



Universidad Politécnica de Cartagena

PERITACIÓN
TÉCNICA DE
ACCIDENTES.
EMBARCACIÓN DE
RECREO.
INCENDIO Y
HUNDIMIENTO DE
LA EMBARCACIÓN
“BARBA”

INGENIERÍA TÉCNICA NAVAL.

Autor: Ignacio Jesús Moreo López
2013/2014



Índice

Introducción	3
Parte A. Aspectos Teóricos. Metodología	4
1. Conceptos y variables	4
1.1. El fuego	4
1.1.1. Secuencia del fuego en un local	10
1.2. Causas del fuego a bordo	12
1.2.1. Combustible inicial	12
1.2.2. Clasificación de las causas de un incendio	12
1.2.3. Fuente y tipo de calor de ignición	13
1.2.4. Fuentes de calor químicas	13
1.2.5. Materiales afectados por la ignición espontánea	14
1.2.6. Fuentes de calor eléctricas	15
1.2.6.1. Equipos y circuitos eléctricos defectuosos	16
1.2.6.2. Reemplazo de piezas y equipo	16
1.2.6.3. Cableado y fusibles	17
1.2.6.4. Fuentes de calor químicas	17
1.2.6.5. Contacto con bombillas	18
1.2.6.6. Motores eléctricos	18
1.2.6.7. Salas de máquinas	20
1.2.7. Fugas de combustible	20
1.2.8. Sentinas	20
1.2.9. Calor por energía mecánica	20
1.2.10. Líquidos inflamables y combustibles	21
1.2.11. Gases combustibles	22
1.3. Conceptos básicos sobre electricidad e incendios eléctricos	23
1.3.1. Introducción	23
1.3.2. Conceptos básicos	23
1.3.3. Unidades	24
1.3.4. Efectos de la electricidad	24
1.3.5. Examen de incendios de origen eléctrico	25
1.3.6. Fallos en el cableado	25
1.3.6.1. Pruebas y causas	25
1.3.6.2. Arcos y chispas	25
1.3.6.3. Conexiones sobrecalentadas	28
1.3.6.4. Cables sobrecalentados	29
1.3.6.5. Efecto de los fallos eléctricos en los cables eléctricos	29
1.3.7. Condiciones de sobrecalentamiento o sobrecarga	30



2. Actores e instrumentos legales que intervienen en este tipo de incidentes marítimos	33
3. La investigación de accidentes	34
3.1. Recolección de información	34
3.2. Análisis de datos	35
3.2.1. El análisis secuencial	35
3.2.2. El análisis por cambios	36
3.3. Conclusión o síntesis	37
3.4. Recomendaciones	37
3.5. Código para la investigación de accidentes marítimos e incidentes (CIMC, OMI)	37
4. Metodología utilizada. Justificación	40
4.1. Método del árbol de causas	40
4.2. Método del análisis de la cadena causal	42
4.3. Método SCRA: Síntoma-Causa-Remedio-Acción	43
4.4. Método del diagrama de Ishikawa	44
4.5. Método utilizado y justificación	45
4.5.1. Contenido de los informes de investigación de seguridad marítima	45
Parte B. Aplicación. Estudio del caso	48
5. Génesis y caracterización del buque	48
6. Descripción del suceso	53
6.1 Daños sufridos	55
6.2. Meteorología	55
7. Investigación del accidente	61
8. Secuencia cronológica el accidente y análisis de variables	70
Parte C. Informe. Valoración y conclusiones	77
9. Informe técnico	77
Parte D. Bibliografía y fuentes documentales	89
Apéndice I: Acta de reflotamiento del buque Barba	90
Apéndice II: Oficio de hundimiento del buque Barba	91
Agradecimientos	92



Introducción.

El presente proyecto pretende ser un informe sobre el accidente y hundimiento de la embarcación Barba en el Mar Menor el 8 de Agosto de 2013.

En primer lugar se darán unos conceptos básicos sobre incendios así sobre los elementos y agentes que se encargan o de alguna manera influyen en su posterior investigación, además de las diversas maneras de llevar a cabo esa investigación. También se dan unos conceptos sobre incendios eléctricos.

Posteriormente en base al testimonio de los testigos y a las pruebas obtenidas después del accidente se realizará un informe que tendrá por intención esclarecer que provocó el accidente.



Figura 1: Buque de recreo Baja 290, del mismo tipo que el Barba.



Parte A. Aspectos teóricos. Metodología.

1. Conceptos y variables.

1.1 El fuego.

El fuego es un proceso químico complejo, y los investigadores de incendios tienen que entender los conceptos físicos y químicos básicos involucrados para poder formular opiniones basadas en estos principios. No ser capaz de explicar los aspectos técnicos del comportamiento del fuego podría desembocar en que un investigador no pudiera analizar de forma precisa la causa, origen y progreso de un incendio.

Para entender este proyecto, así como cualquier evento relacionado con el fuego, el primer concepto que debe comprenderse es el de triángulo del fuego. El proceso de difusión de una llama (fuego) depende de seis elementos básicos. Estos elementos son el calor de entrada (calor inicial), el combustible, el oxígeno, la proporción, la mezcla y la continuidad de la ignición. Todos estos elementos son esenciales tanto para el inicio como la continuación del proceso de combustión y difusión de la llama. Los tres primeros elementos –calor, combustible y oxígeno- se representan en el triángulo del fuego.



Figura 2: Triángulo del fuego



De forma más reciente la reacción de combustión ha empezado a ser descrita de forma más precisa como tetraedro del fuego. Las cuatro caras representan el calor, el combustible el oxígeno y la reacción en cadena espontánea.

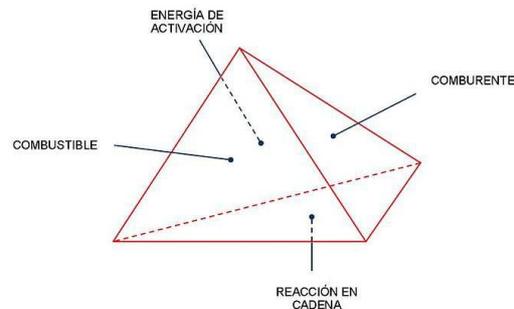


Figura 3: Tetraedro del fuego

Elemento 1: Calor inicial.

Los materiales líquidos o sólidos no arden. Para que la combustión comience, estos materiales tienen que calentarse lo suficiente para que se produzcan vapores. Son estos vapores los que arden en realidad. La temperatura más baja a la que un material comienza a producir vapores suficientes como para comenzar a arder en condiciones de laboratorio es lo que se conoce como punto de inflamación. Unos pocos grados por encima del punto de inflamación es el punto de llama, la temperatura a la cual el combustible continúa produciendo vapor de forma suficiente para mantener la llama. La temperatura a la que los vapores comienzan a arder se conoce como temperatura de ignición, algunas veces temperatura de auto-ignición. Si la fuente de calor es una llama o un chispazo, se define como ignición inducida. Por ejemplo la gasolina tiene un punto de inflamación de -42.8°C y una temperatura de ignición de 280°C . Esto significa que a una temperatura igual o superior a -42.8°C la gasolina producirá suficientes vapores para empezar a arder en presencia de una llama, chispazo o cualquier fuente de calor con temperatura igual o superior a 280°C .

Elemento 2: Combustible.

Inicialmente el combustible puede estar en forma de gas, líquido o sólido a temperatura ambiente. Como hemos expuesto anteriormente, los combustibles líquidos y sólidos deben estar a una temperatura suficiente para producir vapores. En términos generales, combustible significa ser capaz de arder, normalmente expuesto a aire en condiciones normal de presión y temperatura, mientras que inflamable se define como la capacidad de arder en presencia de una llama. No debemos confundir los términos inflamable y combustible. Los líquidos inflamables son aquellos que tienen un punto de inflamación por debajo de los $37,8^{\circ}\text{C}$ tales como la gasolina, acetona y alcohol etílico. Los líquidos combustibles son aquellos cuyo punto de inflamación está por encima de los $37,8^{\circ}\text{C}$, tales como el queroseno o el diésel.



Elemento 3: Oxígeno.

La fuente primaria de oxígeno es normalmente la atmósfera, que contiene aproximadamente un 20,8% de oxígeno. Una concentración de al menos 15 o 16 por ciento es necesaria para que una combustión sea continua, mientras que la carbonización o pirolisis pueden ocurrir en condiciones de hasta el 8% de oxígeno. Se define la pirolisis como la transformación de un compuesto en una o más sustancias únicamente bajo efecto del calor. Mientras que la atmósfera es normalmente la fuente principal de oxígeno, ciertos químicos, llamados oxidantes, pueden ser también una fuente primaria o secundaria. Algunos ejemplos serían el nitrato de amonio y el cloro.

Elementos 4 y 5: Mezcla y proporción.

La mezcla y proporción son reacciones que deben ser continuas en orden de continuar y propagar el fuego. Los vapores de combustible y el oxígeno deben estar mezclados en una correcta proporción. Estas mezclas de oxígeno y combustible se dirá que están entre los límites explosivos o inflamables. Los límites explosivos o inflamables se representan según la concentración (porcentaje) de vapores de combustibles en el aire. Una mezcla que contiene vapores combustibles en una cantidad menor a la necesaria para que ocurra la ignición es muy falta, mientras que una mezcla con una muy alta concentración de vapores combustibles será muy rica. La concentración más baja a la que la mezcla puede llegar a arder se conoce como Límite Inferior de Explosividad (LIE), mientras que la más alta se conoce como Límite Superior de Explosividad (LSE).

Por ejemplo, los límites explosivos o inflamables para el propano van de 2,15 (LIE) a 9,6 (LSE). Esto significa que cualquier mezcla de propano y aire entre 2,15 y 9,6 % arde si se expone a una llama chispa o fuente de calor cuya temperatura sea igual o superior a su temperatura de ignición (493.3°C-604.4°C).

Otra característica importante de los gases es la densidad de vapor –el peso de un volumen de un gas dado con respecto a un mismo volumen de aire seco, donde al peso del volumen de aire se le da el valor 1,0. Una densidad de vapor de menos de 1,0 significa que el gas es más ligero que el aire y que por tanto va a tender a subir en una atmósfera relativamente calmada, mientras que una densidad de vapor superior a 1,0 significa un peso superior al del aire y que por tanto hará que el vapor esté a nivel del suelo.

Elemento 6: Continuidad de la Ignición.

La continuidad de la ignición es la retroalimentación térmica del combustible al fuego. El calor se transfiere por conducción, convección, radiación y contacto directo con la llama. La conducción es la transferencia de calor por contacto directo a través de un cuerpo sólido. Por ejemplo, en una olla, el calor se conduce del recipiente a su contenido. La madera es normalmente un mal conductor del calor, y los metales son buenos conductores. Puesto que la mayoría de los buques están contruidos de metal, la transferencia de calor por conducción es un peligro potencial. El fuego se puede mover de una bodega a otra, de una cubierta a otra y de un compartimento a otro vía la conducción de calor.



La conducción es la transferencia de calor causada por cambios en la densidad de líquidos y gases. Es el método más común de transferencia de calor; cuando los líquidos o gases son calentados se vuelven menos densos y se expanden y suben.

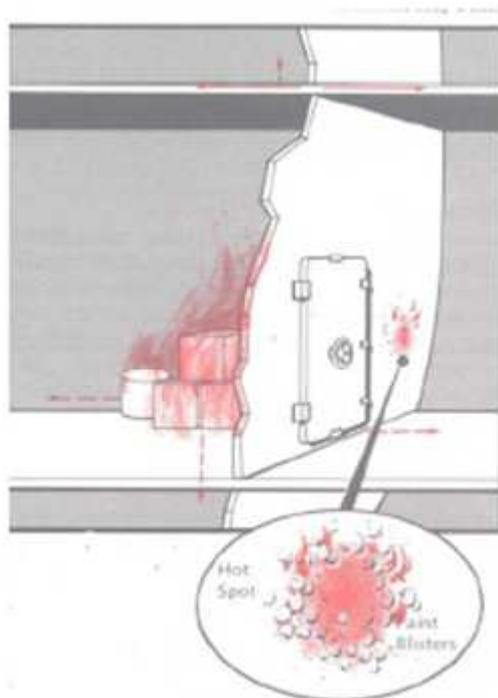


Figura 4: Conducción.

La convección es la transferencia de calor a través del movimiento de materia caliente, por ejemplo, a través del movimiento del humo, aire caliente, gases calientes producidos por el fuego y ascuas flotantes.



Figura 5: Convección.



Cuando se está confinado (como por ejemplo en un buque), el calor de convección se mueve en rutas predecibles. El fuego produce gases más ligeros que el aire que suben a las partes altas del buque. El aire caliente, que es más ligero que el aire frío, también sube, igual que lo hace el humo de la combustión. Cuando estos productos calientes de la combustión suben, el aire frío ocupa su lugar; el aire frío es calentado entonces y sube al punto más alto que puede alcanzar. Mientras el aire caliente y los gases surgen del fuego, empiezan a enfriarse; al hacerlo, bajan para ser recalentados y subir de nuevo. Esto es el ciclo de convección.

El calor originado en un fuego en una cubierta inferior viajará horizontalmente por los pasillos, y hacia arriba vía escaleras y aberturas de escotilla. Esto encenderá materiales inflamables en su ruta. Para prevenir la expansión del fuego, el calor, el humo y los gases deberán ser liberados a la atmósfera. Sin embargo el diseño estructural de un buque hace casi imposible cerrar rápidamente las escotillas a través de cubiertas, mamparos o del casco para ventilación. Así, es imperativo que el fuego sea confinado a un área lo más pequeña posible.

