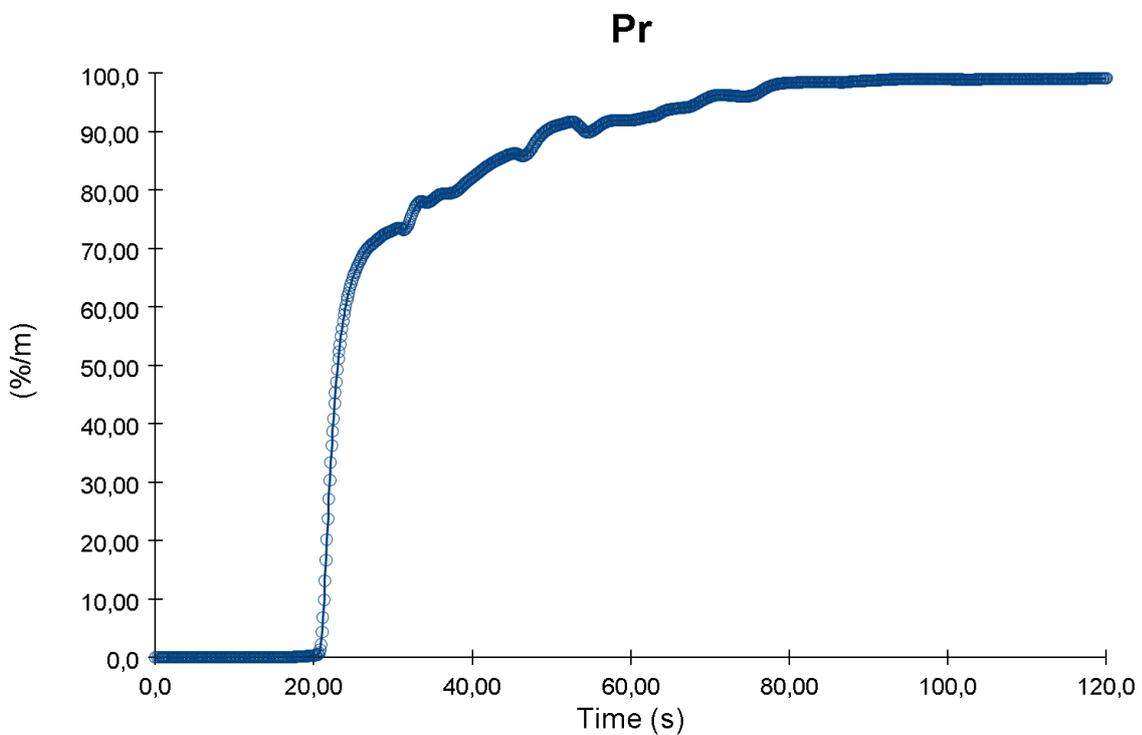


Ilustración AII -4. Concentración de humo en el compartimento principal.

Desarrollo de la incidencia del **compartimento principal**:

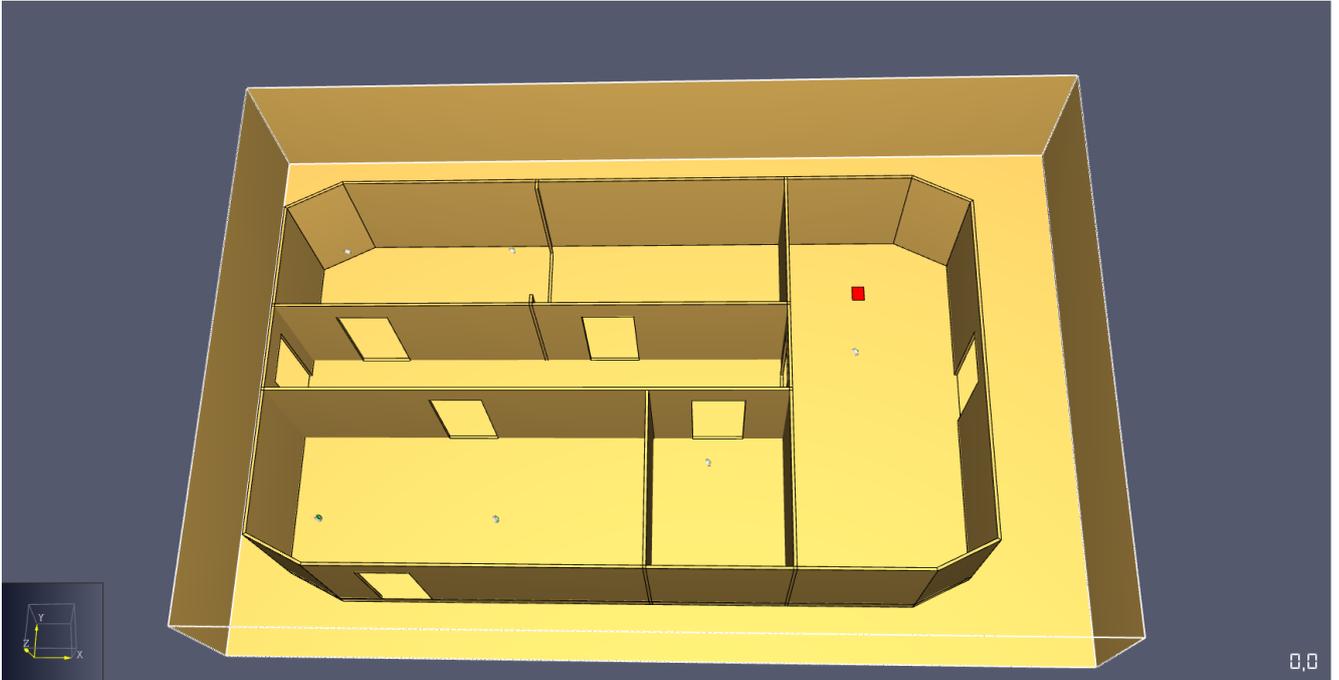


Ilustración AII -5. Propagación del humo a los 0s.

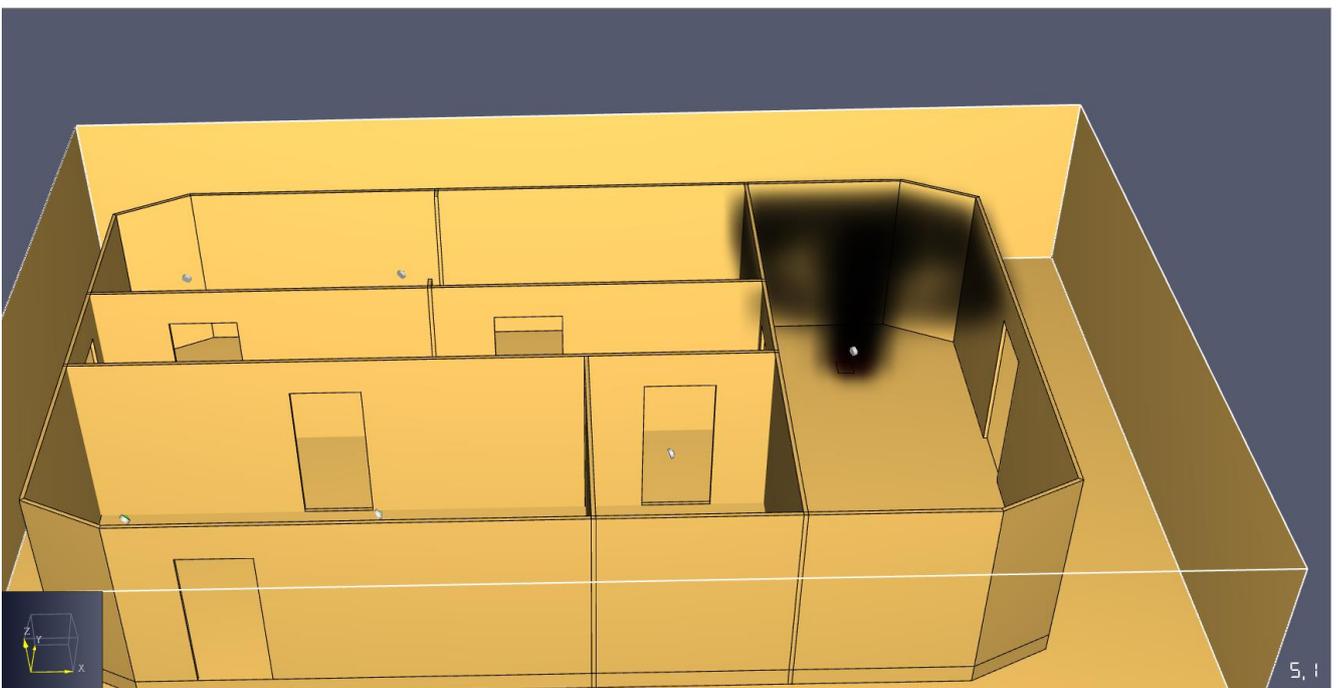


Ilustración AII -6. Propagación del humo a los 5s.

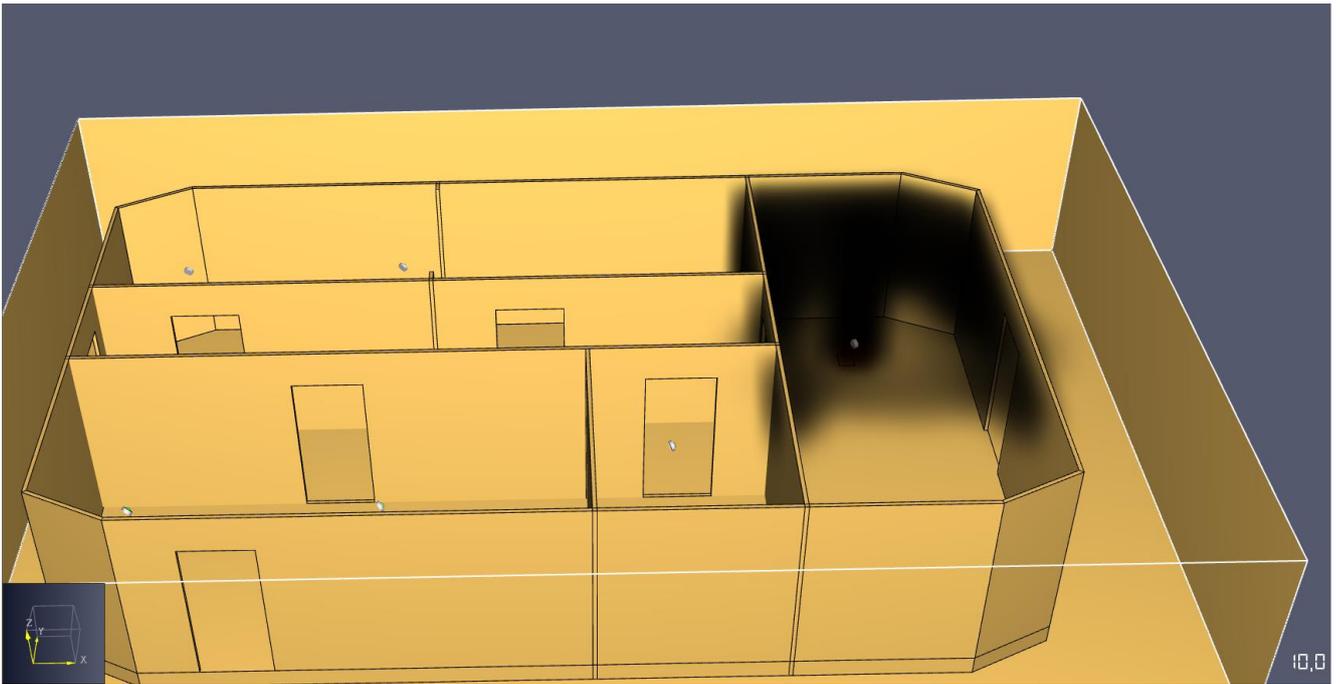


Ilustración AII -7. Propagación del humo a los 10s.

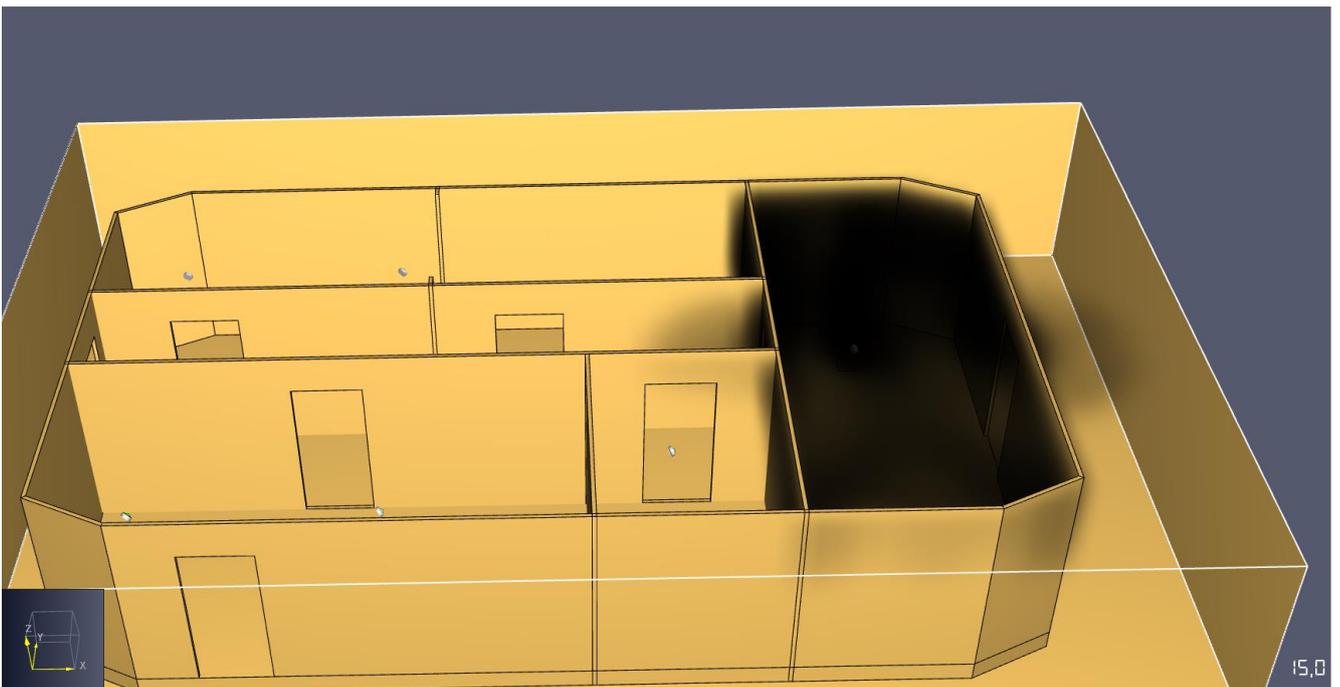


Ilustración AII -8. Propagación del humo a los 15s.

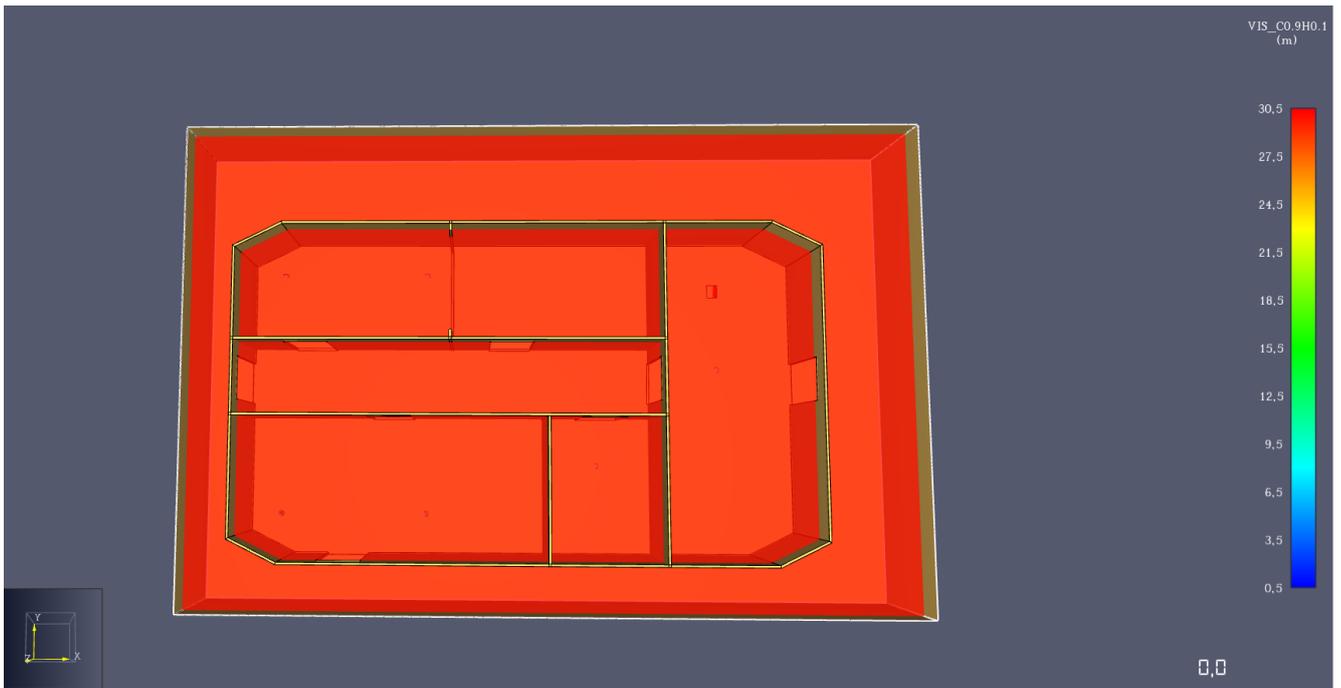


Ilustración AII -9. Reducción de la visibilidad a los 0s.

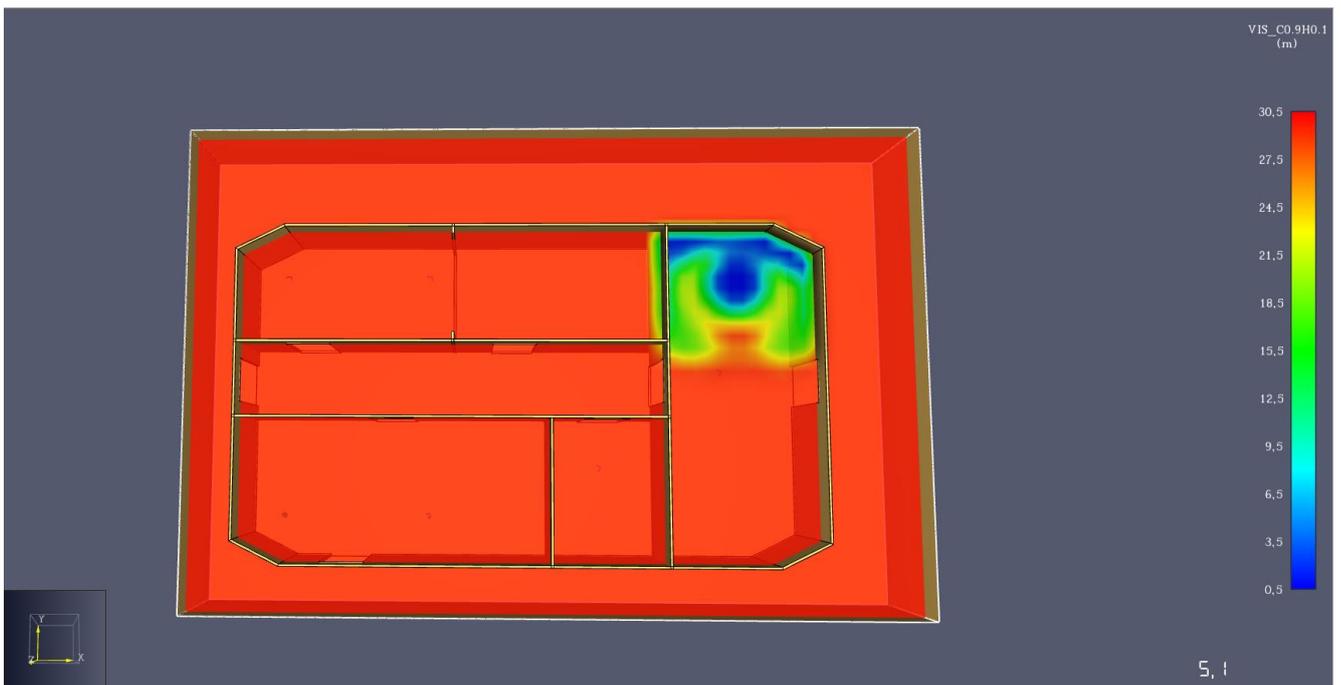


Ilustración AII -10. Reducción de la visibilidad a los 5s.

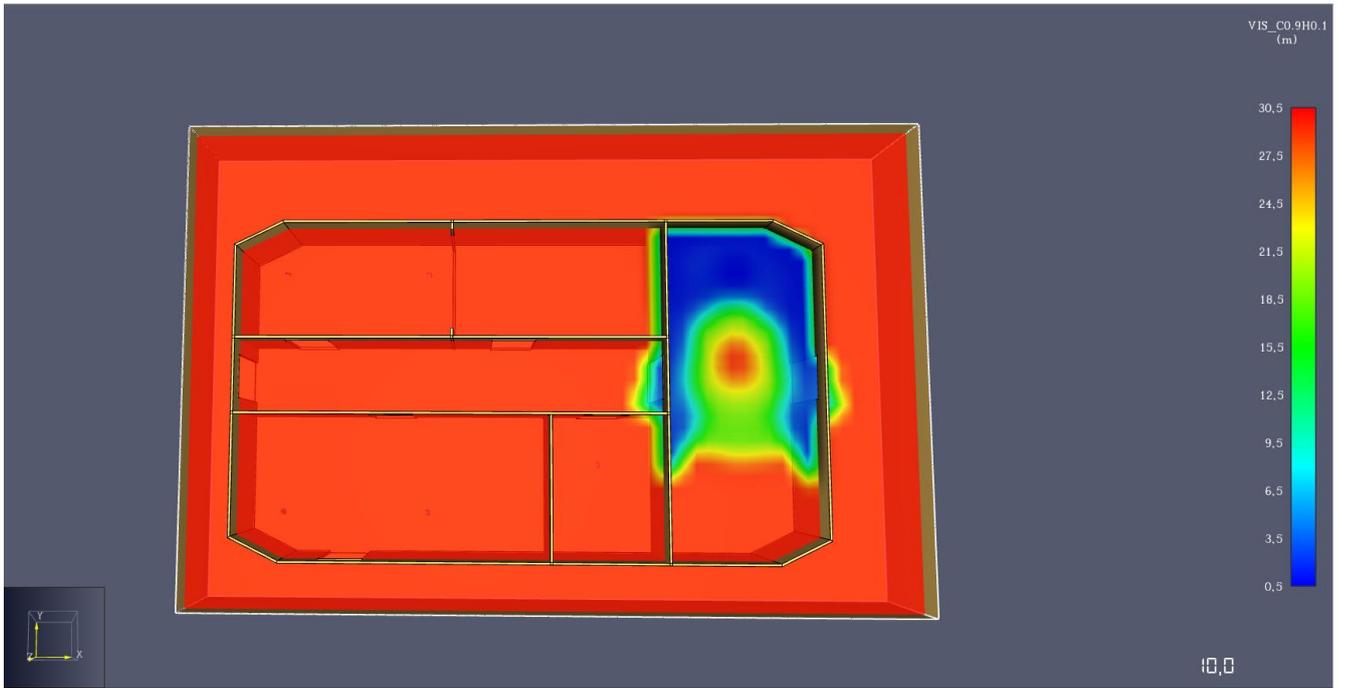


Ilustración AII -11. Reducción de la visibilidad a los 10s.

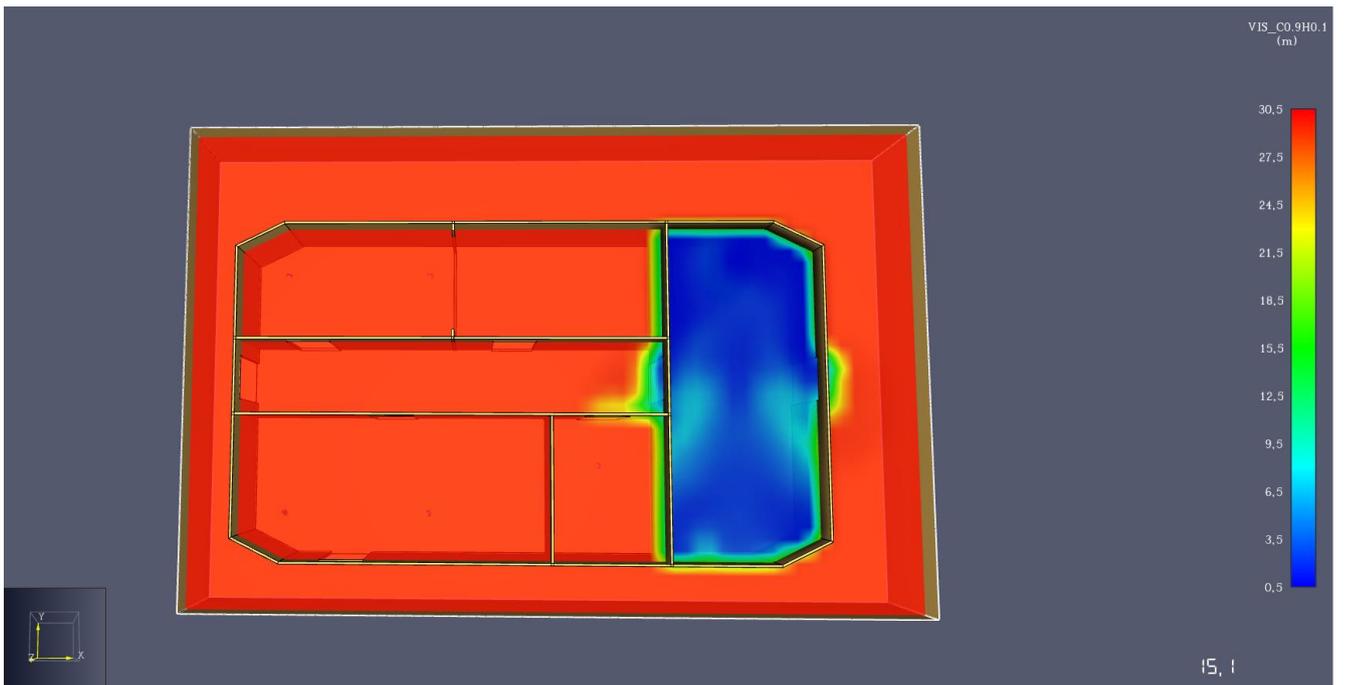


Ilustración AII -12. Reducción de la visibilidad a los 15s.