La transferencia de calor por radiación es comúnmente menos entendida o apreciada que la conducción o la convección. La radiación es la transferencia de calor mediante radiación infrarroja (ondas de calor, como por ejemplo el Sol) la cual es generalmente invisible a simple vista.

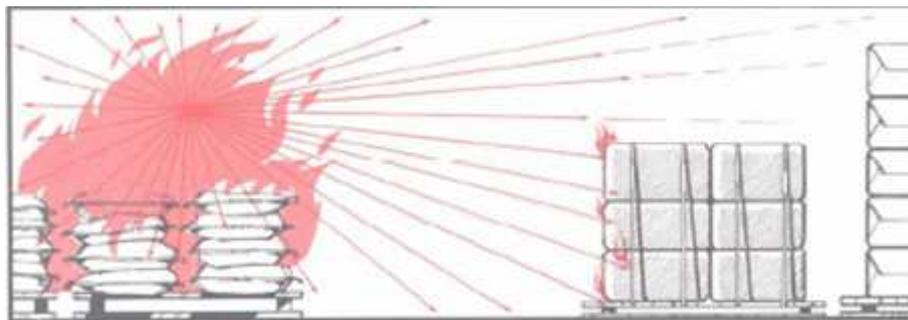


Figura 6: Radiación.

La radiación de calor es la transferencia de calor de una fuente a través de un espacio que se interpone; no hay sustancia material involucrada. El calor viaja del fuego de igual manera que la luz, esto es, en línea recta. Cuando contacta con un cuerpo, es absorbida, reflejada o transmitida. El calor absorbido aumenta la temperatura del cuerpo que lo absorbe. Por ejemplo, el calor radiante que es absorbido por un techo aumentará la temperatura de ese techo, pudiendo llegar a ser suficiente para hacer arder su pintura.

El calor se irradia en todas las direcciones a no ser que sea bloqueado. El calor radiante extiende el fuego calentando las sustancias combustibles en su camino, haciendo que produzcan vapor, y entonces inflamando ese vapor. En un buque, el calor radiante aumentará la temperatura de los materiales combustibles cercanos al fuego o, dependiendo del diseño del buque, a cierta distancia del fuego.



El contacto directo con la llama es una combinación de dos de los métodos básicos de transferencia de calor. Cuando los gases calientes de la llama entran en contacto con un combustible adicional, el calor se transmite a ese combustible por convección y radiación hasta que ese combustible empieza a producir vapores. Las llamas encienden entonces esos vapores.

La cantidad de calor generado se mide, como cualquier energía, en Julios, siendo un julio el trabajo realizado por una fuerza de 1 newton para desplazar 1 m en la dirección de la fuerza a un objeto cuya masa sea de 1 kg.

Los fuegos se clasifican por el tipo de material que está ardiendo. Los fuegos de tipo A son aquellos que involucran a materiales cotidianos como madera, tela, papel, goma, y algunos plásticos. Los fuegos tipo B involucran líquidos, grasas o gases inflamables/combustibles. Los fuegos de tipo C son los fuegos de equipos eléctricos. Los fuegos de tipo D involucran metales combustibles como el magnesio, titanio, zirconio, sodio y potasio.

Todos los fuegos producen productos de combustión. Estos productos de combustión se dividen en cuatro categorías: calor, gases, llamas, y humo. El calor se define como una forma de energía caracterizada por la vibración de las moléculas y capaz de iniciar y mantener cambios químicos y cambios de estado. Los gases son sustancias que no tienen una forma o volumen definido, expandiéndose para tomar la forma y volumen del espacio que ocupan. Los gases del fuego incluyen el monóxido de carbono, el cianuro de hidrógeno, el amoníaco, el cloruro de hidrógeno y la acroleína. La llama es la porción luminosa de los gases o vapores que arden. El humo es el conjunto de las partículas que flotan en el aire, y que son producto de la combustión incompleta, suspendidos en gases, vapores, o aerosoles líquidos o sólidos. Hollín, partículas negras de carbón, está contenido en el humo.

Amonio (NH ₃)	1000 ppm resultan fatales en 10 minutos
Ácido clorhídrico (HCl)	1500 ppm resultan fatales en pocos minutos
Fosgeno (COCl ₂)	25 ppm resultan fatales en 30 minutos
Acroleína (CH ₂ CHCHO)	30-100 ppm resultan fatales en 10 minutos
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	200 ppm resultan fatales en 10 minutos
Monóxido de carbono (CO)	10000 ppm resultan fatales en 1 minuto
Dióxido de carbono (CO ₂)	Una concentración del 70 % resulta fatal en pocos minutos
Cianuro de hidrógeno (HCN)	450 ppm resultan fatales en 9-13 minutos
Ácido sulfhídrico (H ₂ S)	400-700 ppm resultan fatales en 30 minutos
Dióxido de azufre (SO ₂)	500 ppm resultan fatales en 10 minutos

En la tabla se aprecian los niveles de toxicidad de distintos subproductos del fuego.



1.1.1. Secuencia del fuego en un local.

Un fuego en un local o espacio definido progresará según tres niveles de desarrollo predecibles. En orden de determinar el origen y la causa del fuego correctamente el investigador debe ser capaz de interpretar los efectos de estos niveles apropiadamente durante la examinación de la escena del fuego.

El primer nivel del desarrollo de un fuego es el nivel incipiente (crecimiento). Este nivel comienza en el momento de la ignición, y en este momento las llamas están localizadas. En este nivel el fuego está regulado por la cantidad de combustible. Esto es, la propagación del fuego no está regulada por el oxígeno disponible sino por la configuración, masa y geometría del mismo combustible. El contenido de oxígeno está dentro del rango normal y aún existen temperaturas ambientales normales. Un penacho de gases calientes del fuego empieza a subir a la parte alta de la habitación. Mientras que la convección hace subir estos gases, a su vez provoca que baje oxígeno adicional a la parte baja de las llamas. Gases del fuego tales como sulfuro de hidrógeno o monóxido de carbono empiezan a acumularse en la habitación. Si hay algún combustible sólido sobre la llama, la convección y el contacto directo con la llama causarían que el fuego se expanda hacia arriba y hacia fuera, produciendo el clásico patrón en “V” en superficies verticales.

El segundo es el nivel de llama libre (desarrollo). En este nivel más combustible está siendo consumido, y el fuego se está intensificando. Las llamas se han expandido hacia arriba y hacia el exterior desde el punto inicial a causa de la convección, conducción y contacto directo con la llama. Una cortina caliente y densa de humo y gases del fuego está formándose en los niveles superiores y está comenzando a radiar calor hacia abajo. Esta cortina de humo y gases del fuego contiene no sólo hollín sino también gases tóxicos tales como monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno, cloruro de hidrógeno, acroleína y otros. A no ser que el compartimento de origen haya sido sellado herméticamente, el humo y los gases del fuego se expandirán a través del buque. La temperatura cerca del techo ha empezado a aumentar rápidamente mientras que la temperatura cerca del suelo es todavía relativamente baja. Aún es posible sobrevivir en el compartimento en el nivel bajo.

El fuego sigue intensificándose y la cortina de hollín y gases cada vez baja más. El hollín y los gases combustibles siguen acumulándose hasta que uno (o más) de los combustibles alcanza su temperatura de ignición. Una rotación ocurre en este punto cuando la ignición de la parte superior resulta en el fuego extendiéndose a través del compartimento y sus niveles superiores. Esta rotación provoca que la temperatura de la parte superior se incremente a una tasa mayor y también aumenta el calor radiado hacia abajo en el compartimento. Pueden provocarse fuegos secundarios en este punto por el calor generado. El fuego está aún regulado por el combustible en este momento.

Cuando el nivel superior alcanza una temperatura de aproximadamente 593,3°C, hay suficiente calor generado para causar la ignición simultánea de todos los combustibles en la habitación. Esto se conoce como deflagración. Una vez que ha ocurrido la deflagración, la supervivencia por más de unos segundos es imposible. Las temperaturas alcanzan 1093,3°C o



más en los niveles altos y 593,3°C en los niveles de cubierta. En el momento de la deflagración el fuego aún está regulado por el combustible; sin embargo, si el fuego permanece confinado en el compartimento de origen rápidamente será regulado por el nivel de oxígeno. Si las condiciones del fuego lo proveen de contacto con la atmósfera exterior, el suministro ilimitado de oxígeno hace que el fuego siga regulado por el combustible. Como regla general, una vez que se produce la deflagración, el buque estará totalmente implicado en el incendio rápidamente.

La deflagración resulta en un fuego intenso del compartimento entero y su contenido. La deflagración producirá un fuego pesado a nivel de cubierta y puede incluso acabar quemando la parte inferior de los objetos del compartimento.

La cantidad de tiempo necesaria para que un fuego llegue del nivel incipiente a la deflagración depende de la cantidad de combustible, la geometría del compartimento y de la ventilación. Como comparación en el incendio accidental típico residencial, este tiempo está entre 2 y 3 minutos.

Eventualmente el combustible es consumido y el fuego se vuelve cada vez menos persistente. Si el fuego ha sido confinado a un compartimento, o si el nivel de oxígeno cae por debajo del 15 o 16 por ciento, la llama se detendrá incluso si quedara aun combustible por quemar. En este punto toma lugar la incandescencia; esto se conoce como la etapa latente (decaimiento). Las altas temperaturas y las grandes cantidades de hollín y gases combustibles se acumulan, y en este punto el fuego se regula por el oxígeno. La temperatura puede exceder la temperatura de ignición de los gases acumulados. Si una fuente de oxígeno se introduce en el área, los gases y el hollín acumulados podrían explotar. Esta explosión de gases puede provocar daños estructurales severos y poner en peligro la vida del personal contraincendios y el personal presente.

Las explosiones de gas pueden tener lugar en cualquier espacio cerrado; no están limitados a espacios de carga o camarotes.

El comportamiento del fuego en un pasillo está afectado por las mismas condiciones que un fuego en una habitación. La configuración física de un pasillo puede causar que el fuego se expanda rápidamente, actuando el pasillo como una chimenea horizontal o tubo. Una expansión rápida del fuego puede ocurrir con materiales normales sirviendo como combustibles.

En resumen, el fuego es un proceso muy complejo influenciado por diversos factores que afectan a su crecimiento, expansión y desarrollo. La forma física y estado del combustible, el oxígeno disponible y la transmisión del calor jugarán papeles vitales en el desarrollo del fuego. Aunque el fuego es diferente todos los fuegos siguen ciertos patrones predecibles que, cuando son entendidos por el investigador, proveen de una base científica para la determinación de un origen y una causa.



1.2. Causas de fuegos a bordo.

Las causas de incendios a bordo pueden ser accidentales o pueden ser el resultado de actos intencionados. Muchos fuegos han sido el resultado de acciones u omisiones de miembros de la tripulación. La falta de cuidado así como acciones irresponsables o desaconsejadas han causado incendios desastrosos. Y las omisiones (como no tomar las medidas preventivas adecuadas después de descubrirse situaciones peligrosas) han permitido que los incendios simplemente ocurran.

Existen tantas causas de incendios a bordo que éstas no pueden ser numeradas. Sin embargo se intentarán presentar en este apartado algunas de las fuentes más comunes con intención de dar algunos conocimientos básicos relacionados con los incendios a bordo y áreas preliminares de la investigación.

No importa cómo se inicia un incendio a bordo, podría resultar en la pérdida de la embarcación, e incluso en la pérdida de vidas. Por lo tanto, es extremadamente importante que la causa del incendio sea identificada de manera que se pueda evitar que ocurra de nuevo en el futuro. La determinación de la causa de cualquier incendio requiere la clara identificación de las condiciones necesarias que han permitido que se produzca el incendio. Estas condiciones incluyen, pero no se limitan a, el dispositivo o equipo involucrado, la presencia de una fuente de ignición capaz de iniciarlo, el tipo y la forma del material que inicia el incendio, y las circunstancias o acciones que llevaron a todos los factores juntos.

1.2.1. Combustible inicial.

El combustible inicial es el que mantiene la combustión más allá de la fuente de ignición. La configuración física del combustible juega un papel crítico en su capacidad para ser encendido. El combustible inicial también puede ser parte de un dispositivo que funciona mal o puede ser un elemento que estaba demasiado cerca de un dispositivo que genere calor. La determinación del combustible inicial es un elemento muy importante para entender correctamente los eventos que causaron el fuego.

La mera presencia de una fuente de ignición y combustible inicial, por sí mismos, no crea un fuego. El fuego es el resultado directo de reunir a la fuente de combustible y el encendido. La secuencia de eventos que llevó a la combinación de estos dos elementos establece la causa.

1.2.2. Clasificación de las causas de incendios.

La causa de cualquier incendio puede ser clasificada como accidental, natural, provocado, o indeterminado.

Los incendios accidentales son aquellos en los que la causa probada no implica ningún acto humano deliberado para encender o propagar el fuego. Mientras que en la mayoría de los casos, esta clasificación es clara, algunos incendios establecidos como deliberados pueden ser accidentales. Por ejemplo, un ingeniero encendiendo una caldera está encendiendo deliberadamente un fuego. Si a través de algún mal funcionamiento del equipo, o la



supervisión de personal hay una deflagración que se extiende por toda la sala de máquinas, la propagación del fuego se considerará accidental, aunque el fuego inicial fue deliberado.