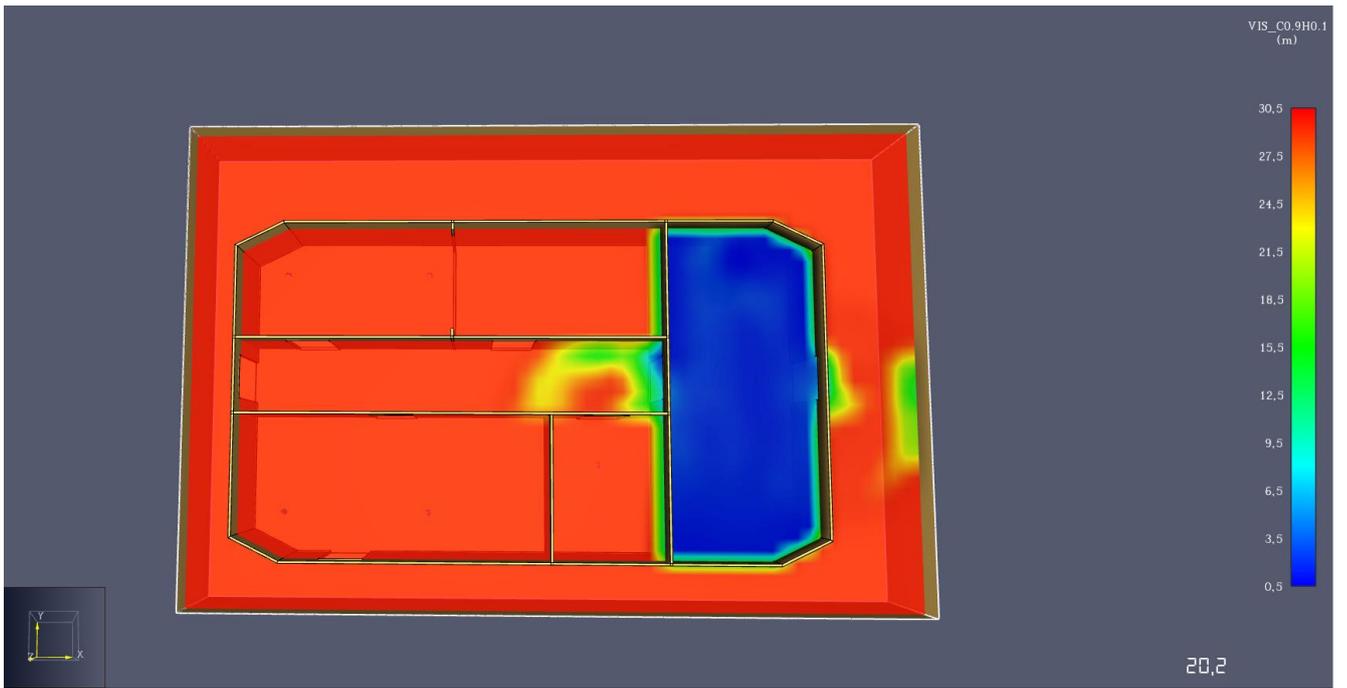


Ilustración AII -13. Reducción de la visibilidad a los 20s.

Gráficas de los botes de humo del **compartimento de estribor**.

Abierto:

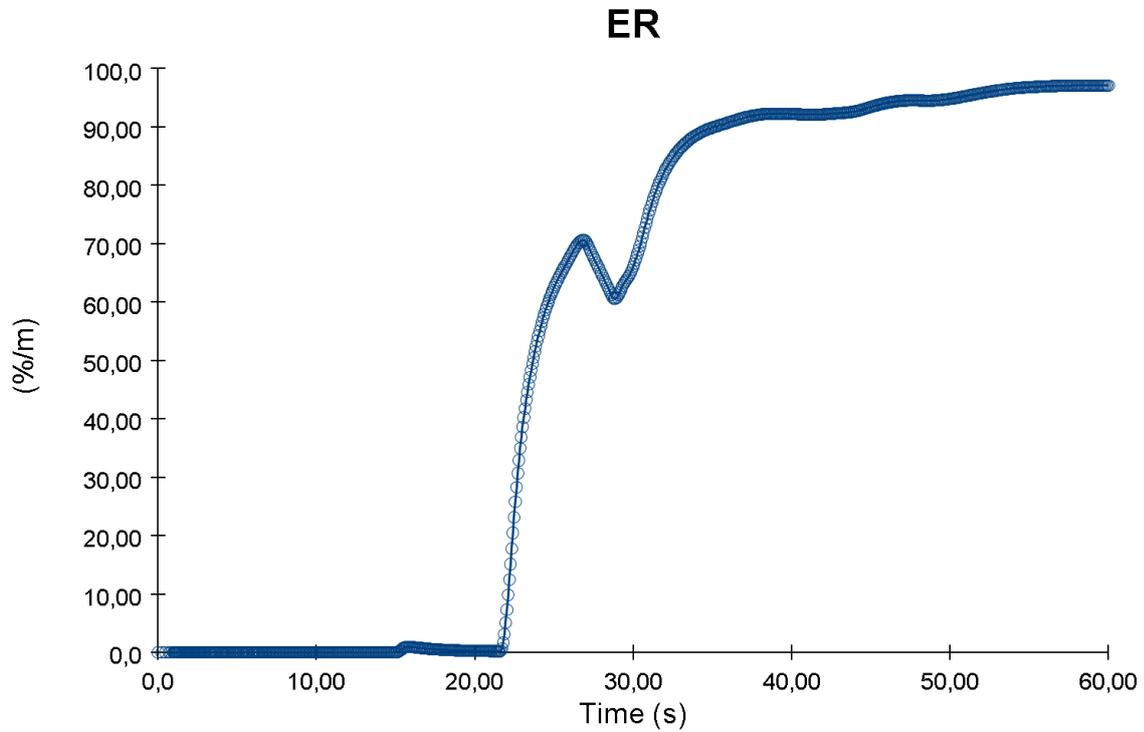


Ilustración AII -14. Concentración de humo en el compartimento de estribor abierto.

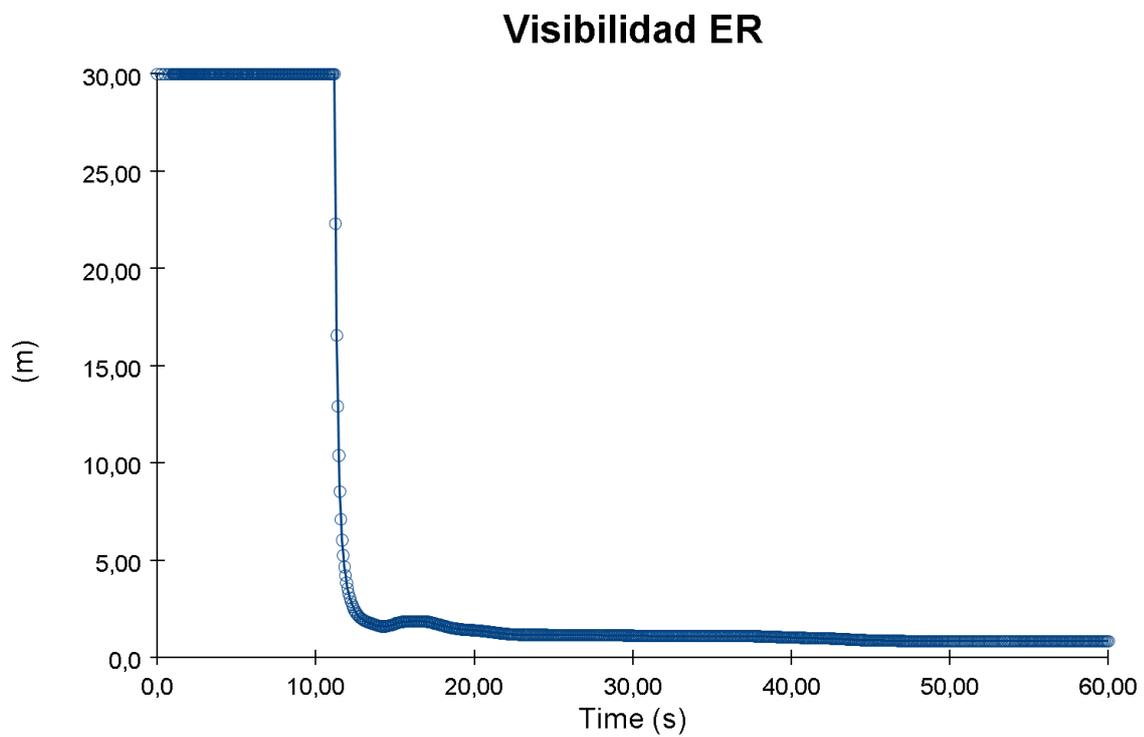


Ilustración AII -15. Reducción de la visibilidad del compartimento de estribor abierto.

Cerrado:

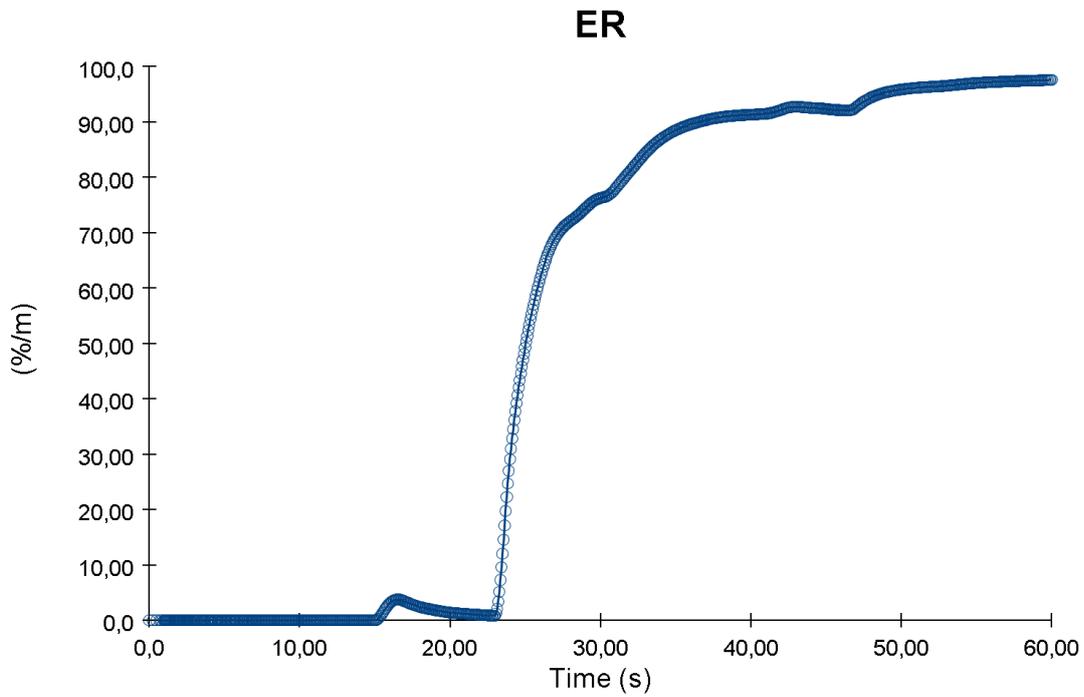


Ilustración AII -16. Concentración de humo en el compartimento de estribor cerrado.

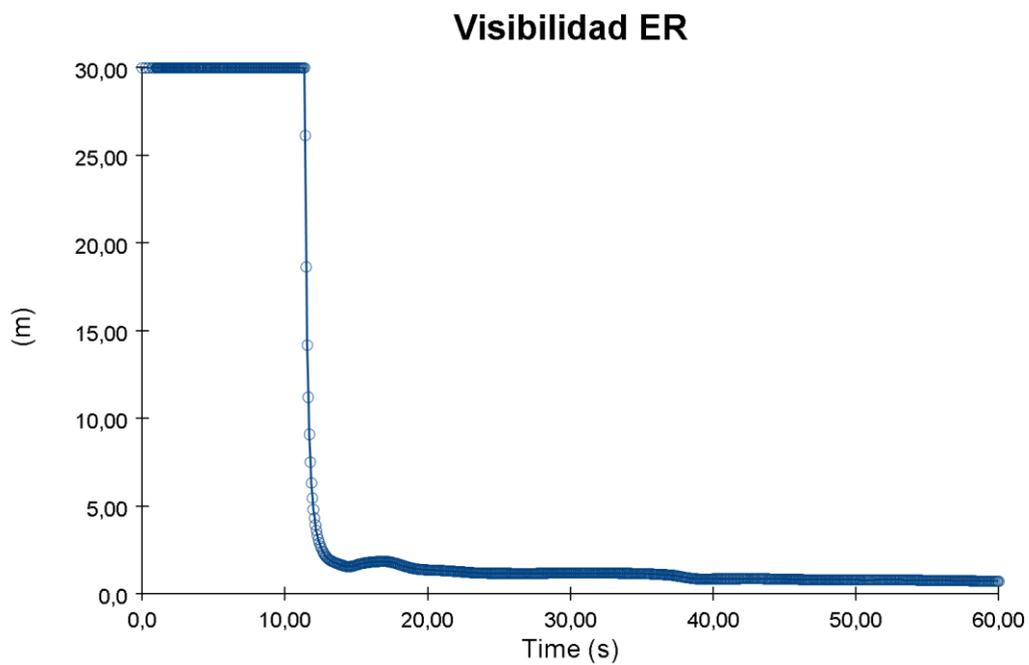


Ilustración AII -17. Reducción de la visibilidad del compartimento de estribor cerrado.