Los incendios naturales son aquellos que involucran eventos como rayos, viento y similares sin involucrar ninguna intervención humana directa.

Los incendios provocados son los que se dan bajo circunstancias en las que se sabe que no deberían darse.

Un fuego indeterminado significa que sus causas no pueden ser probadas. El incendio seguirá bajo investigación y es posible que sus causas acaben determinándose más tarde.

1.2.3. Fuente y tipo de calor de ignición.

La fuente de ignición estará en el punto de origen del incendio o muy cerca de éste. Restos o evidencias físicas de la fuente de ignición se pueden encontrar en el punto de origen, aunque tal evidencia puede estar muy dañada o incluso haber sido destruida por el fuego. Independientemente de su condición, la fuente de ignición debe ser identificada para poder determinar la causa del incendio. Si la fuente sólo puede inferirse, entonces la causa será la más probable.

Una fuente de ignición requiere una temperatura suficiente y la energía y contacto con el primer combustible durante el tiempo suficiente para que alcance su temperatura de ignición. El proceso de ignición implica la generación, transmisión, y calentamiento.

Una vez que el área o punto de origen está identificado, el investigador deberá identificar el mecanismo, sustancia o circunstancia que ha producido el calor necesario para iniciar el incendio.

1.2.4. Fuentes de calor químicas.

Existen cuatro tipos básicos de fuentes de calor químicas.

- El calor de combustión es aquel que se libera durante la oxidación. Es el calor emitido por la quema de un objeto, también referido como el valor calórico de combustible.
- Calor espontáneo es un aumento de temperatura que no extrae calor de los alrededores.
- Calor de descomposición procedente de alguna sustancia orgánica.
- Calor de solución, que se da cuando una sustancia se disuelve en un líquido.

La fuente de calor química más común en los incendios a bordo es probablemente un calentamiento espontáneo que conduce a la ignición espontánea. La ignición espontánea es a menudo pasada por alto como causa de incendios a bordo del barco. Sin embargo, muchos materiales comunes están sujetos a este fenómeno químico peligroso. Estos incluyen materiales que se llevan como carga así como los materiales que se utilizan en el funcionamiento de la nave. Un ejemplo de ignición espontánea que podría ocurrir fácilmente a bordo de un buque puede ser un trapo empapado con aceite o pintura que ha sido descartado en la esquina de un taller, almacén o sala de máquinas. La temperatura de la zona es alta, y no hay ventilación. El aceite en el trapo comienza a oxidarse para reaccionar químicamente con el



oxígeno en el aire caliente alrededor. La oxidación es un proceso natural que produce calor. El calor hace que el aceite restante se oxide más rápido y produzca aún más calor. Como el calor no es extraído por la ventilación, se acumula alrededor del trapo. Después de algún tiempo, el trapo se calienta lo suficiente para iniciar un fuego. A continuación, puede encender sustancias inflamables cercanas, tal vez otros trapos o materiales almacenados, por lo que un gran incendio es muy posible. Todo esto puede ocurrir y ocurre sin ninguna fuente externa de calor.



Figura 7: Ignición del sodio al entrar en contacto con el agua.

1.2.5. Materiales afectados por la ignición espontánea.

Materiales del buque: Como se ha señalado en el apartado anterior, trapos con aceite y los trapos empapados de pintura son ejemplos de objetos que están sujetos a la ignición espontánea. En este caso, la prevención de incendios es simplemente una cuestión de orden y limpieza. Sin embargo, algunos materiales que generalmente no están sujetos a la ignición espontánea se encenderán por su cuenta, en determinadas condiciones. La madera es uno de tales materiales.

La madera, como cualquier otra sustancia, debe ser calentada a una temperatura determinada antes de que se encienda y se queme. Y la mayoría de las tuberías de vapor no se calientan lo suficiente para encender la madera. Sin embargo, si un trozo de madera está en contacto permanente con una tubería de vapor o una fuente de calor similar "a baja temperatura", puede inflamarse espontáneamente. Lo que pasa es que la madera se cambia primero a carbón por el calor. A continuación, el carbón vegetal, que se quema a una temperatura más baja que la madera, es encendido por el tubo de vapor. Como el cambio de la madera al carbón puede tardar varios días en aparecer, podría pasar desapercibido fácilmente. La primera señal de un problema sería el humo o las llamas que salen de la madera.



Carga: Muchos materiales que se llevan como carga están sujetos a la ignición espontánea. El encendido se producirá a través de la interacción química de dos o más sustancias, una de las cuales es a menudo el aire o el agua. Ejemplos de esto los encontramos en el sodio o el potasio que arden en contacto con el agua, o en los metales en polvo, tales como magnesio, titanio, calcio y circonio que se oxidan rápidamente produciendo calor en presencia de aire y humedad.

Los metales secos no tienden a arder espontáneamente. Sin embargo, las pilas aceitosas de metal, virutas, limaduras y recortes han provocado incendios mediante la ignición espontánea. Como en el caso de los trapos con aceite, el calor es producido por la oxidación del aceite dentro de la pila de virutas. Con el tiempo se produce calor suficiente y se mantiene en la pila para encender el metal más finamente dividido. Entonces las virutas más gruesas y otros materiales combustibles, si están presentes en la pila, se encienden y agravan el incendio.

1.2.6. Fuentes de calor eléctricas.

La siguiente fuente de calor es la energía eléctrica. La forma más común es la de calentamiento por resistencia. El calor se produce por el flujo de electrones a través de un conductor que impide el flujo. Este impedimento (resistencia) produce calor. Los calentadores eléctricos, aparatos de cocina y secadoras son sólo algunos ejemplos de esta forma de calor eléctrica.

El calentamiento por inducción es otro tipo de producción de energía eléctrica de calor. De nuevo, el calor es producido por el movimiento de los electrones. Este tipo de calor se produce haciendo pasar electrones a través del objeto calentado. El microondas es el ejemplo más común. Los electrones se encuentran en un campo magnético alterno que oscila a una velocidad tan alta que ya no está contenido dentro de un conductor. Esto se llama radiofrecuencia, y es también la base de la transmisión de ondas de radio y televisión. En un horno de microondas esta energía de radiofrecuencia está contenida dentro del horno y pasa a través del objeto a calentar.

El calor eléctrico también es producido por un arco. Un arco se produce cuando el flujo de electrones se interrumpe mediante la separación de los conductores. Esto puede ser tan simple como la apertura de un interruptor o la rotura un alambre.

La electricidad estática también puede producir arcos y calor. Cualquier objeto en movimiento sin conexión a tierra producirá electricidad estática. Caminar sobre una alfombra, una cinta transportadora en movimiento, las aspas de un helicóptero... todo puede producir un arco.

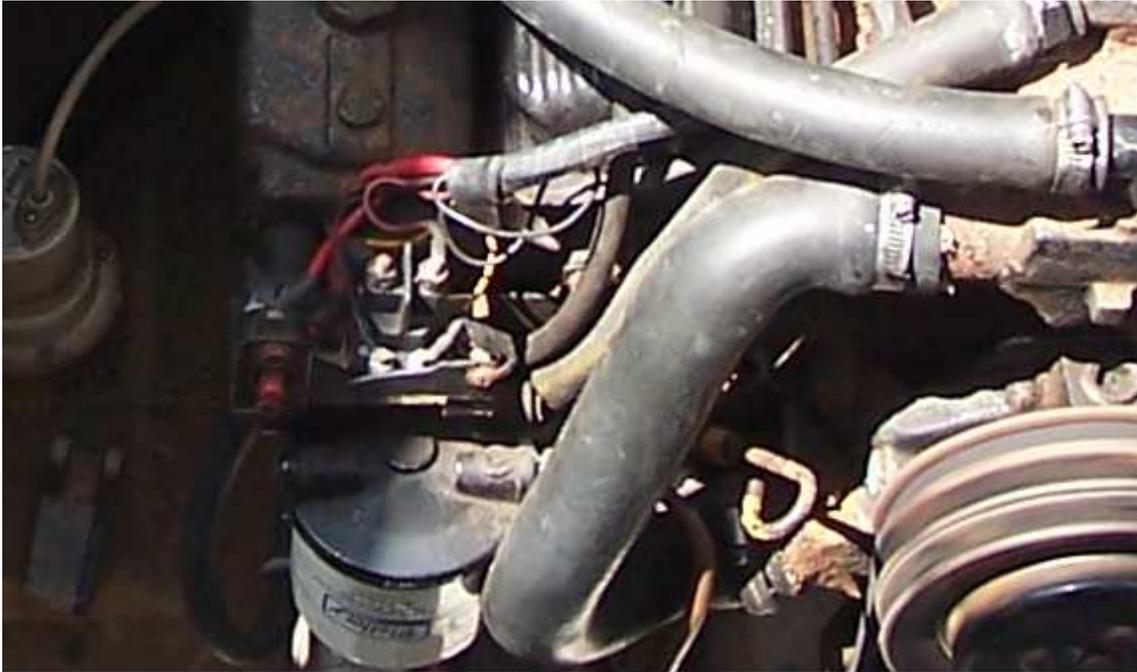


Figura 8: cableado de una embarcación Baja 290.

1.2.6.1. Equipos y circuitos eléctricos defectuosos.

En un equipo convenientemente aislado y cableado, la electricidad es una fuente de energía conveniente y segura. Sin embargo, cuando el equipo eléctrico se desgasta, se usa mal o está mal cableado, puede convertir la energía eléctrica en calor. A continuación, el equipo se convierte en una fuente de inflamación y por lo tanto en un riesgo de incendio. A través de una escena del incendio, el investigador debe estar a la búsqueda de cualquier aparato eléctrico o equipo que se encuentre en el área donde se sospecha que el incendio que se originó. Tales artículos pueden ser enviados a un laboratorio para un análisis científico más detallado. Antes de retirar dichos elementos de la escena del incendio, deben ser fotografiados en su lugar y su ubicación dentro del compartimento documentada con precisión.

1.2.6.2. Reemplazo de piezas y equipo.

El equipamiento eléctrico habitual, residencial o industrial no dura mucho tiempo en el mar. La salinidad en el ambiente provoca corrosión; la vibración de la nave desgasta más el equipo; y el casco de acero puede provocar un funcionamiento errático o cortocircuitos. Como resultado, el equipo o su cableado pueden sobrecalentarse causando un incendio si hay materiales inflamables en las cercanías.

Existe equipo eléctrico aprobado y especialmente diseñado y fabricado para su uso a bordo. Dándole un mantenimiento razonable, será capaz soportar las condiciones en el mar. Por lo tanto, solamente los repuestos y equipo previamente aprobados, deben instalarse a bordo del barco, y sólo para el uso para el que han sido aprobados. El investigador debe verificar que el equipo eléctrico que se encuentra en el lugar del incendio es de tipo marino aprobado.



1.2.6.3. Cableado y fusibles.

El aislamiento de los cables eléctricos, en particular del utilizado para electrodomésticos, herramientas eléctricas de mano y las luces, no dura para siempre. Con el paso del tiempo y el uso, acabará quebrándose y agrietándose. No importa lo que suceda, una vez que se rompe el aislamiento, el cable desnudo es peligroso. Un único cable expuesto puede provocar un incendio en las condiciones adecuadas. Si están expuestos los dos cables, se pueden tocar y provocar un cortocircuito. O bien podría producir suficiente calor para encender el material aislante del cableado o de algún otro material inflamable cercano.

Además, si el fusible o interruptor de circuito en ese circuito en particular es demasiado grande, no va a romper el circuito. En lugar de ello, un aumento de la corriente fluirá, sobrecalentando todo el circuito. Finalmente, el aislamiento también se puede quemar encendiendo material combustible en sus proximidades.

1.2.6.4. Sobrecarga de enchufes.

La sobrecarga de tomas de corriente para servir aparatos adicionales, sobre todo en camarotes y en las cocinas de la tripulación, es una práctica peligrosa. El cableado en cada circuito eléctrico está diseñado para llevar una cierta carga máxima. Cuando este cableado está sobrecargado con demasiados aparatos que operan, pueden recalentarse y quemar su aislamiento. El cableado caliente también puede encender materiales inflamables en la zona. Se han producido bastantes incendios por esto a pesar de que fácilmente puede evitarse mediante el uso planificado de los aparatos.

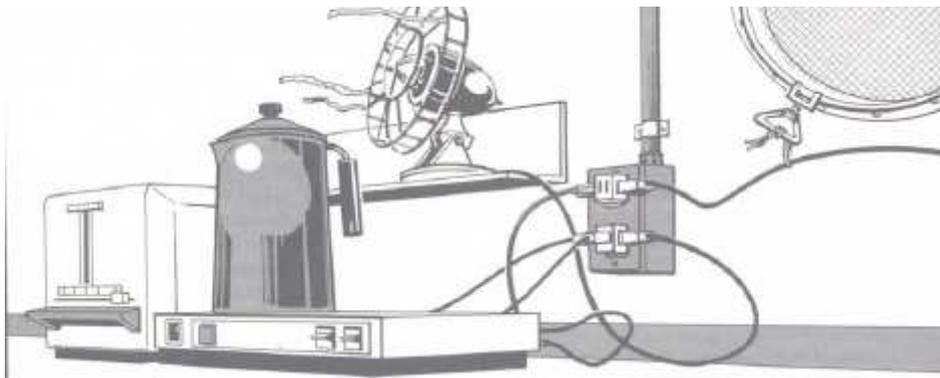


Figura 9: Ejemplo de sobrecarga de enchufes.



1.2.6.5. Contacto con bombillas.

Una bombilla eléctrica encendida puede encender materiales combustibles por contacto directo. Varios incendios a bordo han comenzado cuando un miembro de la tripulación deja una lámpara encendida en cuartos desocupados. A medida que pasa el tiempo, cortinas u otros materiales inflamables entran en contacto directo con la bombilla caliente y se encienden. El resultado en la mayoría de los casos era la destrucción del cuarto.

En las cubiertas a la intemperie, focos de alta intensidad suelen estar protegidos contra los elementos por lona o cubiertas de plástico. Las cubiertas son deseables cuando las luces no están en uso. Sin embargo, si la cubierta se deja en su lugar mientras la luz está encendida, el calor de la lámpara se puede encender el material.

1.2.6.6. Motores eléctricos.

Los defectos en los motores eléctricos son una de las causas principales de fuego. Los problemas pueden aparecer cuando un motor no se mantiene correctamente o cuando se excede su vida útil.

Los motores requieren inspecciones, pruebas, lubricación y limpiezas regulares. Si una chispa o un son es lo suficientemente fuerte, puede encender materiales combustibles cercanos. La falta de lubricación puede causar los cojinetes del motor se sobrecalienten, con el mismo resultado.



Figura 10: Motores de una embarcación Baja 290 falta de mantenimiento.



1.2.6.7. Salas de máquinas.

Las salas de máquinas son especialmente vulnerables a los peligros eléctricos. El agua que gotee de las líneas de mar rotas puede causar cortocircuitos graves y formación de arcos en los motores eléctricos, paneles de control y otros equipos eléctricos expuestos. Esto, a su vez, puede encender el aislamiento y los materiales combustibles cercanos. Probablemente aún más grave sea una rotura de las líneas de combustible y lubricación por encima y cerca de equipos eléctricos. En la investigación de incendios de la sala de máquinas, el investigador debe localizar las líneas de combustible y lubricación en las proximidades de los daños de incendio y examinar detenidamente las conexiones y/o accesorios en estas líneas que se encuentren en el área inmediata.

1.2.7. Fugas de combustible.

Si hay una fuga en alguna línea de combustible, el combustible a presión se pulveriza a través de la ruptura. La pulverización tiende a vaporizar el combustible y los vapores se inflaman fácilmente. Por lo tanto, los saltos de línea pueden ser muy peligrosos si hay tuberías de vapor, motores eléctricos, o tableros eléctricos en la zona. Esto es también aplicable a líneas de lubricante.

1.2.8. Sentinas.

Los incendios que ocurren en las sentinas suelen ser debidos a una acumulación de combustible. Muy a menudo, el combustible se filtra en la sentina a través de una rotura no detectada en una línea de aceite, combustible o lubricante. El combustible se vaporiza, y los vapores inflamables se acumulan en y alrededor del área de la sentina. Una vez que estos vapores se mezclan con el aire en la proporción adecuada, un cigarrillo, una cerilla o una chispa puede encenderlas y provocar un incendio. Los incendios en sentinas pueden moverse muy rápidamente alrededor de la maquinaria y las tuberías, y por esta razón no son en absoluto fáciles de controlar. Son más difíciles de extinguir que la mayoría de incendios relacionados con motores y salas de máquinas.

Las áreas de sentina deben ser examinadas por los investigadores para detectar la presencia de acumulaciones de combustible. Las áreas alrededor de los separadores de aceite o agua de sentina también deben ser revisadas por su posible desbordamiento, que también puede ser una fuente de grandes acumulaciones de combustibles en las sentinas.

1.2.9. Calor por energía mecánica.

Este calor se presenta en tres formas básicas. La primera es el calor por fricción. Este es el calor por contacto mecánico directo entre los objetos en movimiento, tal como frotar dos palos para hacer fuego. Otra forma de esta energía son las chispas por rozamiento. Un ejemplo conocido de este tipo es la rueda de un mechero.

La tercera forma es el calor de la compresión. Cuando un gas se comprime, las moléculas son forzadas más cerca juntas y se produce calor. Un motor diésel depende de esta forma de calor para funcionar. Las bujías se emplean con una relación de compresión muy alta. La compresión del aire en los cilindros aumenta su temperatura por encima del punto de ignición del



combustible diésel. Cuando se inyecta el combustible en los cilindros, se inflama y el motor funciona.

1.2.10. Líquidos inflamables y combustibles.

El almacenamiento o manejo inadecuado de líquidos inflamables y combustibles es una de las principales causas de los incendios accidentales. Estos tipos de líquidos se encuentran comúnmente en los almacenes, paños de pintura y talleres.

La selección y uso de los contenedores de almacenamiento inadecuados pueden ser un factor que contribuirá en incendios de líquidos inflamables y combustibles. Los recipientes de plástico no diseñados específicamente para tal uso, tales como botellas de agua y contenedores de anticongelantes, se vuelven frágiles con el tiempo y pueden desarrollar grietas o fugas. También son susceptibles de ser perforados por objetos cortantes, aristas o esquinas y pueden romperse tras el impacto en caso de caída. El líquido también puede actuar como un disolvente y disolver el recipiente que lo contiene.

Los contenedores de metal también pueden ser peligrosos, porque se pueden oxidar o deteriorar según el líquido que almacenen y el entorno. Esto creará fugas lentas difíciles de detectar a tiempo.

Independientemente de si la lata es de plástico o de metal, debe ser listado y homologado para el almacenamiento de un líquido inflamable o combustible.

Otra causa común de los incendios es el uso inadecuado de líquidos inflamables para la limpieza.

Debido a que los vapores de líquidos inflamables y combustibles son más pesados que el aire, se instalan en los puntos bajos. Estos vapores pueden ponerse en contacto con una fuente de ignición a una distancia considerable de la fuente. Algunas de las fuentes de ignición más comúnmente disponibles serán los equipos eléctricos, motores, electricidad estática y el tabaco.

Los indicadores de un incendio que implica a los vapores de líquidos inflamables serán la rápida propagación de la llama, la excesiva carbonización de las estructuras de madera, y la quema de zonas bajas. Algunas pruebas incluirán la presencia de equipos de limpieza que contienen residuos de líquidos inflamables, la presencia de contenedores, y declaraciones de testigos.

Hay que recordar que cuando un líquido combustible se calienta a su punto de inflamación o por encima, se comportará como un líquido inflamable.



1.2.11. Gases combustibles.

Gases combustibles como el gas natural pueden estar involucrados o provocar un incendio. Las fugas que involucran tuberías y mal funcionamiento del equipo pueden provocar explosiones y/o incendios. Estos gases, que son naturalmente inodoros, requieren ser tratados con un gas odorante pero bajo ciertas circunstancias este tratamiento puede fallar, permitiendo así que la presencia del gas combustible no sea detectada a tiempo.

Los gases del propano son más pesados que el aire y normalmente se depositan en los niveles inferiores de la estructura. Las explosiones de estos gases por lo general producen daños más severos en los niveles inferiores. El gas natural, por otro lado, es más ligero que el aire y se elevará a los niveles superiores de la estructura. Las explosiones que involucran este gas generalmente producirán daños más extensos en los niveles superiores.

El odorante más común es el etanotiol que le da al gas el característico olor a huevo podrido. Se sabe que un cierto pequeño porcentaje de la población tiene una pérdida completa o parcial de su sentido del olfato y que algunas personas son insensibles al odorante. Factores como la edad, resfriados, alergias y algunas enfermedades afectan la capacidad de la nariz humana para detectar odorante de gas. Se estima que aproximadamente el 96 por ciento de la población tiene un sentido "normal" del olfato.

Debido a que los puntos de ebullición de la sustancia odorífera y los gases que la contienen son diferentes, el desvanecimiento del olor puede ocurrir cuando un tanque de gas ha estado fuera de servicio durante algún tiempo. Como el gas sale primero del contenedor, el nivel de odorante estará en niveles más bajos y puede ser indetectable. Conforme más gas salga del tanque, el líquido y odorante comenzarán a hervir y el nivel odorante en el vapor se incrementará.

La disminución del odorante también puede ocurrir con algunos nuevos contenedores para el almacenaje de estos gases. En estos nuevos contenedores, el odorante puede ser absorbido por el acero o puede reaccionar con el óxido en el interior del recipiente. El mecanismo exacto de desvanecimiento del olor todavía no se ha determinado y su investigación está en marcha.



1.3. Conceptos básicos sobre electricidad e incendios eléctricos.

1.3.1. Introducción:

Un investigador de incendios debe poseer un conocimiento básico en varios campos para determinar correctamente las causas de incendios. La electricidad es uno de esos campos. La intención de esta sección será proporcionar un conocimiento básico de la terminología eléctrica, cómo los sistemas eléctricos funcionan, y qué indicadores estarán presentes para ayudar a determinar un fuego de causa eléctrica.

Algunos expertos en el campo eléctrico afirman que la electricidad no puede causar incendios. Aunque esta afirmación es incorrecta, muchos de los incendios se han determinado incorrectamente por los investigadores de incendios como de naturaleza eléctrica. Los sistemas eléctricos se han convertido en una causa principal cuando no hay otra causa se puede encontrar y no hay daño severo por fuego en el sistema. La electricidad puede y crea situaciones de incendio. Sin embargo, los indicadores específicos deben estar presentes para justificar tal determinación.

1.3.2. Conceptos básicos:

La electricidad es el flujo de electrones debido a una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor. Toda la materia se compone de moléculas que, a su vez, se componen de átomos. Un átomo consiste en un núcleo con carga positiva (protones y neutrones) rodeado de electrones de carga negativa que orbitan alrededor del núcleo. Se trata de los electrones, y la facilidad con la que pueden moverse determina las propiedades eléctricas de un material. Dos cargas eléctricas con el mismo signo se repelerán, mientras que ocurrirá lo contrario con cargas de signo distinto.

Cada vez que una corriente de electricidad está fluyendo, se generará un campo magnético. Este es el principio de funcionamiento básico de un motor eléctrico. Por el contrario, cada vez que un conductor se mueve a través de un campo magnético, una corriente eléctrica se produce en el conductor. Este es el principio básico de funcionamiento de un generador eléctrico.

Otro subproducto del flujo de corriente es el calor. Los electrones que pasan a través de un conductor constantemente chocan entre sí generando calor. Cuanto mayor es el flujo de corriente, mayor será la cantidad de calor producido. Ni el calor ni el magnetismo se pueden eliminar completamente de un circuito eléctrico. Sin embargo, los circuitos pueden ser diseñados para producir la mayoría de calor (como en una estufa, o una tostadora) o para producir su mayoría magnetismo (el motor eléctrico).

Un conductor es cualquier material que permite el libre flujo de electricidad. Algunos ejemplos de los conductores más conocidos son la mayoría de metales como el oro, la plata, el cobre, el aluminio y el carbono.



Un aislante es un material que restringe o inhibe el flujo de electricidad. El caucho, el plástico, el vidrio y la porcelana son ejemplos comunes de excelentes materiales aislantes.

1.3.3. Unidades:

Hay cuatro unidades básicas de electricidad. El voltaje es una unidad de fuerza o presión que hace que los electrones fluyan en un conductor (fuerza electromotriz) y se expresa en voltios (V).

El flujo de corriente se determina midiendo la cantidad de electrones que pasan por un punto en un segundo. Esta tasa es la intensidad de corriente y se mide en amperios (A).

La resistencia es la oposición que un conductor opone al flujo de corriente a través de él. La resistencia se expresa en ohmios (Ω). La corriente fluyendo a través de una resistencia crea calor y cada circuito ofrece una cierta resistencia. Un exceso de la resistencia en un circuito puede crear temperaturas lo suficientemente altas como para causar finalmente la ignición de combustibles cercanos. La resistencia en los circuitos puede ser causado por conductores trenzados o enrollados, cables severamente doblados o conexiones eléctricas sueltas entre otros.

La potencia es una medida cuantitativa de trabajo realizado. Esta medición se expresa generalmente en vatios (W). Todo aparato eléctrico se evalúa en cuanto a la cantidad de energía que consume. Esta calificación se expresa en vatios por unidad de tiempo. La producción de calor de aparatos, como secadores de pelo, rizadoros de pelo, cafeteras, tostadoras, mantas eléctricas, etc., tienen una potencia nominal mayor que los aparatos que no producen calor, como radios, relojes, lámparas de mesa, etc. o electrodomésticos más grandes, tales como refrigeradores, hornos de microondas, aparatos de aire acondicionado, lavavajillas, lavadoras de ropa, etc., que también tienen una potencia mayor.

1.3.4. Efectos de la electricidad:

Hay cuatro efectos de la electricidad; tres de estos efectos pueden crear calor que puede estar involucrado en el inicio de un fuego. El primer efecto producido por la electricidad es una acción térmica, que es el calor. Los ejemplos de esta acción se hacen evidentes en estufas, hornos, o cualquier otro aparato que produzca calor. El segundo efecto es el magnetismo. Cuando la corriente fluye a lo largo de un conductor, un campo magnético es producido y este campo tiene la capacidad de crear calor. Una reacción química, en la forma de la oxidación, es el tercer efecto y puede ocurrir en conexiones sueltas o de baja calidad. Esta acumulación de la oxidación crea resistencia, que, a su vez produce calor. El último efecto de la electricidad es la iluminación, la luz que se puede observar con un conductor que brilla intensamente.