Desarrollo de la incidencia del **compartimento de estribor**:

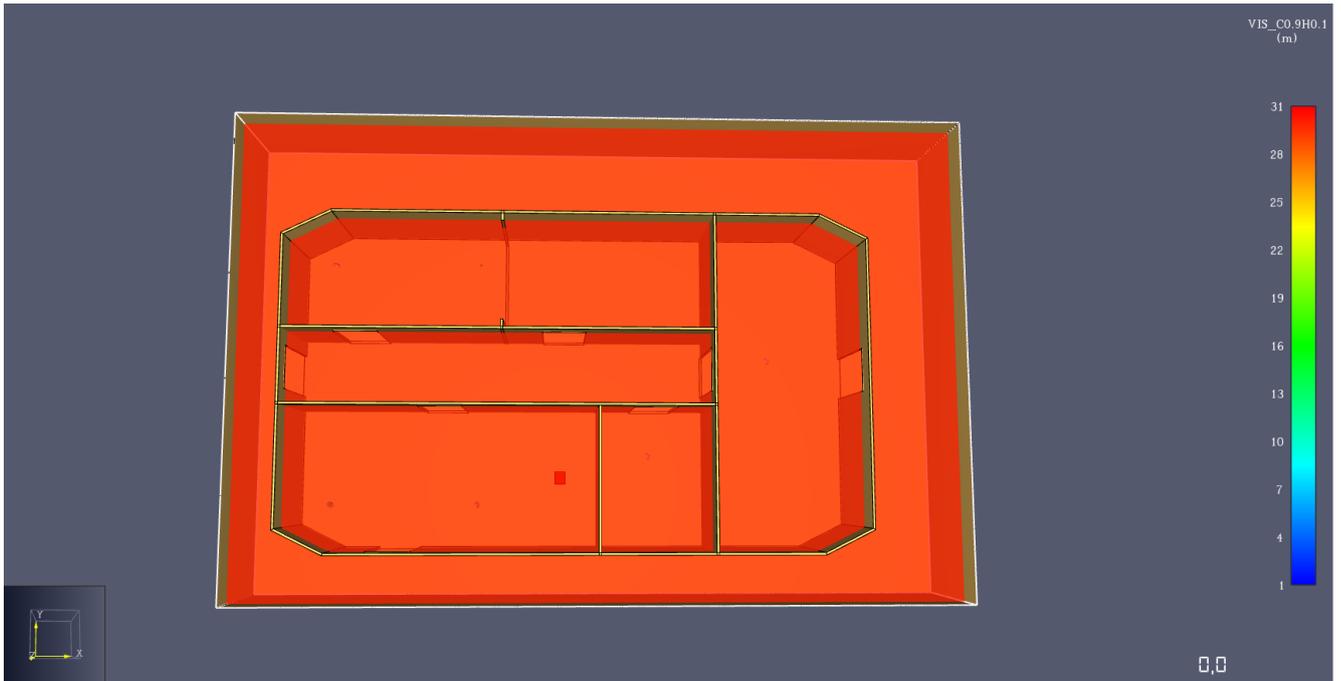


Ilustración AII -18. Reducción de la visibilidad a los 0s.

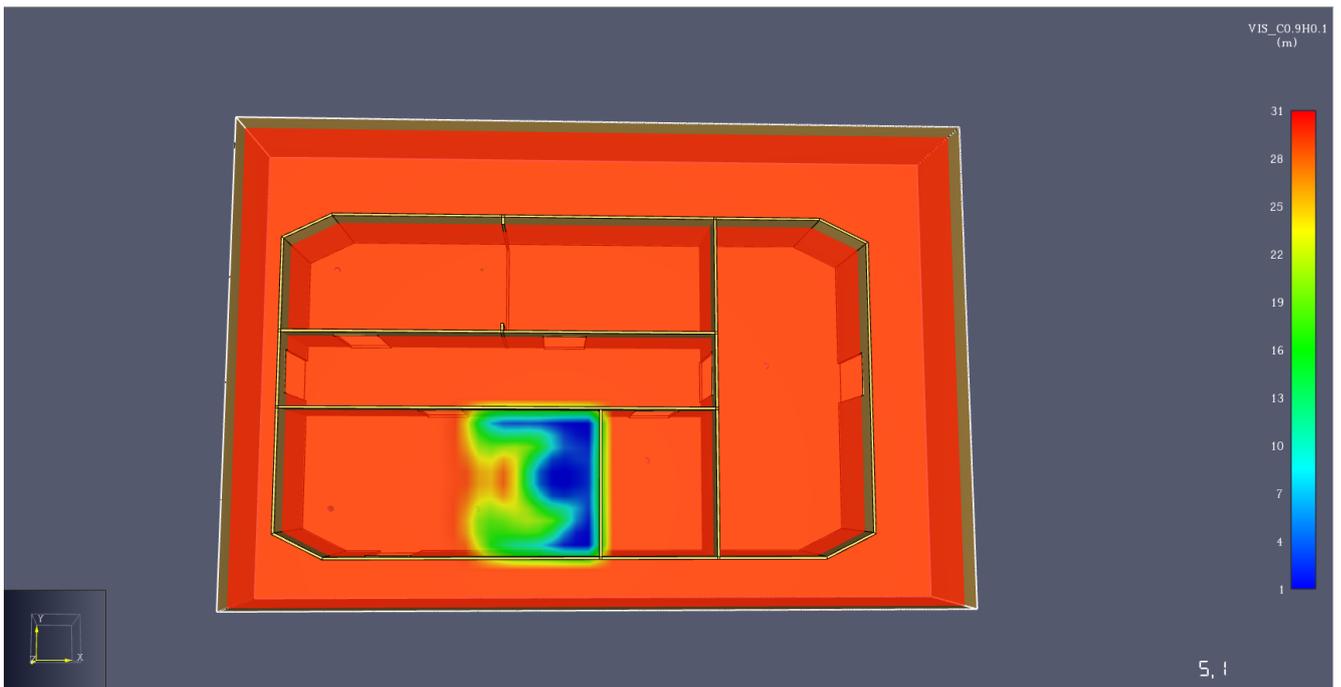


Ilustración AII -19. Reducción de la visibilidad a los 5s.

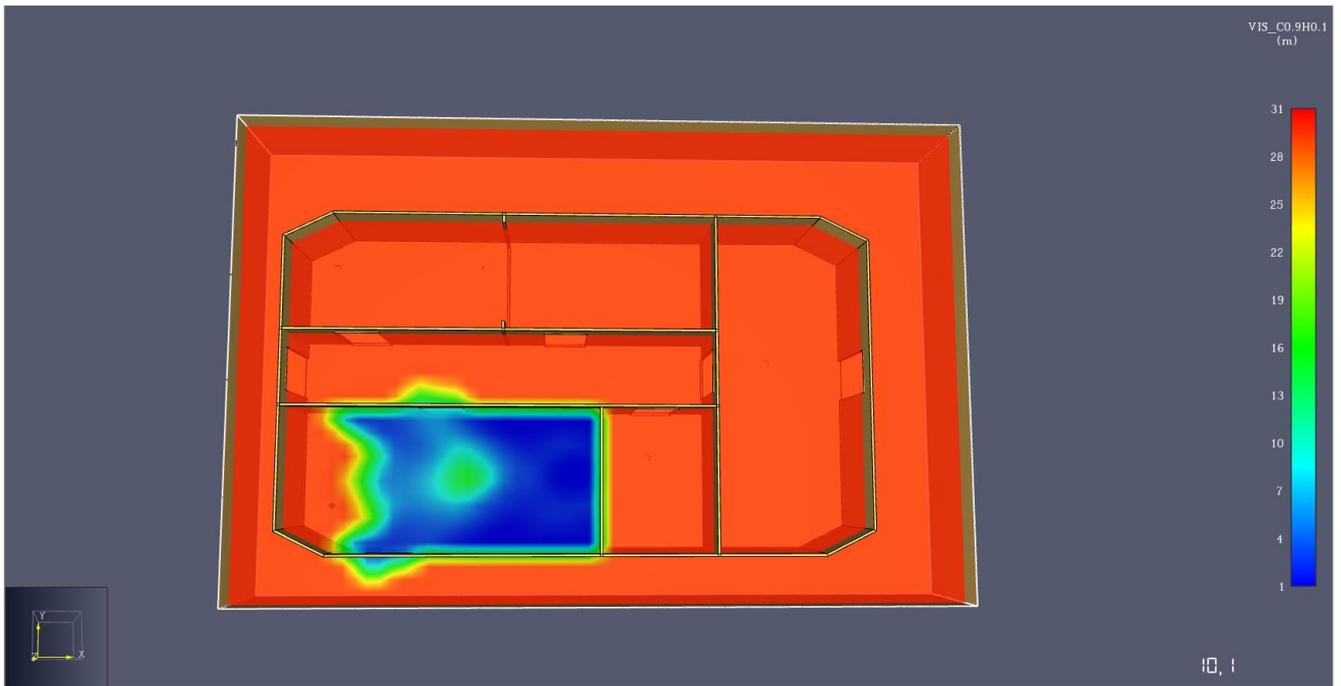


Ilustración AII -20. Reducción de la visibilidad a los 10s.

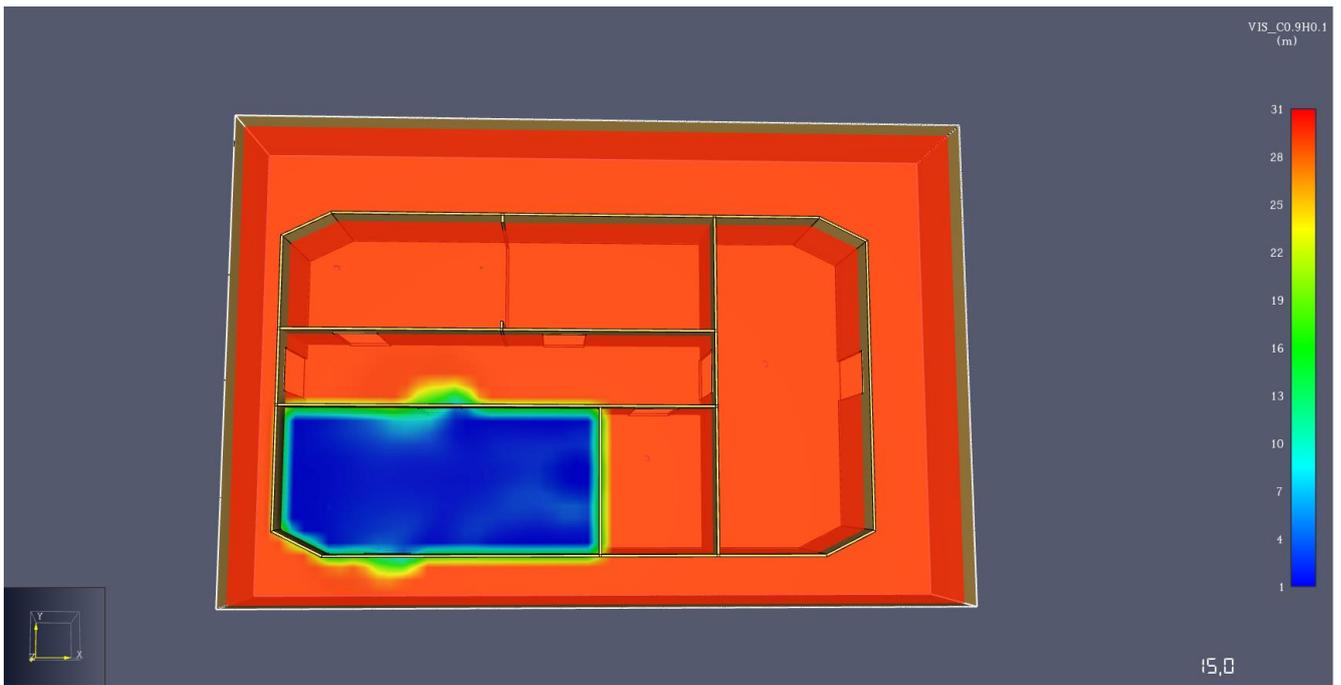


Ilustración AII -21. Reducción de la visibilidad a los 15s.

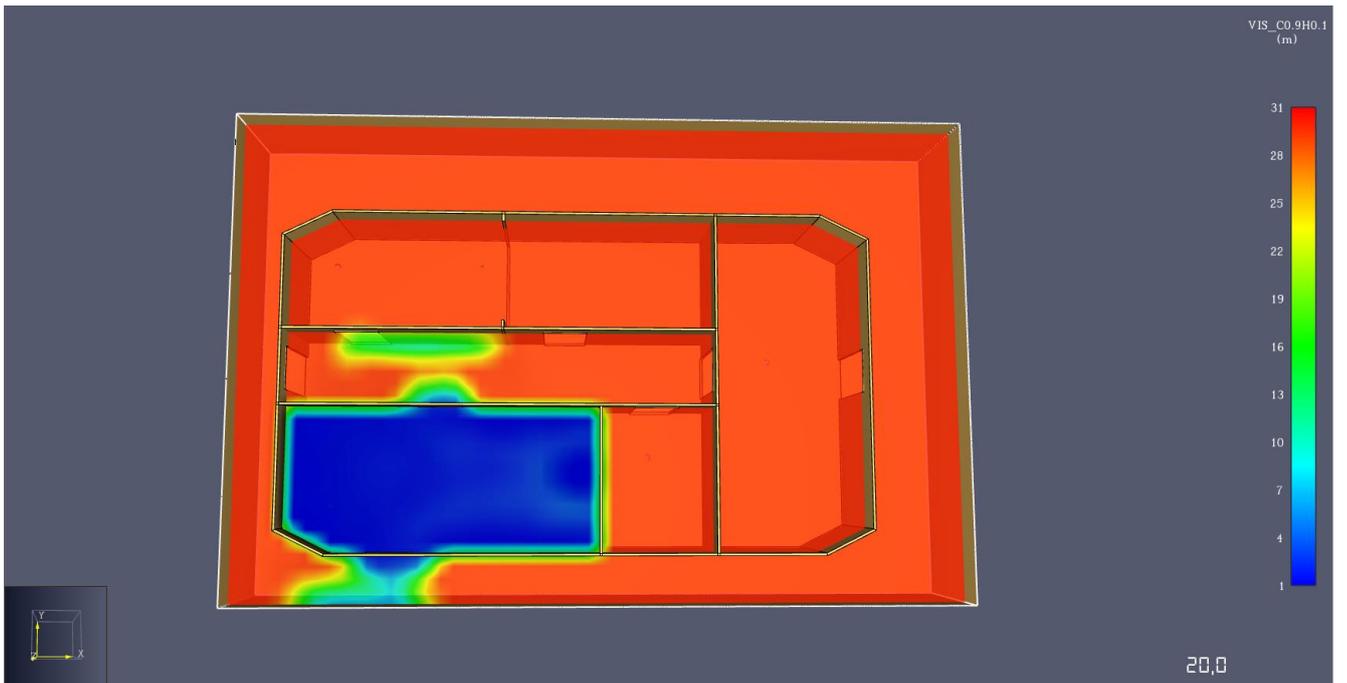


Ilustración AII -22. Reducción de la visibilidad a los 20s.