1.3.5. Examen de incendios de origen eléctrico:

Un solo indicador no es suficiente para clasificar un incendio como eléctrico. Este indicador debe ser validado demostrándose que existen otras condiciones que causaron la situación que se investiga. Se debe tener precaución por el investigador para identificar si las condiciones eléctricas físicas encontradas son una causa o una consecuencia del incendio.

Cabe recordar que la seguridad es siempre la primera consideración que debe ser tomada en cuenta por el investigador de incendios. Antes de comenzar cualquier tipo de examen de una escena del incendio, el investigador debe primero determinar si el servicio eléctrico a la escena del incendio se ha terminado. Por su propia seguridad, así como la seguridad de las tripulaciones de reacondicionamiento general, habrá que asegurarse de que el servicio de entrada ha sido cortado antes de examinar los sistemas y componentes eléctricos.

Si se sospecha de que un incendio pudo tener una causa de origen eléctrico, el investigador debe identificar correctamente el equipo que participó en el encendido. Dicha identificación debe incluir el nombre del fabricante, número de modelo, número de serie, el voltaje y corriente, y si el equipo fue certificado.

Hay varios medios para producir calor en sistemas y equipos eléctricos. Estos incluyen arcos y chispas y conductores sobrecalentados. Una determinación cuidadosa de la forma precisa de calentamiento eléctrico que inició se debe hacer el fuego y luego la identificación hecha del material que se encendió.

El equipo involucrado, la forma de calor, y el primer material que ardió son los tres elementos básicos para la determinación de la causa de un incendio eléctrico, y pueden considerarse una evidencia directa. Es la evidencia circunstancial, sin embargo, la que apoya el caso y ata los elementos básicos juntos.

1.3.6. Fallos en el cableado:

1.3.6.1. Pruebas y causas:

Las condiciones físicas en una escena de incendio que sirven como pistas pueden ser creadas por un incendio hostil de origen distinto al eléctrico. Aunque no es absolutamente necesario, debería haber alguna evidencia circunstancial para indicar que el incendio se produjo como resultado de la antigüedad o el deterioro del sistema eléctrico.

1.3.6.2. Arcos y chispas:

Hay varias formas en que se producen los arcos y chispas. Algunos arcos son un resultado inevitable del funcionamiento de equipos eléctricos y los interruptores. Esa pequeña chispa que se observa cuando un interruptor de pared se activa es en realidad un arco. Averías, fallos de funcionamiento o daños en los sistemas o equipos eléctricos también pueden causar arcos.



La electricidad estática provocada, por ejemplo, cuando una persona frota sus pies sobre una alfombra y luego se toca otro objeto conductor y causa una chispa, es otro ejemplo de la formación de arcos. El rayo es otra forma de un arco natural.

Las temperaturas que se pueden dar en los arcos suelen oscilar entre 1100°C y 3900°C. Los arcos pueden hacer que los objetos metálicos, tales como conductores de cobre, se fundan con facilidad y partículas calientes salpiquen en una zona amplia. Cuando las partículas calientes entre en contacto con materiales combustibles, existe la posibilidad de un incendio.

Un arco normal ocurre cuando un incendio ataca conductores o equipo eléctrico. La presencia de daño de arco por sí sola no es suficiente para determinar que el fuego causado por la acción del arco eléctrico.

Las siguientes condiciones son necesarias para determinar que la formación de arcos causó la ignición:

- Se puede demostrar que las mezclas inflamables de aire y gases inflamables, vapores o polvo estaban en un sistema eléctrico, o que el equipo no fue diseñado para este tipo de ambiente.
- El equipo eléctrico estaba conectado y funcionando en el momento del incendio.
- La escena del incendio presenta signos de una explosión o deflagración.
- Las demás causas probables han sido descartadas.

Operaciones fuera de lo normal, insuficiencia, o daños a los sistemas o equipos eléctricos pueden producir arcos inesperados que podrán iniciar un fuego. Indicadores de un incendio provocado por la formación de estos arcos son:

- Agujeros fundidos en cajas metálicas de los equipos eléctricos o el cableado.
- Porciones de los aislantes eléctricos en los equipos destruidos o dañados en zonas adyacentes a partes normalmente conectadas, mientras que otros aislantes no son dañados de la misma manera.
- El equipo eléctrico desalojado o deformado de una manera no consistente con los daños causados por el fuego. Esto puede ser una indicación de flujo de corriente severo.
- Armarios eléctricos hinchados o distorsionados por la presión interna (de dentro a fuera).
- El derretido del cableado no es consistente con las temperaturas desarrolladas por el fuego.

Las condiciones necesarias para la formación de arcos e incendios provocados por estos arcos son:

- Alguna influencia externa debe estar presente para iniciar el proceso de formación de arcos, como daños físicos, el agua en las partes activas, u objetos conductores que entran en contacto con las partes activas. Las tensiones presentes en los pequeños sistemas eléctricos residenciales, comerciales normales no comenzarán un arco de forma espontánea.



- El circuito o equipo de los que se sospecha deben estar encendidos y debe haber un flujo de corriente. El flujo de corriente puede ser el resultado de un equipo que funciona normalmente o electrodomésticos, o puede ser el resultado de "fugas" o una toma no deseada a tierra a través de un medio de alta resistencia (humedad, suciedad, etc.).
- Fallos leves o intermitentes pueden causar que un fusible o circuito no se abra. Bajo estas condiciones, el calor generado suficiente puede causar la ignición.
- El arco debe ocurrir en la zona de origen del incendio con combustibles adecuados presentes.
- El arco eléctrico debe tener una duración suficiente para encender los combustibles sospechosos.
- Todas las demás fuentes de ignición deben haber sido descartadas.



Figura 11: Restos del cableado en la embarcación Barba tras su reflotamiento.



1.3.6.3. Conexiones sobrecalentadas:

Cuando se realiza una conexión adecuada, los materiales involucrados deben ser compatibles, estar limpios, y se debe mantener en contacto firme con una superficie suficiente de contacto para proporcionar una baja resistencia al flujo de electricidad. La cantidad de calor generado en un contacto adecuado será muy pequeño. En una conexión mal hecha o deteriorada, el flujo de corriente seguro y aceptable durante un largo período de tiempo en el circuito puede provocar que la conexión se caliente suficientemente como para encender materiales combustibles comunes, incluyendo el aislamiento de cables de plástico o de encendido en el conector.

La legislación actual requiere que todas las conexiones estén encerradas en una caja de conexiones aprobada, con las cubiertas en su lugar, y las aberturas no utilizadas efectivamente cerradas. Esta caja sirve para varios propósitos: protección física para las conexiones, la separación de las conexiones de los combustibles, la limitación de oxígeno y la contención de los materiales sobrecalentados que pueden producir una avería, y la protección de las partes activas del contacto accidental con otros materiales conductores.

Una conexión sobrecalentada puede seguir deteriorándose y provocar un arco, o puede encender materiales combustibles adyacentes tales como el aislamiento de los cables de plástico, antes de que se note.

Las superficies de contacto en un soporte de interruptor o fusible, cuando están sueltos, son una fuente potencial de calentamiento en la misma manera que una conexión sobrecalentada.

Indicadores de que un incendio ha sido provocado por una conexión eléctrica recalentada son:

- Las partes eléctricas sospechosas muestran indicios de calentamiento localizado.
- Las superficies de los alambres, terminales o conectores están descoloridos o erosionados. En una buena instalación, estas superficies están protegidas de daños de fuego por el recinto.
- Todo o parte de una conexión se deterioran mientras que otras conexiones en el mismo recinto están intactas o muestran solo daños de una exposición.
- Picaduras localizadas, erosión o deterioro se observan en el punto de origen en las partes metálicas normalmente no energizadas del sistema eléctrico.

Hay dos condiciones necesarias para el encendido de las conexiones eléctricas sobrecalentadas. En primer lugar, la corriente debe fluir a través de la conexión sospechosa. En segundo lugar, combustibles susceptibles deben ser expuestos a las conexiones o recintos sospechosos.



1.3.6.4. Cables sobrecalentados

Siempre que la corriente eléctrica fluye en un conductor se genera calor. La capacidad de corriente permisible de un cable se basa en varios factores: el grado de la temperatura y el tipo de cableado; el tipo de metal, el diámetro del alambre; el número de conductores; y si están cerradas o al aire libre.

Si los dispositivos de protección contra sobrecarga están mal dimensionados para el circuito, no funcionan bien, o son defectuosos de alguna manera, existe la posibilidad de un exceso de corriente en el circuito.

Indicadores de que un incendio se ha causado por cables sobrecalentados serían:

- Defectos en el aislamiento debidos al calentamiento interno en toda la longitud del circuito desde el punto de sobrecarga o falla, incluido todo el camino de vuelta al dispositivo de protección contra sobrecarga. Esto ocurrirá si el fallo arrastra una cantidad significativa de corriente (amperios) por encima de la capacidad nominal del conductor antes de la operación del dispositivo de protección de sobrecarga.
- Indicaciones de calentamiento interno son fundas sueltas, flacidez, hinchamiento o aislamiento carbonizado lo largo de toda la longitud del circuito derivado. La legitimidad de que un fallo en este circuito ha podido iniciar el fuego es mucho mayor si otros circuitos de red de las inmediaciones no presentan daños similares.
- Fusibles o interruptores automáticos defectuosos, manipulados, modificados o inadecuados que sirven el circuito sospechoso pueden contribuir al sobrecalentamiento y la posterior falla del aislamiento.
- Múltiples puntos de origen que se producen a lo largo del circuito de sospecha.
- Carbonizado dentro de agujeros por los que el circuito sospechoso pasa en los que está en contacto con estructuras de madera.

Para que se encuentre cable sobrecalentado, las siguientes condiciones son necesarias:

- Corriente circulando en el conductor sospechoso.
- Una sobrecarga o fallo que ha permitido el exceso de corriente.
- Combustible en el punto de origen.

1.3.6.5. Efectos de los fallos eléctricos en los cables:

Cada vez que se producen arcos en los cables, habrá marcas características dejadas en el lugar de su formación. Las marcas del arco pueden ser distinguidas de marcas mecánicas y de la fusión por fuego. Un signo de arco es un punto distinto, pero puede haber varias marcas de arco muy juntas. La marca es un área donde el metal se ha derretido. Puede ser una cavidad lisa o una cavidad con una proyección. A veces, la pequeña cavidad será dura con numerosas pequeñas proyecciones.



Junto a la marca de arco, no se funde la superficie del alambre. Sin embargo, puede haber algo de salpicadura de metal fundido sobre la superficie cercana si el alambre estaba desnudo en el momento del arco. Los arcos pueden dejar cavidades en los cables o pueden llegar a cortarlos. Los extremos de los cables cortados pueden ser fundidos o moldeados sin problemas.

Los arcos son generalmente similares, ya sea en alambres de cobre o de aluminio. Sin embargo, la formación de arco en alambre de aluminio puede dejar pegotes en lugar de las características que se encuentran en el alambre de cobre.

En los arcos en las hebras trenzadas de los cables de cobre, que se encuentra comúnmente en cables de lámparas o los cables de extensión, se suelen causar rebordes en el punto de separación, en lugar de cavidades.

El arco eléctrico que se produce dentro de una caja de conexiones o de otra caja metálica dejará con frecuencia pequeñas gotas de metal alrededor del interior de la caja.

1.3.7. Condiciones de sobrecalentamiento o sobrecarga

Cuando una corriente especialmente excesiva (sobrecarga) funde un alambre, tiende a fundirlo a lo largo y a lo ancho en el mismo tiempo. Cuando el alambre se separa finalmente, la corriente se para y lentamente se enfría el alambre. A menudo, habrá desplazamientos donde el cable empezó a desintegrarse cuando la corriente se detuvo. Este efecto se puede encontrar en cobre, aluminio, o cualquier otro tipo de alambre.

Cuando la evidencia de sobrecarga se encuentra, los fusibles o los interruptores automáticos deben ser examinados. Marcas de arco pueden indicar que el circuito se energizó antes y durante el incendio. Pequeños arcos aislados no son propensos a provocar incendios menos si un combustible muy fácilmente inflamable está presente. Arcos masivos, como ocurre en los equipos de servicio, pueden provocar fácilmente un incendio.

Las marcas mecánicas o estrías en los cables por lo general se pueden distinguir por la forma o por líneas de raspado. Un alambre que se raspó por un clavo, una sierra, o algunos otros medios, pero no se cortó, no va a crear el calor suficiente para causar un incendio en el amperaje permisible, suponiendo que no se crea una falla de tierra.



Figura 12: Aislamiento de un cable desprendido debido al calentamiento del cable.



Figura 13: Efecto de un arco de corriente cerca de un taco de madera.