Gráficas de los botes de humo del **compartimento de babor**.

Gráficas de la **visibilidad**.

Abierto:

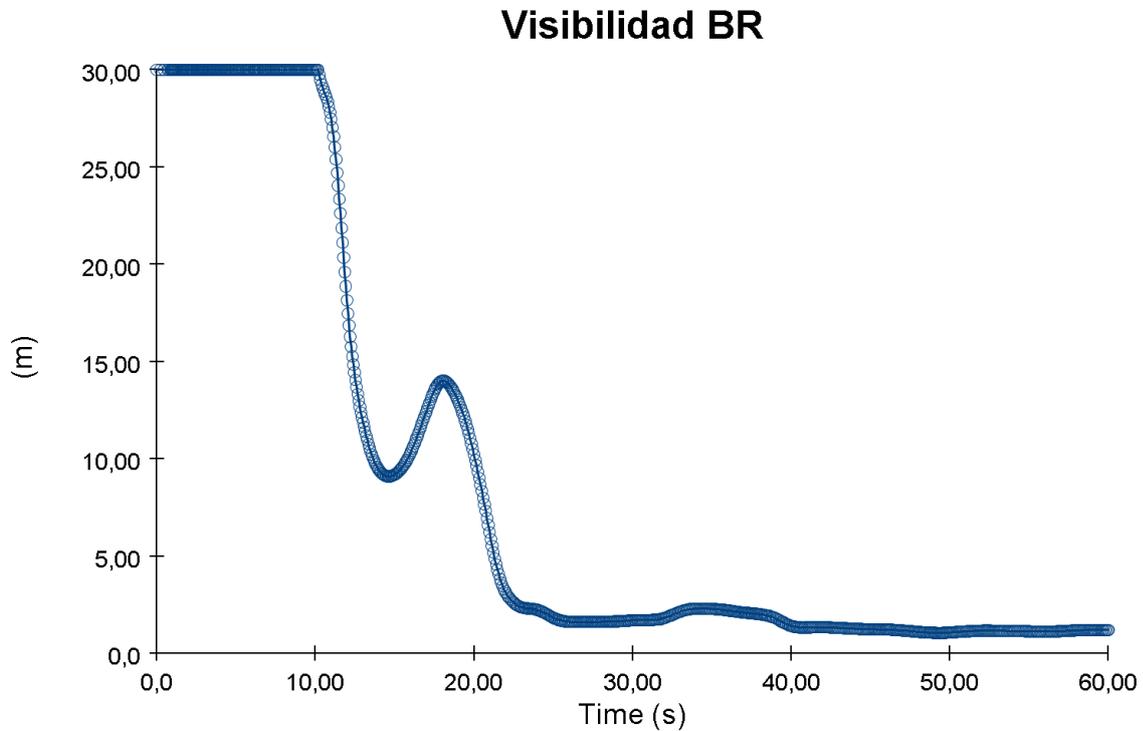


Ilustración AII -23. Reducción de la visibilidad del compartimento de babor abierto.

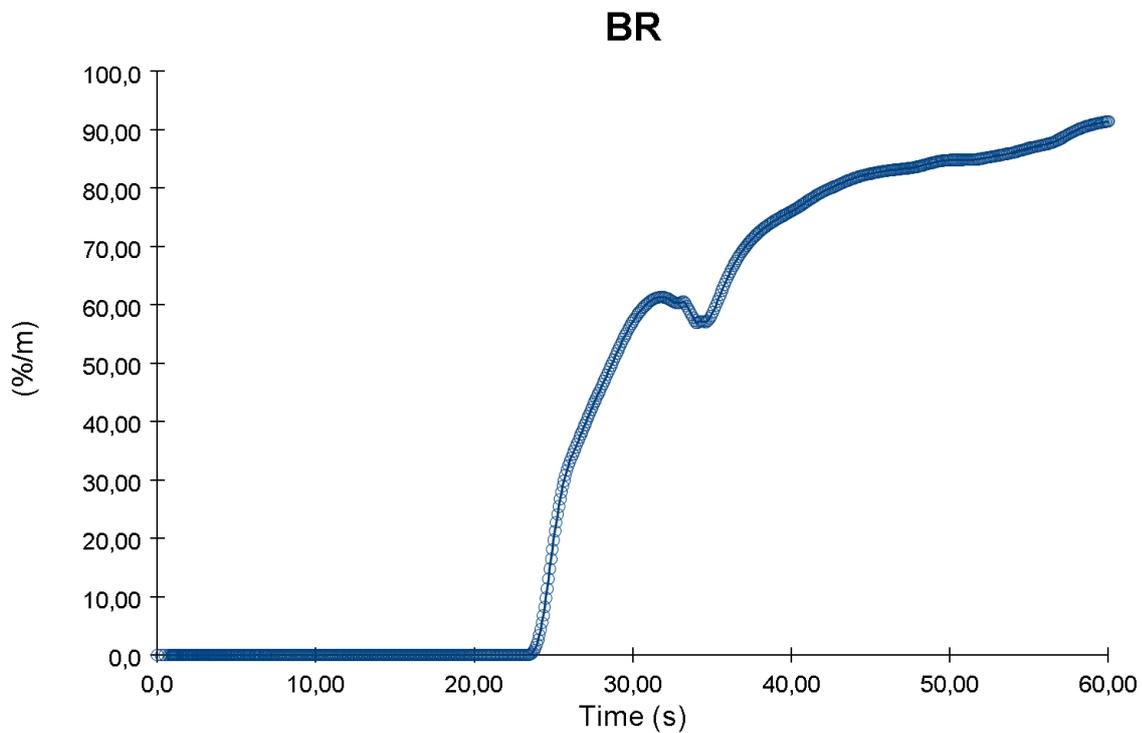


Ilustración AII -24. Concentración de humo en el compartimento de babor abierto.

Cerrado:

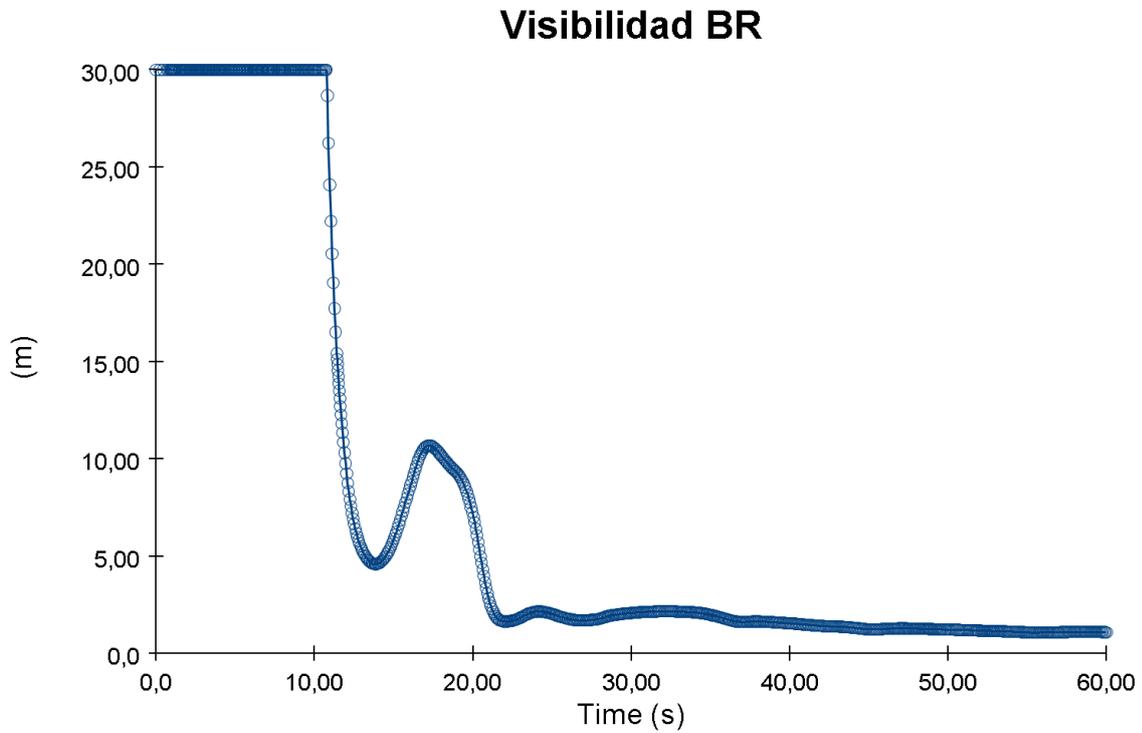


Ilustración AII -25. Reducción de la visibilidad del compartimento de babor cerrado.

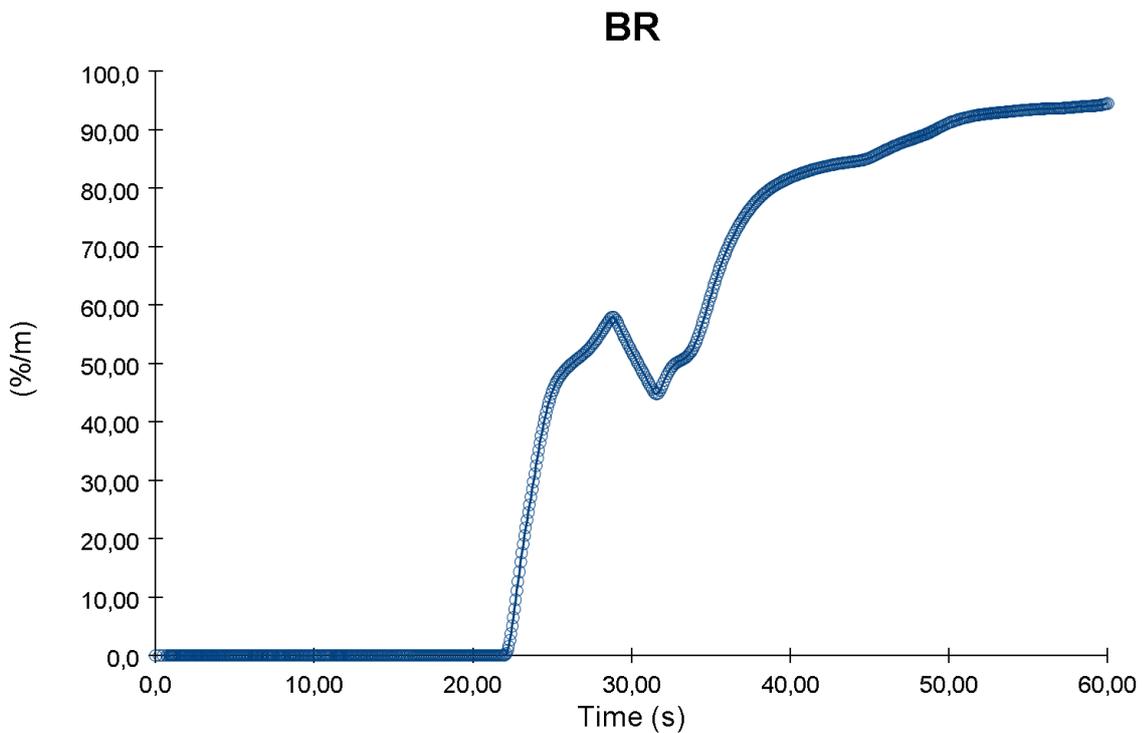


Ilustración AII -26. Concentración de humo en el compartimento de babor cerrado.