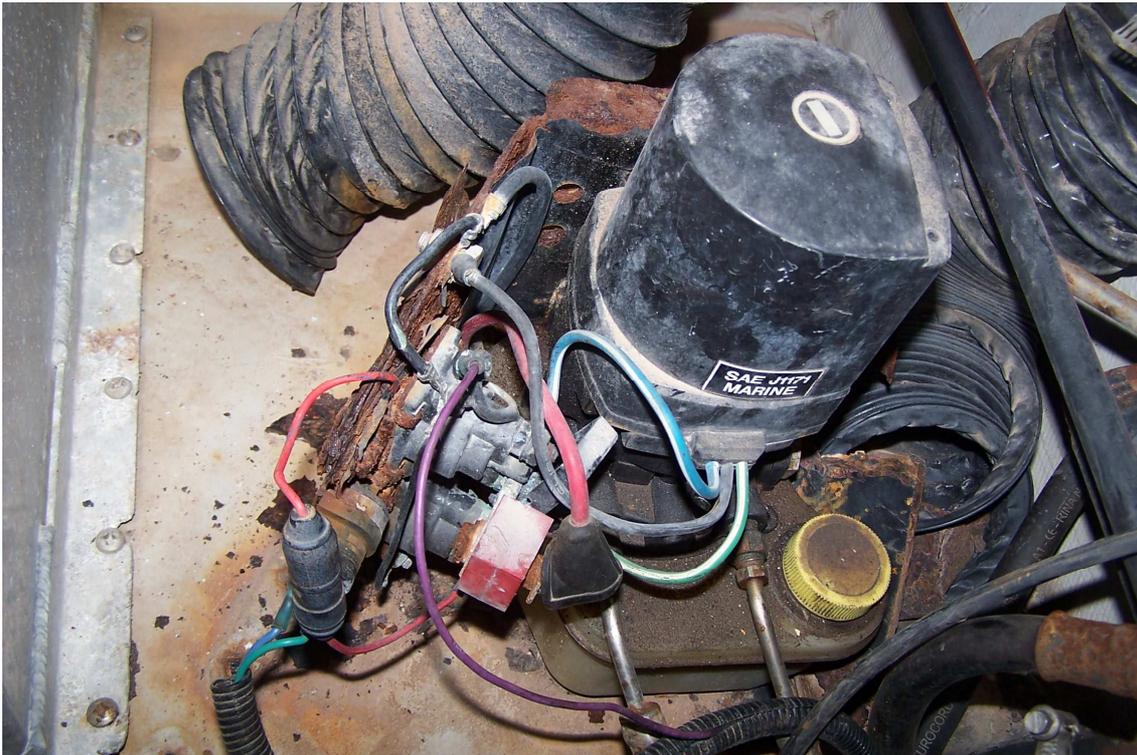


Figura 14: Cableado en mal estado en una embarcación Baja 290.



Figura 15: Cámara de máquinas del Barba tras su recuperación.



2. Actores e instrumentos legales que intervienen en este tipo de sucesos marítimos.

Un incendio a bordo de un buque puede ser un evento muy complejo cuya causa y origen pueden no siempre ser obvios. Cuanto más espacio abarca un fuego, y cuanto más tiempo dura, menos pruebas de la causa quedarán. En algunos casos no sobreviven suficientes datos (pruebas) para establecer la causa y el origen del fuego, sin importar la diligencia de la búsqueda o la preparación de quien busca. La destrucción de pruebas puede también ser el resultado de los deberes normales y necesarios del personal que combate el fuego y acarrea con las tareas de rescate, supresión, revisión y salvamento.

Las responsabilidades de la investigación de un incendio a bordo serán diferentes según las circunstancias y podrían depender en gran medida de donde está el buque situado cuando el fuego se inicia. Mientras el estado que abandera (estado pabellón) tendría siempre autoridad y responsabilidad para la investigación de los fuegos a bordo de buques bajo su registro, existen otras autoridades que también tendrán un interés válido y legal en dirigir una investigación. Si el buque está en puerto cuando el incendio comienza, la administración local del puerto podría también ejercer autoridad en la investigación. Si hubiera víctimas como consecuencia del incendio y todas tuvieran la misma nacionalidad, la administración de esa nacionalidad podría pasar a ser un “estado interesado” bajo las normas de la resolución OMI 849 (20), y por tanto podría tomar parte en la investigación. Además de las autoridades oficiales, otras partes “no oficiales” tales como el armador o la compañía de seguros del buque podrían también dirigir investigaciones. Mientras que el armador y la compañía de seguros del buque tienen motivos válidos para investigar, estos motivos serán secundarios frente a las investigaciones oficiales que llevarán a cabo las agencias de los países que abanderan al buque y administran el puerto, y otras autoridades oficiales.

En consecuencia, después de un incendio a bordo podrá haber distintas autoridades e intereses examinando la misma escena del incendio y buscando las mismas pruebas físicas. Sin coordinación y cooperación, podrían surgir dificultades que comprometerían todas estas investigaciones.

Si hay pruebas de que el fuego ha sido provocado, se habría cometido un crimen y las autoridades legales tendrán que investigarlo. Estas transferencias podrían desembocar en complicaciones a la hora de establecer la línea de mando y en el mantenimiento de la línea de custodia de pruebas físicas cruciales.

En algunos casos podría ser posible formar equipos de investigación compuestos de individuos de ambas agencias tanto legales como agencias de investigación de accidentes para que la continuidad de la investigación pueda ser mantenida a través de las fases accidente/seguridad y criminal. En algunos casos, los investigadores pueden tener autoridad como agentes legales y como investigadores de accidentes, y son propiamente entrenados para que las investigaciones puedan ser llevadas de principio a fin por los mismos investigadores al margen de si la causa del fuego es de naturaleza accidental o criminal.



3. La investigación de accidentes.

Se entiende por investigación de accidentes a la acción de indagar y buscar con el propósito de descubrir relaciones causas-efecto.

Una investigación no está limitada a la aplicación de una norma de tipo estadístico sino que trata de encontrar todos los factores del accidente con el objeto de prevenir hechos similares, delimitar responsabilidades, evaluar la naturaleza y magnitud del hecho, e informar a las autoridades y al público.

La labor del investigador o investigadores concluirá en un informe a ser elevado a aquella autoridad que ordenó la investigación. Los pasos a seguir en un proceso de investigación son los siguientes:

- Recolección de información.
- Análisis de los datos.
- Conclusiones.
- Recomendaciones.

Este proceso es obvio y cada uno de ellos puede constituir un capítulo del informe de la investigación.

3.1. Recolección de información

El primer paso de un proceso de investigación es obtener información sobre lo ocurrido.

Se debe llegar al lugar del hecho lo antes posible a fin de evaluar la magnitud de los daños, asegurar el lugar y ubicar testigos circunstanciales. Los pasos a realizar en esta etapa son los siguientes:

- Asegurar el lugar mediante vigilancia, a fin de poder conservar las evidencias, e impedir su desaparición, ya sea intencional o fortuita.
- Buscar evidencias transitorias, tales como manchas de agua, huellas, derrames de líquido, etc.
- Tomar fotografías, hacer mapas y diagramas.

En lo posible las fotografías deberán ser tomadas por un fotógrafo profesional, teniendo en cuenta la posibilidad de ubicar el lugar donde fueron tomadas. Esto se logra mediante anotaciones sobre la fotografía o mejor aún, haciendo entrar en la misma algún punto de referencia. Esto es de vital importancia en el caso de evidencias transitorias; es común fotografiar indicaciones de instrumentos. La señalización en mapas permite ubicar la zona del accidente y el uso de diagramas sirve para indicar la zona afectada, localizar la posición de los lesionados, etc.

El objeto de estas técnicas es ayudar al investigador a formarse una imagen visual de lo ocurrido.

- Recolectar objetos físicos.

En el lugar donde ocurrió un accidente quedan por lo general, objetos tales como trozos provenientes de roturas o proyectados. Además, en ciertos casos es necesario tomar muestras de materiales para determinar características físicas y químicas de los mismos (por ejemplo: material de estructuras para ser analizado, muestras de aceite, de combustible, etc.)



- Entrevistas con testigos.

La información recolectada a través de entrevistas con testigos constituye la parte más importante de la etapa de recolección de información. Primeramente se tomarán las referencias del individuo como nombre, edad, cargo, etc.

Posteriormente se debe pedir al mismo una descripción de los hechos y recién entonces hacer las preguntas pertinentes. Es importante no tratar de inducir respuestas en concordancia con la idea del investigador.

3.2. Análisis de los datos

A partir de los primeros datos recolectados se formularán hipótesis que conducirán a la búsqueda de datos para su conformación o rechazo. Este proceso de formulación de hipótesis y búsqueda de datos es ayudado mediante técnicas analíticas.

La recolección indiscriminada de datos así como la formulación de hipótesis no basadas en datos son de poca utilidad.

Se verán dos técnicas analíticas en particular: el análisis secuencial y el análisis por cambios.

Dentro de las teorías causales sobre el origen de los accidentes se encuentran la teoría secuencial y la teoría multifactorial.

La teoría secuencial propuesta originalmente por Kepner y Tregoe sostiene que los accidentes se originan debido a una concatenación de hechos, constituyendo lo que se denomina una cadena causal.

La Teoría Multifactorial sostiene que la concurrencia simultánea de los factores origina el accidente. Esto es un caso de causalidad conjuntiva.

Ambas teorías no son contradictorias sino que se complementan.

3.2.1. El análisis secuencial

El uso de diagramas secuenciales es muy útil para organizar una investigación, confirmando o negando la validez de los datos recogidos.

Esta técnica puede ser muy útil en la investigación de accidentes automovilísticos.

Los factores causales de un accidente pueden ser clasificados como: directos, contribuyentes o sistémicos

Generalmente un accidente no es el resultado de una sola secuencia de eventos, sino de varias secuencias en forma simultánea.

Existen dos formas de hacer un análisis secuencial:

- a) Mediante secuencias de transferencia de energía.

Este tipo de estudio no sólo revela lo ocurrido, sino que también descubre que barreras o controles fallaron o no fueron incluidos como medida de prevención.

- b) Mediante secuencias de eventos y factores causales.

Consiste en graficar en forma secuencial eventos y factores causales directos, contribuyentes y sistémicos.



Este tipo de análisis incluye a las secuencias de transferencias de energía.

Los criterios generalmente adoptados para graficar secuencias son los siguientes:

- Colocar los eventos en cadenas de izquierda a derecha.
- Colocar los eventos encadenados en serie o en cadenas en paralelo para representar secuencias simples o secuencias simultáneas.
- La parte central del diagrama debe reservarse para los eventos que conducen directamente al accidente.
- Los eventos supuestos por el investigador deben distinguirse de los demás por algún tipo de notación.
- Los eventos que no tengan un orden secuencial deben dejarse en suspenso hasta la finalización del diagrama. Los criterios de descripción de eventos son los siguientes:
 - Describir en forma simple el hecho ocurrido, no estados, condiciones o circunstancias.
 - Basarse solamente en hechos comprobados.
 - Cuantificar los eventos en la medida de lo posible.
 - La descripción debe hacerse de modo que provengan del evento precedente.

3.2.2. El análisis por cambios.

La experiencia indica que uno de los factores más importantes en la generación de accidentes son los cambios que se generan en un sistema, en un proceso o en una tarea.

Intuitivamente se dice, cuando ocurre un accidente: ¿qué pasó?, es decir, ¿qué cambios se dieron?

En toda investigación de accidentes debe establecerse un marco de referencia de condiciones en las que no ocurren accidentes y luego comparar con la situación accidental.

El proceso de análisis por cambios se ha derivado de una metodología de análisis de problemas ideado por *Kepner y Tregoe*.

Estos autores definen como problema a toda desviación de una norma o de algo establecido. En este caso, un accidente es un hecho que no debiera ocurrir y que no está planeado.

El proceso de análisis por cambio involucra seis pasos:

- 1) Considerar la situación accidental.
- 2) Establecer una situación similar pero sin accidentes.
- 3) Comparar las situaciones 1) y 2).
- 4) Establecer todas las diferencias, aunque parezcan irrelevantes.
- 5) Analizar las diferencias para encontrar relaciones entre ambas situaciones.
- 6) Integrar la información en el proceso investigado.



3.3. Conclusión o síntesis.

La síntesis es la recomposición de lo separado por el análisis, es decir la integración de los factores en un conjunto coherente.

La síntesis o conclusión es el resultado que engloba dentro de sí al cúmulo de apreciaciones que se hicieron a lo largo del proceso de investigación.

Es evidente que no hay una sola causa del accidente, sino un conjunto de causas.

La incorporación de causas probables en una conclusión es legítima, y no debe desdeñarse su uso.

3.4. Recomendaciones

Son todos aquellos cambios que deben realizarse para evitar la repetición del accidente; deben ser medidas de orden práctico.

Si se llevan a cabo, el paso del tiempo constituirá la mejor prueba de su efectividad.

3.5. Código para la investigación de accidentes marítimos e incidentes (CIMC, OMI).

Las resoluciones 849 (20) y 884 (21) de la OMI son referencias fundamentales, ya que, a pesar de ser sólo recomendaciones - no son de obligado cumplimiento - establecen el marco legal de trabajo que los Estados miembros de la OMI tendrán que desarrollar en el futuro. De esta manera, la OMI indicaba el camino a seguir para cumplir con la regla 21 del SOLAS.

En Europa este Código se ha establecido a partir de dos directivas: La Directiva 1999/35/CE sobre el régimen de reconocimientos obligatorios para garantizar la seguridad en ferris RO-RO y buques de alta velocidad (HSC) y la Directiva 2002/59/CE sobre el establecimiento de un sistema comunitario de seguimiento y de información sobre el tráfico marítimo. Esta segunda directiva es más estricta que la primera al establecer como obligatoria la investigación de siniestros marítimos en los buques citados a la vez que cumpla con las especificaciones del CIMC.25

El CIMC subraya como principios fundamentales Promover un foco común de investigación de accidentes e incidentes marítimos, lo cual es requerido por las convenciones internacionales sobre seguridad y polución marítima y fomentar la colaboración entre Estados involucrados en investigaciones que tengan el objetivo de determinar los factores y contribuir al esclarecimiento de los siniestros.



Los principales puntos que se establecen en el CIMC para la investigación de un accidente son:

- Define los términos “accidente muy grave” y “accidente grave”:
 - Accidente marítimo muy grave: el sufrido por un buque con pérdida total de éste, pérdida de vidas humanas o contaminación grave.
 - Accidente marítimo grave: aquel que sin reunir las características del accidente muy grave entraña incendio, explosión, abordaje, varada, contacto, averías por mal tiempo, averías causadas por hielos, grietas en el casco o supuesto defecto del casco u otros, que a su vez provocan alguna de las siguientes consecuencias:
 - 1) Lesiones graves a las personas.
 - 2) Averías estructurales que hacen que el buque no sea apto para navegar.
 - 3) Contaminación.
 - 4) Una avería que obligue pedir ayuda a otro buque o a tierra.
- La investigación empezará lo antes posible después de ocurrido el siniestro.
- La investigación debe ser detallada e imparcial. Para ello se ejecutará de forma independiente a las partes implicadas, incluyendo al Estado.
- Los investigadores han de estar debidamente cualificados y deben tener fácil acceso a la información relativa a seguridad. El acceso a la información no deberá impedirse so pretexto de que haya otras investigaciones en curso.
- Se exige la transparencia investigadora (excepto documentación y declaraciones personales protegidas por el derecho a la intimidad) y la publicación de los informes finales.
- La investigación gozará de la misma prioridad que la investigación judicial, penal o de otra índole.
- Todo Estado con intereses de consideración tendrá derecho a participar en la investigación. Es muy importante la colaboración y coordinación entre los Estados con intereses de consideración en el siniestro.
- Uno de los Estados involucrados en la investigación será designado de mutuo acuerdo como Estado líder de la investigación. Cuando un Estado no esté de acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación tendrá derecho a iniciar una investigación por su cuenta y presentar un informe distinto a la OMI.
- Todo Estado tiene derecho a realizar una investigación propia con arreglo a su legislación. Si hay más de un Estado que realice la investigación se coordinarán las fechas de las investigaciones para evitar demandas contradictorias sobre los testigos y respecto del acceso de las pruebas.
- Aunque el propósito de la investigación no es la atribución de culpa o responsabilidad, los investigadores no deben abstenerse de informar completamente acerca de las causas del siniestro, debido a que la falta o responsabilidad se podrán deducir de las conclusiones.



Un componente fundamental de la investigación es la publicación y difusión de un informe final del siniestro marítimo con el objetivo de que cualquier particular interesado se pueda familiarizar con los resultados completos y las recomendaciones de la investigación. Este informe será publicado por el Estado líder de la investigación y se pondrá al alcance de la industria marítima para asegurar una mejora de la seguridad y la protección de la vida humana en la mar.



4. Metodología utilizada. Justificación.

Para poder escoger un método lo primero será conocer y entender los distintos métodos que se usan frecuentemente en la investigación de cualquier tipo de accidente así como sus principales ventajas e inconvenientes. Escoger el método adecuado será fundamental a la hora de realizar una investigación correcta.

Los métodos en los que se va a centrar este trabajo son:

- El método del árbol de causas
- El método del análisis de la cadena causal
- El método SCRA (Síntoma-Causa-Remedio-Acción)
- El método del diagrama ISHIKAWA

4.1. Método del árbol de causas:

Es un método de investigación bastante extendido y simple. Consiste en un diagrama que reconstruye la cadena de antecedentes que lleva a un accidente indicando las conexiones lógicas y cronológicas entre ellos.

El árbol de causas facilita de manera notable la detección de causas aparentemente ocultas y que el proceso metodológico seguido nos lleva a descubrir.

Con el punto de partida en el accidente que se investiga, el método consiste en remontar la búsqueda de causas hasta el punto donde se interrumpe la investigación por una de las dos causas siguientes:

- Se identifica una causa primaria, o bien una causa que, propiciando el inicio del accidente, no precisa de una situación anterior para su explicación.
- Por una toma de datos incompleta (o puede que incorrecta), se desconocen los antecedentes que propiciaron una determinada situación.

La finalidad de este método es averiguar las causas que han dado lugar al accidente y determinar las medidas recomendadas para prevenir o evitar accidentes similares, así como corregir otros factores causales detectados. Todo accidente no se produce por una única causa sino por múltiples y en ningún caso puede reducirse solamente a los errores humanos o a los errores técnicos.

Para una correcta ejecución del método habrá que llevarse a cabo una reconstrucción “in situ” (siempre que sea posible) de las circunstancias que concurrieron en el momento inmediatamente anterior al accidente y que permitieron o posibilitaron la materialización del mismo. Esto exigirá recabar todos los datos del accidente así como cualquier dato complementario que pueda ser de interés para describir como se desencadenó éste. Siempre al construir el árbol nos vamos a encontrar una actividad del ser humano entre los primeros eslabones; la investigación será tanto mejor cuanto más profundicemos en la misma para llegar a las causas básicas que originaron el accidente.



Para la construcción de un diagrama de árbol causal se va de derecha a izquierda, partiendo del accidente, o, más actualmente, de arriba abajo estando arriba el accidente. Además existe un código gráfico para la identificación y diferenciación de hechos permanentes y ocasionales:

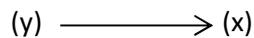


A partir del suceso último, el accidente, se delimitan sus antecedentes inmediatos y se prosigue con la conformación del árbol remontando sistemáticamente de hecho en hecho haciendo las preguntas:

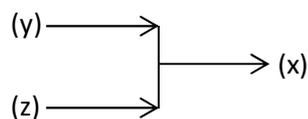
- ¿Qué tuvo que ocurrir para que este hecho se produjera? Es decir ¿Qué antecedente (y) ha causado directamente el hecho (x)?
- ¿Ha sido suficiente con el hecho (y), o han influido también otros antecedentes (t, z,...)?

En la búsqueda de las causas de los antecedentes pueden darse distintas situaciones:

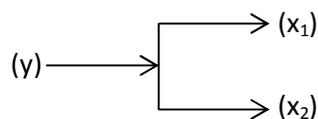
- Cadena: El hecho (x) no se habría producido si el hecho (y) no se hubiera producido y no ha sido necesario otro hecho además de (y) para que (x) se produjera.



- Conjunción: El hecho (x) no se habría producido de no producirse los hechos (y) y (z), es decir, los hechos (y) y (z) por separado no provocan el hecho (x), sino que es la unión de ambos sucesos lo que provoca el hecho (x).



- Disyunción: Varios hechos (x₁), (x₂),... tienen un mismo antecedente (y), esto es, ni (x₁), ni (x₂) se producirían sin el antecedente (y)



Este método presenta también inconvenientes, como es la dificultad de empezar los diagramas por el final cuando el hábito es empezar cualquier cosa por el principio, lo que suele dificultar el proceso. Aún con todo es un método que se ha demostrado eficaz en la investigación de accidentes y en temas de prevención.



4.2. Método del análisis de la cadena causal:

Este método está basado en el modelo causal de pérdidas, que pretende, de una manera relativamente simple, hacer comprender y recordar los hechos o causas que dieron lugar a una pérdida material o daño personal.

Para efectuar el análisis, al igual que en el método del árbol de causas, se parte del evento que se investiga, y se asciende lógicamente y cronológicamente a través de la cadena causal, pasando por cada una de las etapas que han influido en mayor o menor medida en éste. En cada etapa se buscan los antecedentes en la etapa anterior, investigando de una manera iterativa sobre el porqué de cada incidente que provocó el accidente.

Para efectuar el método se deberá pasar por cinco etapas, avanzando cronológicamente hacia atrás desde el accidente. Las etapas serán:

- Pérdidas: El resultado de cada accidente será una pérdida, que podrá afectar a personas o propiedades. El primer paso de este método será anotar cada pérdida.
- Contactos que provocaron la pérdida: El segundo paso de este método de análisis será colocar junto a cada pérdida, anteponiéndolo a la misma, el contacto que ha dado lugar a esa pérdida.
- Causas inmediatas: Las causas inmediatas de un accidente son aquellas circunstancias o comportamientos inmediatamente anteriores al accidente. Salvo excepciones son causas observables. Se dividen en “actos inseguros” cuando hablamos de comportamientos que han dado lugar a que ocurra el accidente, y “condiciones peligrosas” cuando hablamos de circunstancias externas que podrían haber provocado ese accidente. Ejemplos de actos inseguros serían la manipulación de un equipo sin la autorización necesaria, a una velocidad inadecuada o sin los correspondientes dispositivos de seguridad. Ejemplos de condiciones peligrosas podrían ser equipos o herramientas de seguridad y protección inadecuados o insuficientes, espacio limitado para realizar una acción, peligro de explosión o incendio o condiciones ambientales peligrosas.

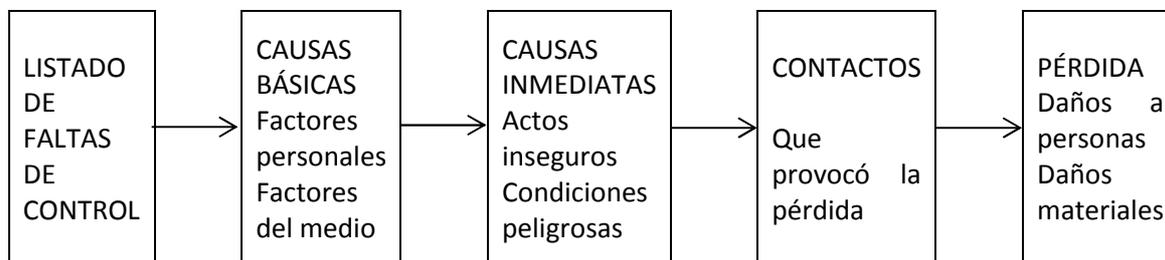
Para conseguir realizar este paso habrá de preguntarse el porqué de cada contacto, anteponiendo en el esquema cada causa a su contacto.

- Causas básicas: Las causas básicas o causas orígenes serán las razones que dan lugar a los actos inseguros y las condiciones peligrosas. Aunque generalmente obtener las causas inmediatas puede ser una tarea evidente, se requerirá una mayor investigación para obtener las causas básicas. Podemos dividir las causas básicas en dos categorías principales:
 - Los factores personales: Involucran al personal presente en el accidente. Ejemplos serían una falta de conocimiento, una falta de habilidad, una capacidad inadecuada, etc.
 - Los factores del medio: Involucran al medio donde sucede el accidente o al material accidentado. Ejemplos de esto serían un diseño inadecuado, una herramienta incorrecta, etc.



- Listado de faltas de control: El último paso consiste en identificar que normas o procedimientos no existen, no son los adecuados o no se cumplen, siendo el origen de toda la cadena causal.

Finalmente deberíamos obtener una tabla o esquema similar al siguiente:

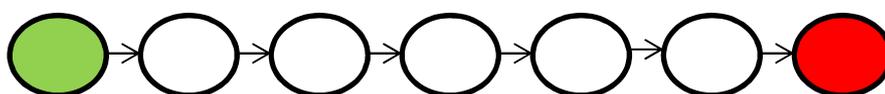


4.3. Método SCRA: Síntoma-Causa-Remedio-Acción:

El método SCRA puede ser utilizado para el estudio y análisis de accidentes e incidentes de consecuencias y potencial leves o moderados y en los que no se estudia un suceso especialmente complejo. Este método requiere de un estudio en grupo.

Los pasos para el correcto desarrollo del método son los que su nombre indica:

- Síntoma: Será el nombre con el que el método se refiere al incidente que se estudia y los hechos relacionados.
- Causa: Para el análisis de las causas del accidente habrá que preguntarse el por qué volviendo cronológicamente hacia atrás desde el accidente hasta encontrar la causa del accidente o hasta llegar a las cinco veces (la causa real del accidente se suele manifestar en la quinta pregunta). En cada paso de este análisis la respuesta se convertirá en consecuencia de una causa anterior hasta llegar al origen del accidente.
- Remedio: El equipo que estudia el incidente deberá proponer soluciones de índole preventivo para evitar en la medida de lo posible que se repita un incidente similar.
- Acción: A partir de los remedios sugeridos por el equipo se concretarán las soluciones en actuaciones detalladas, en un plan de acción.