Desarrollo de la incidencia del **compartimento de babor:**

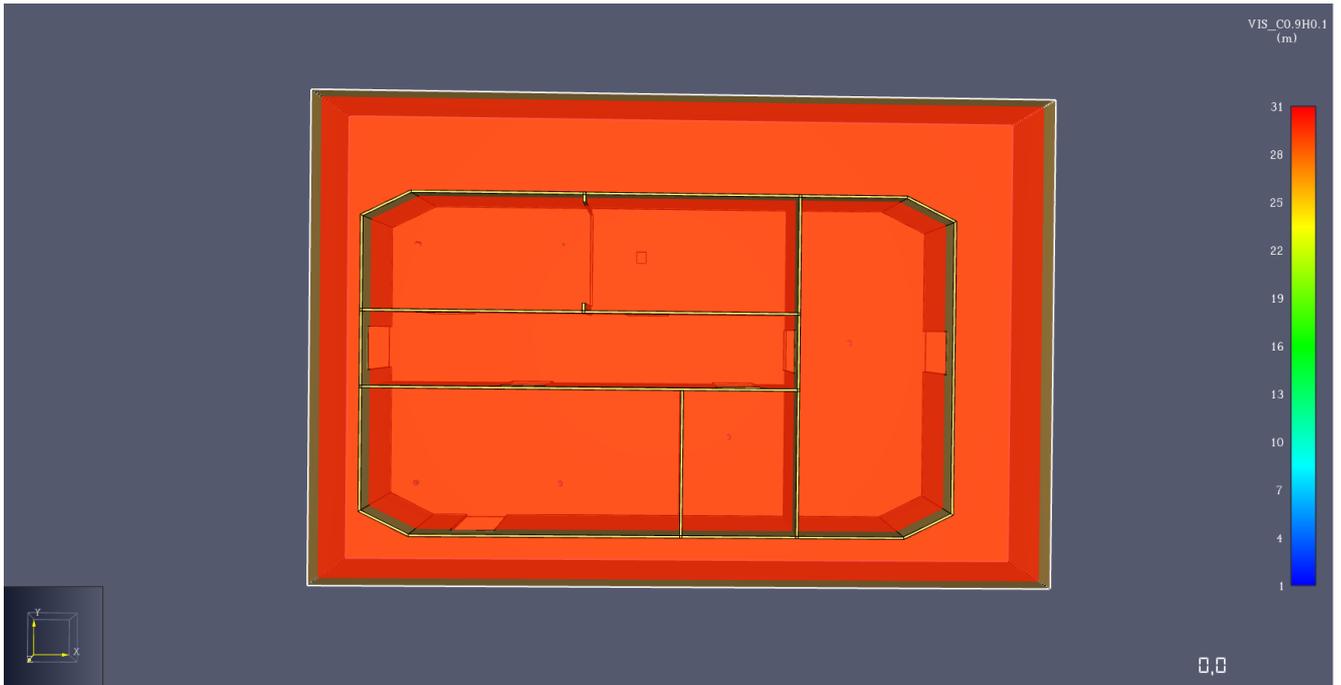


Ilustración AII -27. Reducción de la visibilidad a los 0s.

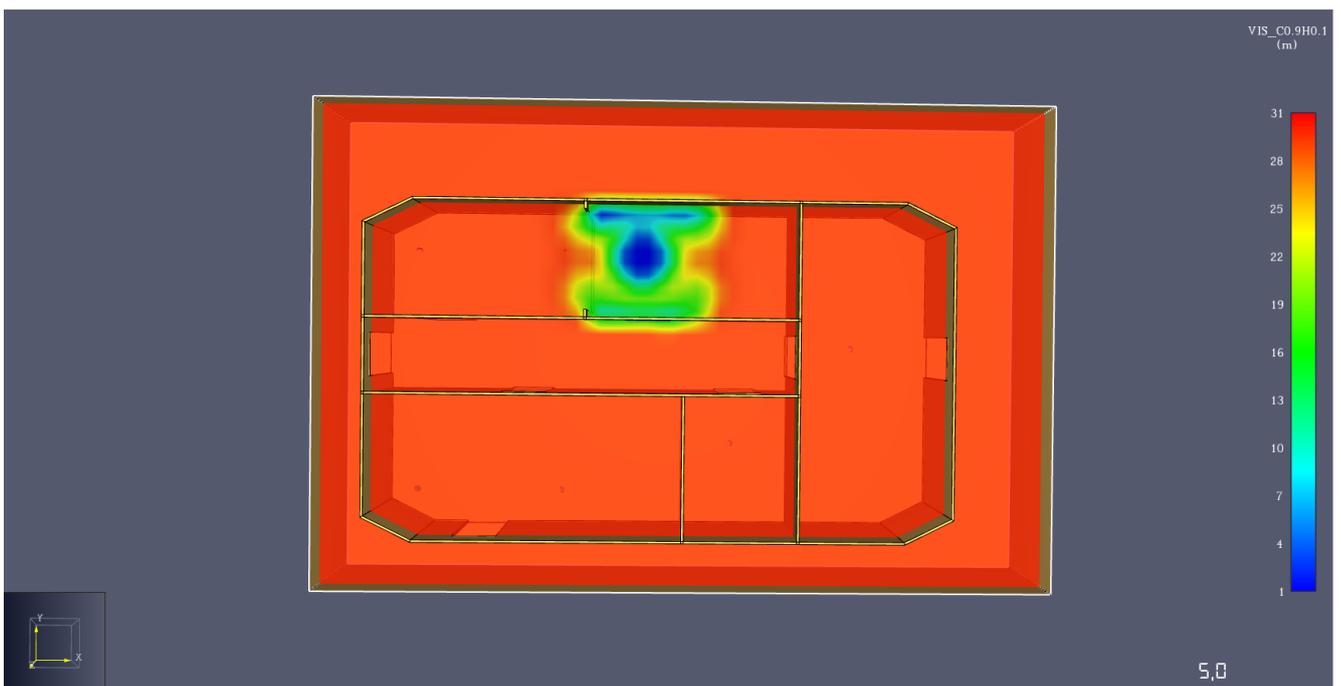


Ilustración AII -28. Reducción de la visibilidad a los 5s.

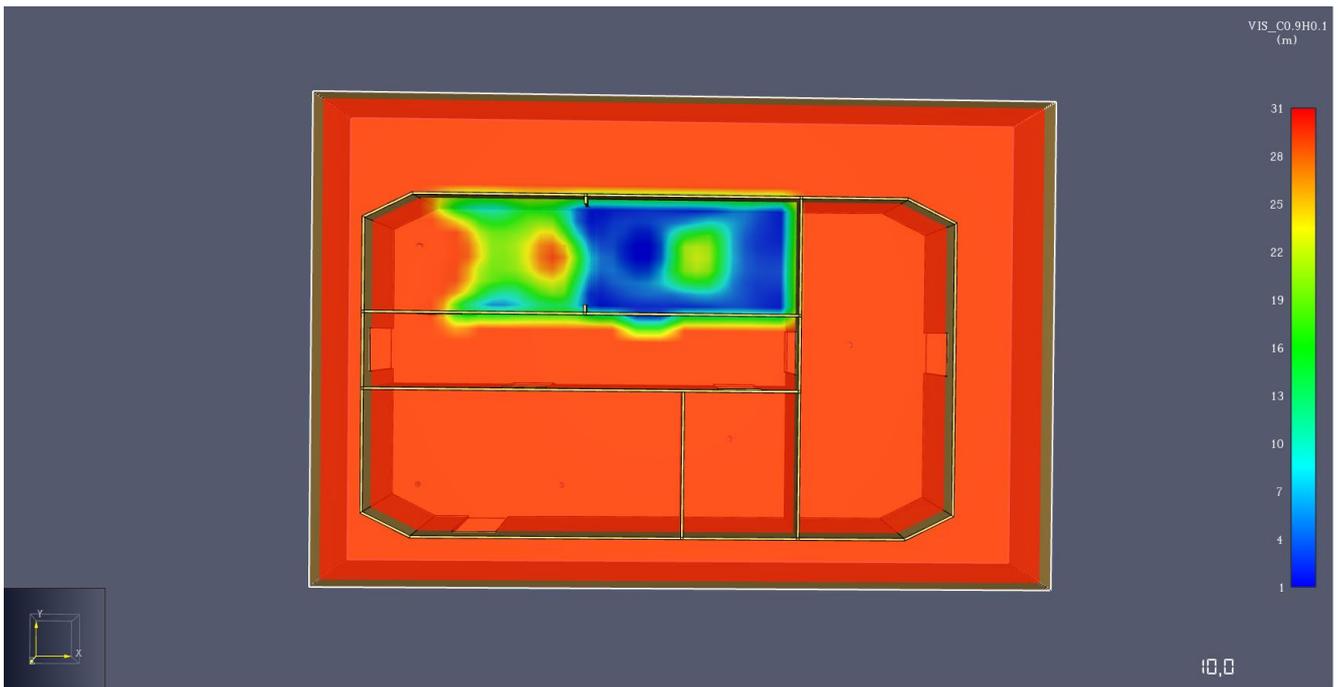


Ilustración AII -29. Reducción de la visibilidad a los 10s.

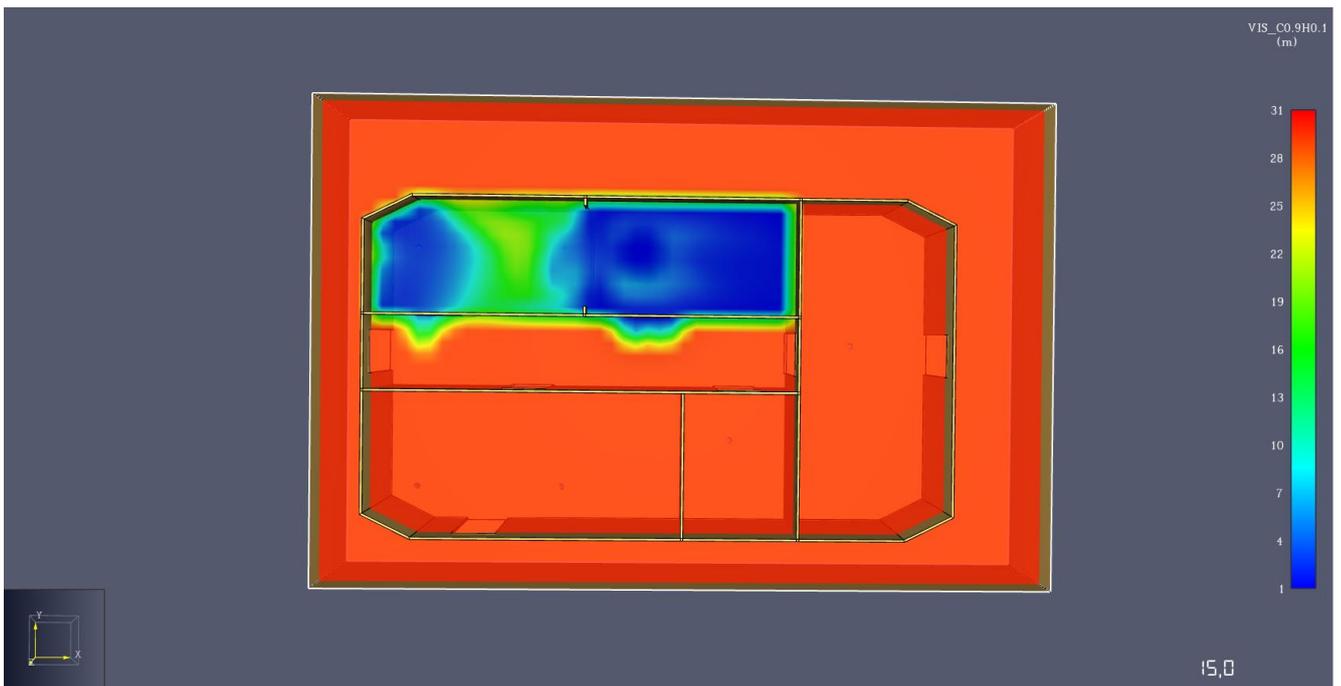


Ilustración AII -30. Reducción de la visibilidad a los 15s.

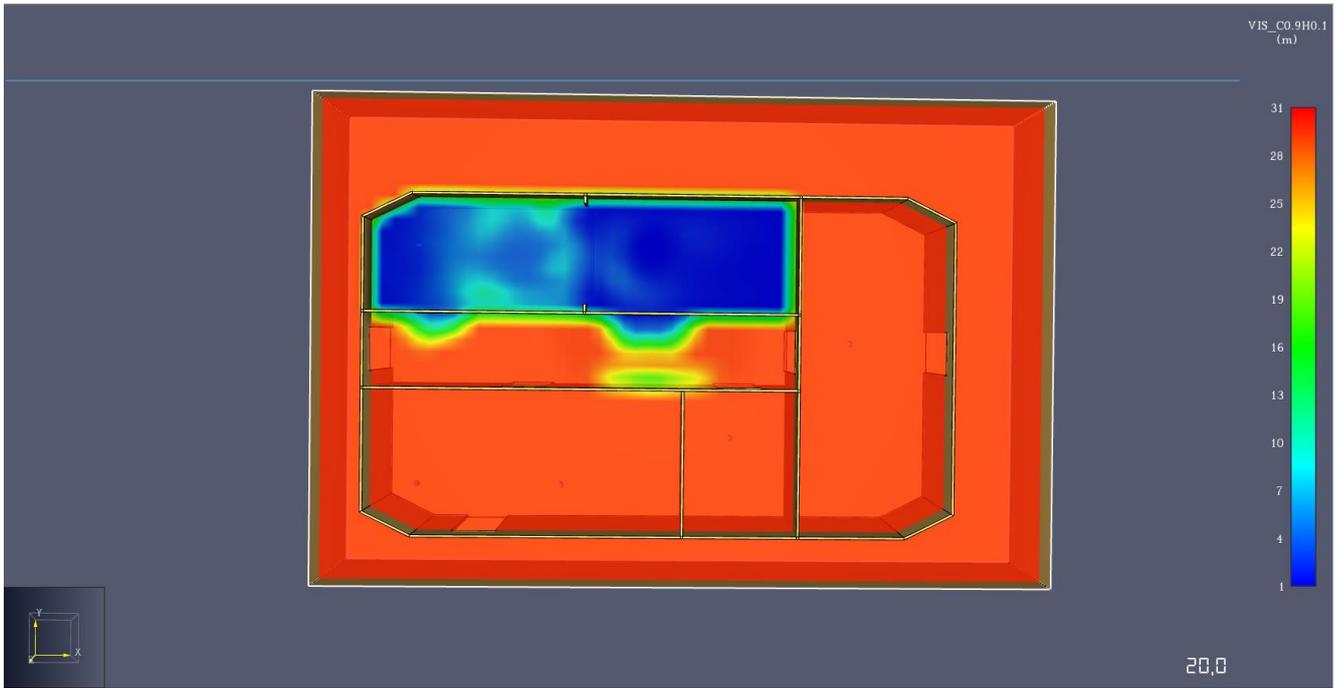


Ilustración AII -31. Reducción de la visibilidad a los 20s.

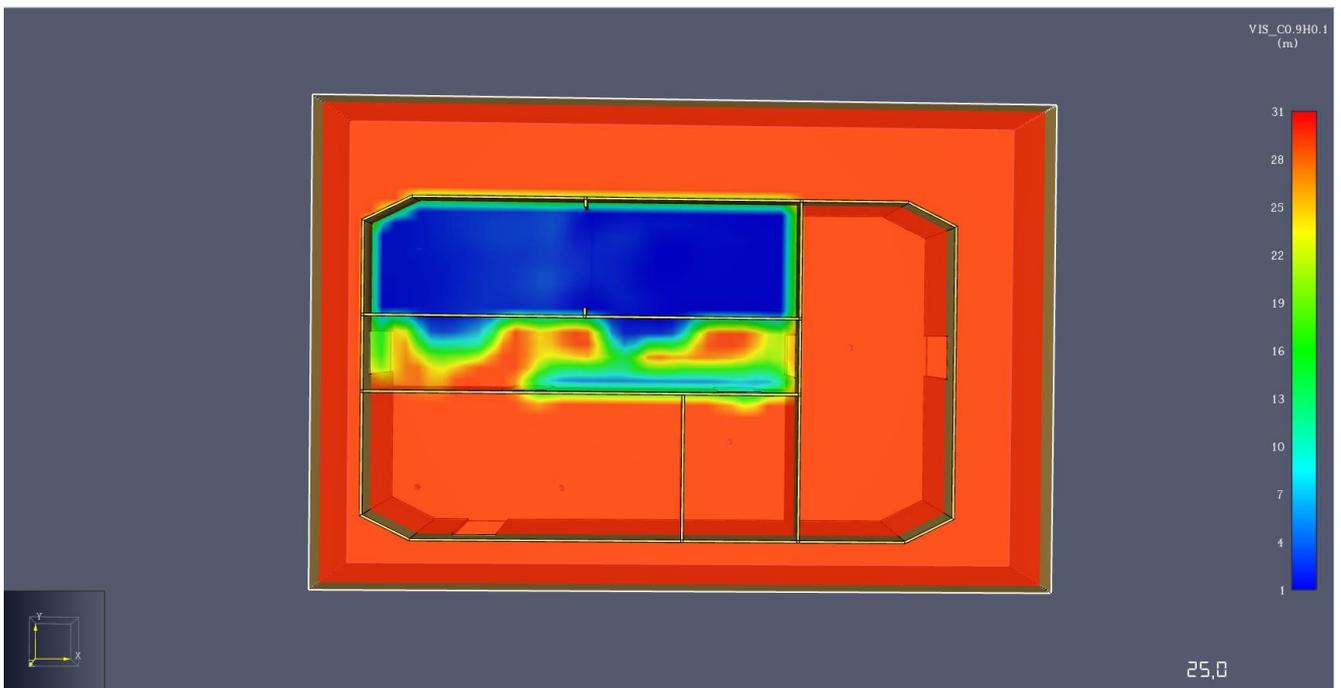


Ilustración AII -32. Reducción de la visibilidad a los 25s.

ANEXO III: PLANOS DEL CASI.

Planos proporcionados por el personal del CASI, las medidas se corresponden a los actuales pero las superestructuras presentan cambios. La superestructura actual es la realizada en el modelo de Pyrosim.

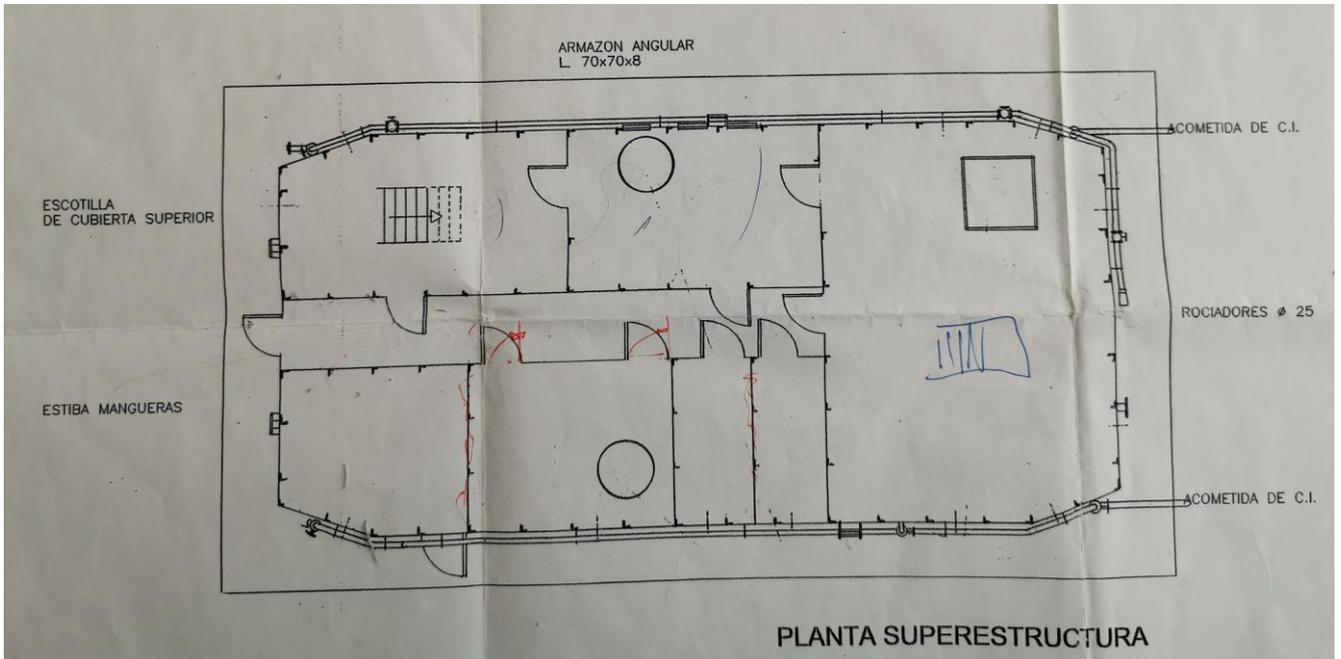


Ilustración AIII-1. Planta de la superestructura de incendios del CASI.

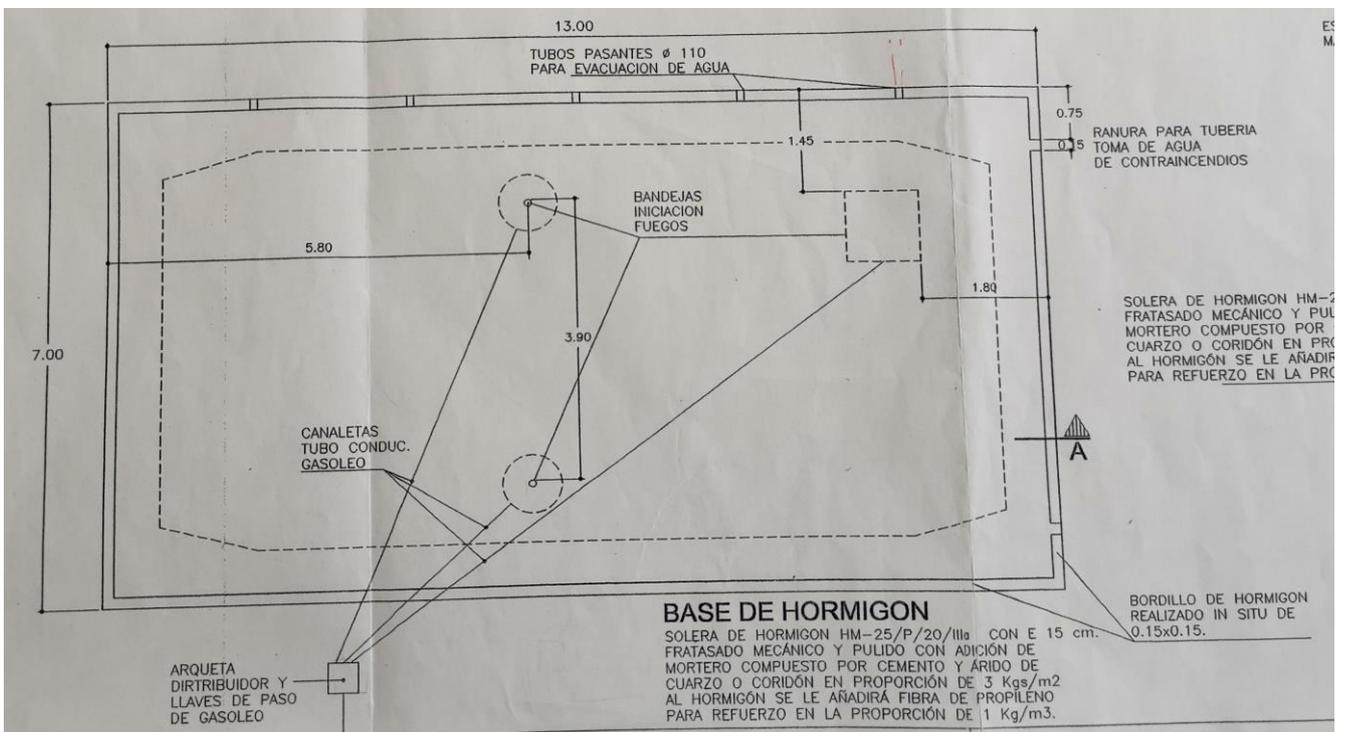


Ilustración AIII -2. Situación de las parrillas.

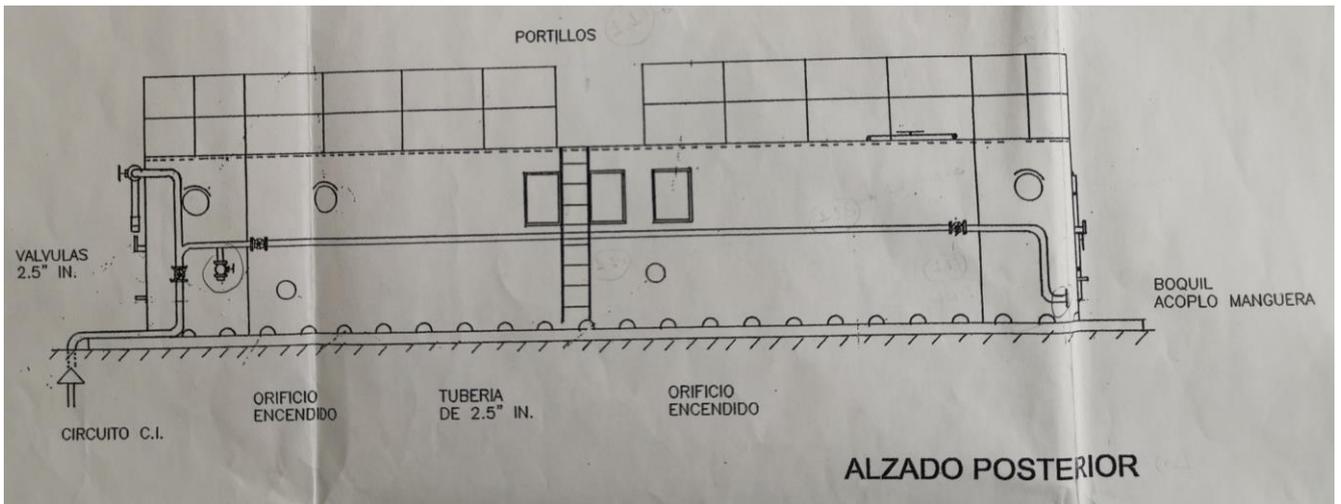


Ilustración AIII -3. Alzado posterior de la superestructura del CASI.

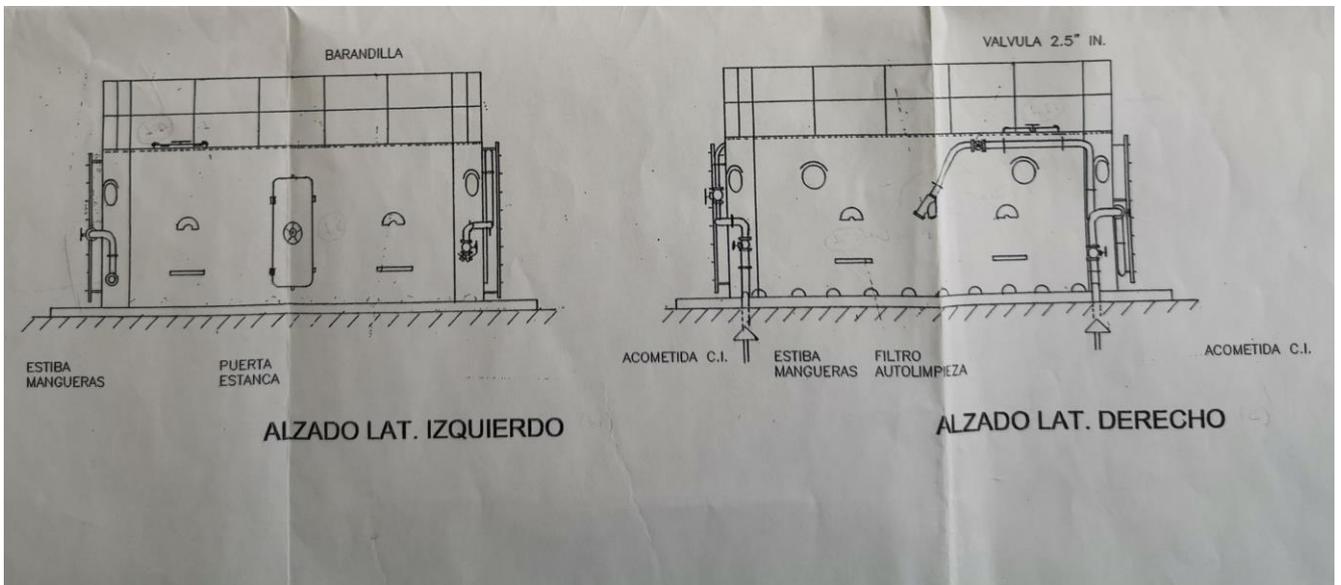


Ilustración AIII -4. Alzados laterales.

Modelo realizado en Pyrosim:

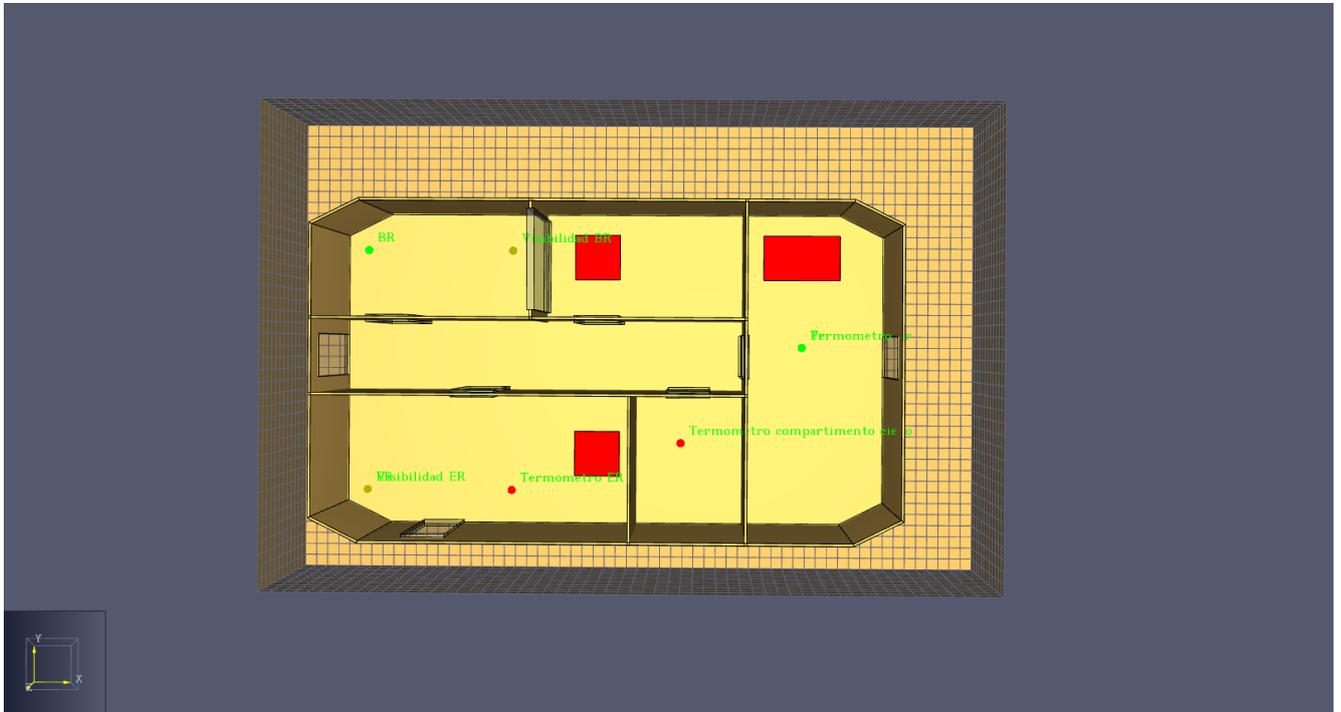


Ilustración AIII -5. Planta y disposición de las parrillas de la superestructura.

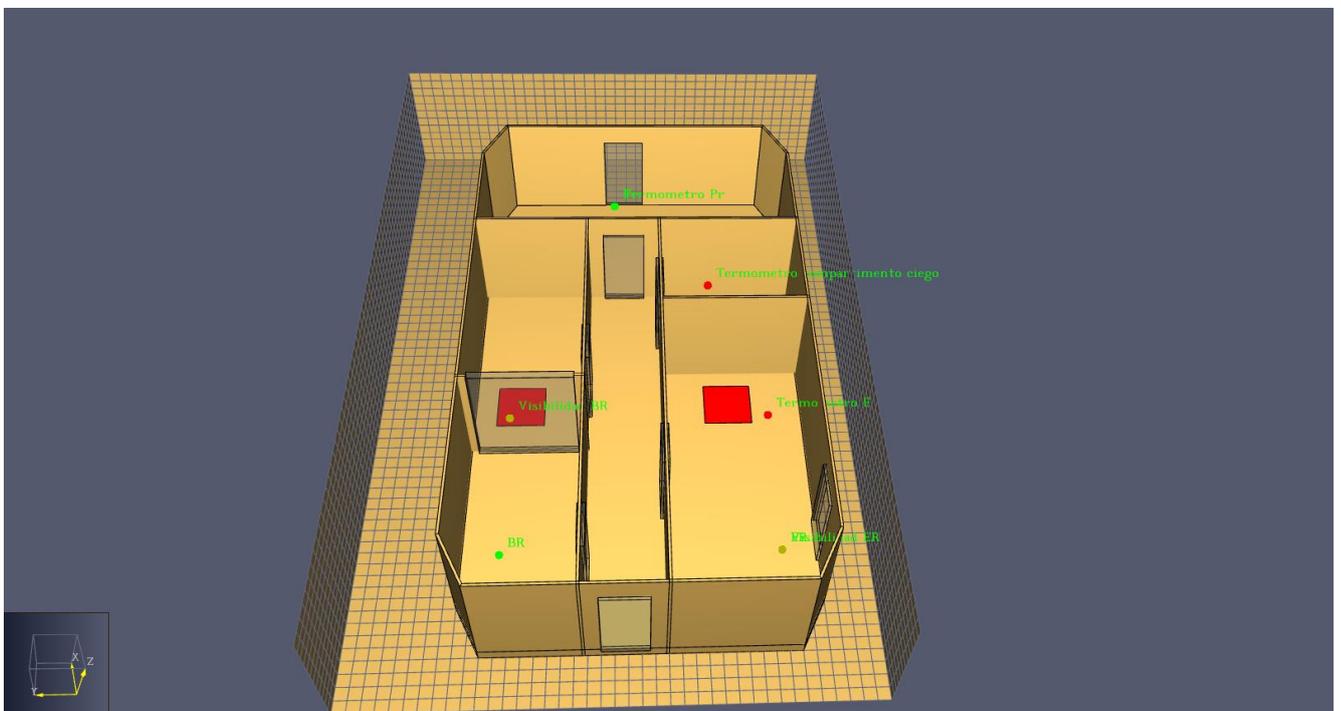


Ilustración AIII -6. Proyección del modelo de la simulación.

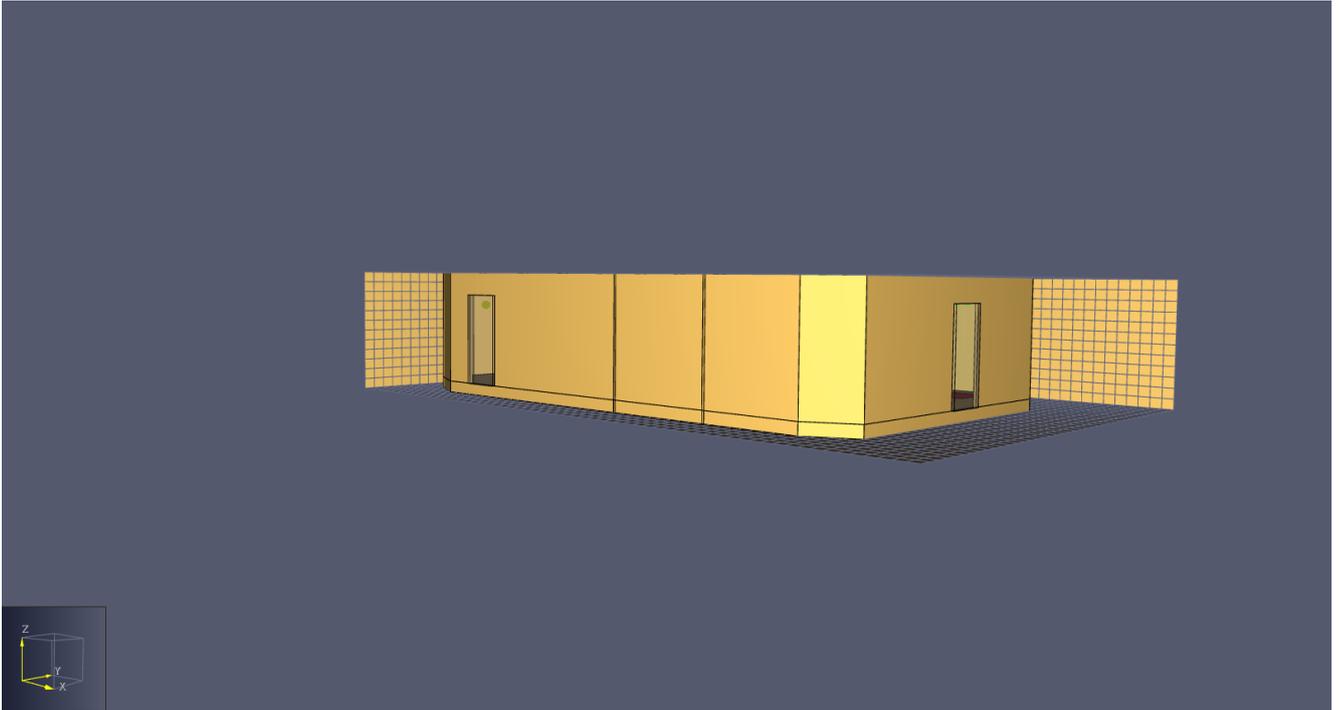


Ilustración AIII -7. Vista lateral del modelo.

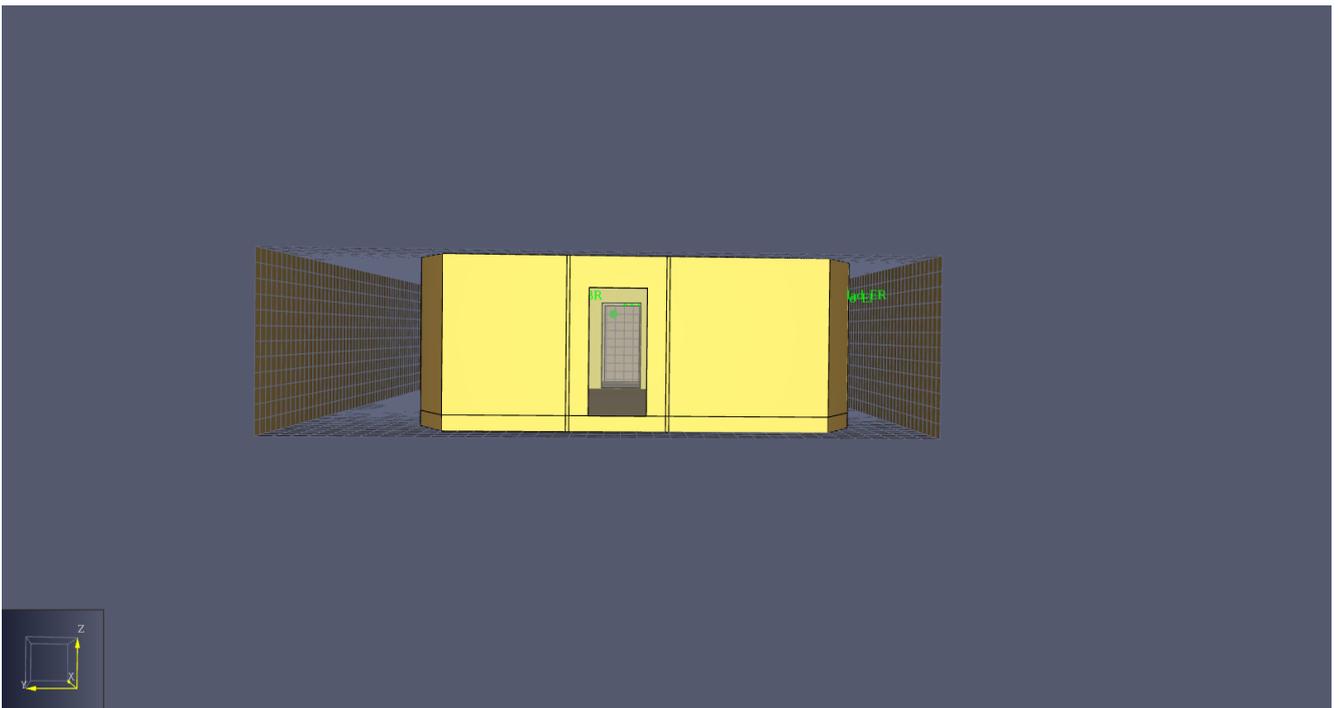


Ilustración AIII -8. Alzado lateral del modelo.