Accidente-> 1ª causa-> 2ª causa ->3ª causa -> 4ªcausa-> 5ª causa-> Causa real



4.4. Método del diagrama de Ishikawa:

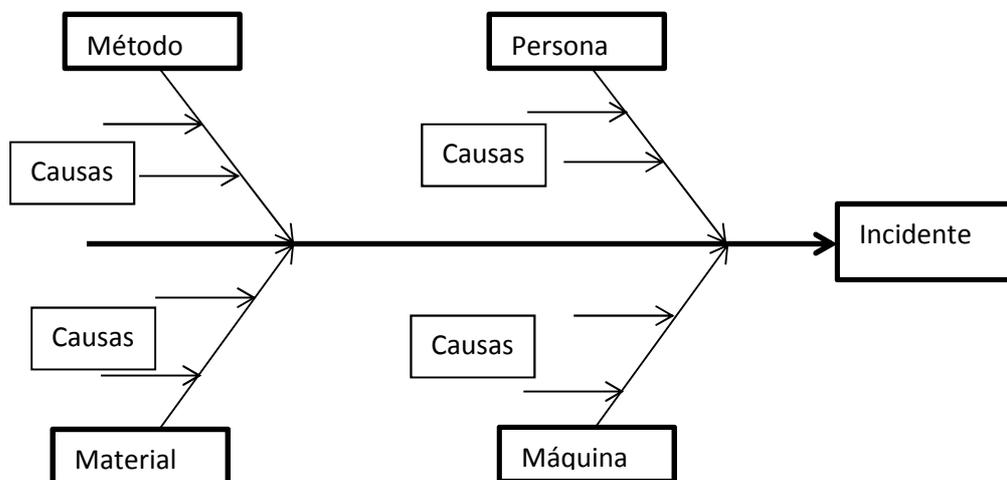
El método del diagrama de Ishikawa, o diagrama de espina de pez por su aspecto, es un método que se usa para el estudio de las causas de problemas complejos, en el caso de accidentes su uso principal estará en aquellos accidentes graves o de alto potencial, en los que el análisis puede resultar complejo y no se sabe a priori cuáles son las causas principales.

Para la realización del diagrama se desglosan las causas en los aspectos que influyen en el desarrollo de la actividad en la que se produce el accidente. Por lo general las causas se agruparán en los aspectos método, persona, material y máquina, aunque pueden incluirse otros aspectos como la naturaleza:

- Método: Se determinará si existe una instrucción o procedimiento que especifique como desarrollar el trabajo que se realizaba en el momento del incidente y se comprobará, en caso de existir, si se siguió.
- Persona: Se determinarán los aspectos humanos que pudieron de alguna manera influir en el desarrollo del incidente, como por ejemplo, el estado de ánimo, la falta de formación, etc.
- Material: Se centrará en equipos de protección de la máquina o del operario en el momento del suceso, comprobándose si estos equipos eran suficientes o adecuados.
- Máquina: Se determinará aquí cualquier factor de la máquina accidentada que pudiera haber sufrido una variación y haber contribuido de esta manera a que ocurriera el incidente.

Para la realización del diagrama, al igual que en los casos anteriores, se partirá del incidente que va a estudiarse. Éste se situará a la derecha de la hoja, y desde la izquierda se trazará una flecha horizontal que dividirá la hoja por la mitad. Hacia esa flecha se dirigirán tantas flechas como aspectos se traten, en este caso cuatro (método, persona, material y máquina).

Alrededor de cada una de estas flechas se agruparán las causas que tienen que ver con cada aspecto, pudiendo emplearse para completar estas causas el sistema de los cinco porqués usado en el método SCRA. El objetivo será llegar a la causa raíz en cada rama.





4.5. Método utilizado y justificación:

En este proyecto se trata un accidente de un buque relativamente pequeño, lo cual no representa un accidente especialmente complejo, lo que permite descartar el método del diagrama de Ishikawa. El hecho de ser un trabajo individual no permite el uso del método SCRA, puesto que una de sus condiciones es que debe ser realizado en equipo para, llegado el momento, usar una tormenta de ideas para analizar las posibles causas. De los dos métodos restantes el más eficaz, a mi parecer, es el método del árbol de causas, y será el que utilice en este proyecto.

Para la realización del informe final se seguirán las directrices del Anexo I del *Real Decreto 800/2011, de 10 de junio, por el que se regula la investigación de los accidentes e incidentes marítimos y la Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos* según sigue:

4.5.1. Contenido de los informes de investigación de seguridad marítima.

Encabezamiento:

En él se manifestará el objetivo único de la investigación de seguridad marítima, y se indicará que una recomendación sobre seguridad no puede dar lugar en ningún caso a la presunción de culpa o de responsabilidad y que la elección del contenido y el estilo del informe se han efectuado sin intención de que este pueda ser utilizado en un procedimiento judicial. (El informe no deberá hacer referencia a los testimonios de los testigos, ni podrá establecer vínculo alguno entre las personas en él mencionadas y las personas que hayan testificado en el curso de la investigación de seguridad marítima.)

1. Síntesis: En este apartado se expondrán los hechos del accidente o incidente marítimo (descripción de lo ocurrido, con indicación de fecha y hora, localización y desarrollo) y se indicará si se produjeron muertes, lesiones, daños al buque, a su carga, a terceros o al medio ambiente.

2. Datos objetivos: Este apartado contiene una serie de secciones independientes en las que se proporciona el número suficiente de datos que el organismo de investigación considere objetivamente motivados para el análisis correspondiente y la facilitación de la comprensión del caso. En dichas secciones se incluirán, en particular, los siguientes datos:

- Datos del buque:

Pabellón/registro, identificación, características principales, propiedad y gestión, pormenores de construcción, dotación mínima de seguridad, carga autorizada.

- Pormenores del viaje:

Puertos de escala, tipo de viaje, información relativa a la carga, dotación.

- Información relativa al accidente o incidente marítimo:

Tipo de accidente o incidente marítimo, fecha y hora, situación y localización del accidente o incidente marítimo, entornos exterior e interior, operaciones del buque y tramo del viaje, lugar a bordo, datos relativos a factores humanos, consecuencias (para las personas, el buque, la carga, el medio ambiente, etc.).



- Intervención de las autoridades en tierra y reacción de los servicios de emergencia:
¿Quién ha intervenido?, medios utilizados, rapidez de la reacción, medidas adoptadas, resultados obtenidos.

3. Descripción detallada: En este apartado se efectuará una reconstrucción de lo ocurrido, respetando la secuencia cronológica de los acontecimientos antes, durante y después del accidente o incidente marítimo e indicando el papel de cada elemento involucrado (personas, materiales, medio ambiente, equipamiento o agente externo). La descripción detallada cubrirá un período cuya amplitud dependerá del momento en el que se hayan producido los acontecimientos accidentales específicos que hayan contribuido directamente al acaecimiento del accidente o incidente marítimo. En este apartado también se incluirán todos los detalles pertinentes de la investigación de seguridad llevada a cabo, incluidos los resultados de los exámenes o pruebas.

4. Análisis: Este apartado contiene una serie de secciones independientes en las que se proporcionará un análisis de cada acontecimiento vinculado al accidente, acompañado de observaciones relativas a los resultados de los exámenes o pruebas llevados a cabo durante la investigación de seguridad marítima y a las medidas de seguridad que ya se hubieran adoptado para prevenir accidentes marítimos.

Las secciones tratarán cuestiones como las que se indican a continuación:

Contexto del acontecimiento accidental y su entorno, errores y omisiones humanos, acontecimientos relacionados con materiales peligrosos, factores medioambientales, fallos de los equipos y factores externos, otros factores que hayan contribuido y guarden relación con las funciones desempeñadas por personas concretas, las operaciones a bordo, la gestión en tierra o elementos normativos.

El análisis y las observaciones permiten elaborar conclusiones lógicas en las que quedan expuestos todos los factores involucrados y, en particular, aquellos que implican riesgos y para los cuales se destinan unos medios de prevención de accidentes o de supresión y reducción de las consecuencias considerados ineficaces o inexistentes.

5. Conclusiones: Este apartado permite hacer la recapitulación de los factores involucrados y los medios de protección ineficaces o inexistentes (materiales, funcionales, simbólicos o de procedimiento) que exigen la adopción de medidas de seguridad para prevenir accidentes marítimos.

6. Recomendaciones sobre seguridad: Cuando proceda, en este apartado del informe se recogerán las recomendaciones sobre seguridad formuladas a partir del análisis y las conclusiones, en relación con ámbitos concretos (legislación, diseño, procedimientos, inspección, gestión, salud y seguridad en el trabajo, formación, reparaciones, mantenimiento, asistencia en tierra y reacción de los servicios de emergencia). Las recomendaciones sobre seguridad tienen como destinatario a los agentes más indicados para ponerlas en práctica (armadores, gestores, organizaciones reconocidas, autoridades marítimas, servicios de tráfico marítimo, servicios de emergencia, organizaciones marítimas internacionales e instituciones europeas), con el fin de prevenir accidentes marítimos.

También figurarán en este apartado las recomendaciones provisionales sobre seguridad que hayan podido formularse o cualesquiera otras medidas de seguridad adoptadas durante la investigación de seguridad marítima.



7. Apéndices: Cuando proceda, se adjuntará al informe, en formato impreso o electrónico, la información que se señala a continuación (la lista no es exhaustiva):

Fotografías, imágenes de vídeo, grabaciones sonoras, cartas náuticas, dibujos, normas aplicables, terminología técnica y abreviaturas utilizadas, estudios de seguridad específicos, otras informaciones.



Parte B. Aplicación. Estudio del caso.

5. Génesis y caracterización del buque.

El nombre del buque era Barba, era una embarcación de recreo con casco de fibra tipo Baja 290 de matrícula 7ª AT XX. Portaba bandera española y fue construido en 1993. Su puerto de atraque era el de Los Alcázares.



Figura 16: Starfisher Baja 290

Sus principales datos técnicos son:

- Eslora: 8,80 m
- Manga: 3,05 m
- Calado: 0,80 m
- Desplazamiento: 11,17 TRB
- Motor: 2 Motores Mercruiser/Magnum 350 Gasolina con una potencia máxima de 270 CV cada uno.
- Velocidad máxima: 30 nudos
- Plazas totales: 8
- Material de construcción: poliéster
- Volumen de la cámara de máquinas: $1,20 \cdot 2 \cdot 0,5 = 1,2 \text{ m}^3$
- Volumen sin ocupar en la cámara de máquinas: $0,36 \text{ m}^3$
- Volumen de combustible: 300 l; el depósito iba situado bajo el camarote de popa.



Figura 17: Cámara de máquinas de una embarcación Baja 290.



Figura 18: Habitación buque tipo Baja 290.



Figuras 19 y 20: Puesto de gobierno, a estribor de la embarcación.



Figura 21: Vista de popa de una embarcación Baja 290.



Figura 22: Cuadro de mando de una embarcación Baja 290.



Figura 23: Detalle del cableado.



Figura 24: Corrosión en un motor de una Baja 290.



6. Descripción del suceso.

La descripción del suceso ha sido extraída del testimonio de los dos ocupantes que había en el buque en el momento del accidente.

El incidente sucede el día 8 de agosto de 2013. Según la descripción del patrón, el buque salió de Lo Pagán y fondeó en el Mar Menor entre las islas Barón y Perdiguera. Entre las 10:30 y las 11:00 se disponen a levar anclas y arrancar los motores para volver, cuando al darle al contacto se produce una explosión que resulta en humo y llamas. No entró a buscar un extintor ante el riesgo de que hubiera más explosiones. Decidieron saltar al agua y fueron recogidos por otra embarcación; posteriormente se hizo cargo de ellos Protección Civil, que además custodió la zona para que nadie se acerque, marcando también las coordenadas GPS que luego permitirán el reflotamiento de los restos.

Las coordenadas GPS son: 37°42'97" N; 0°50'54" W.

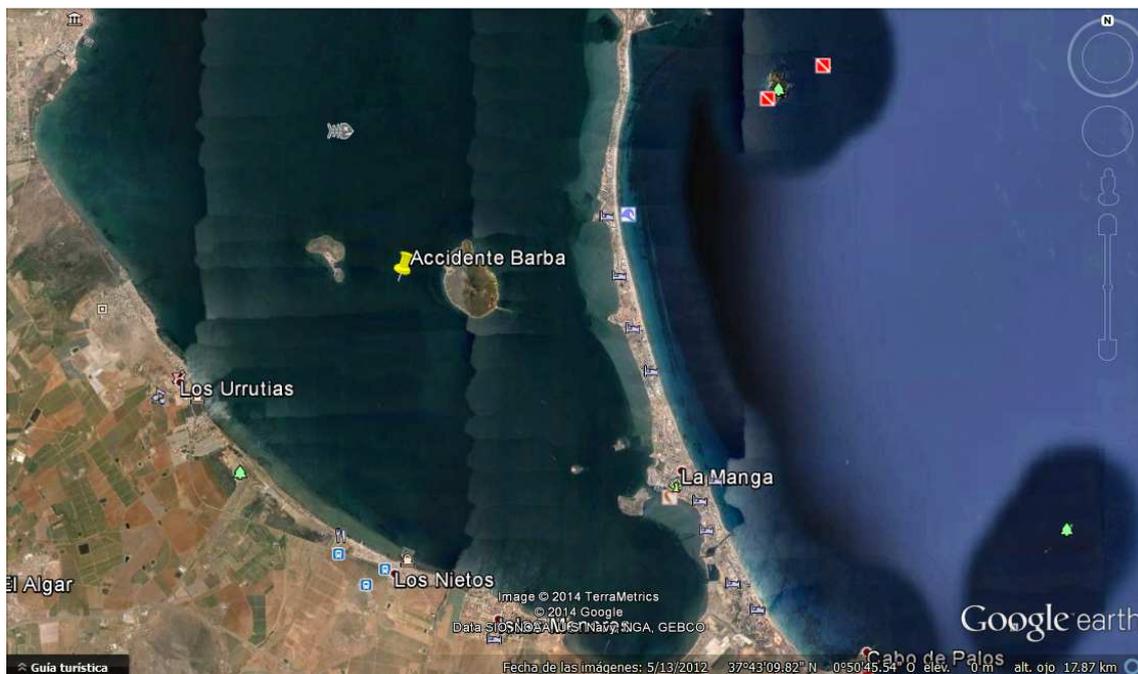


Figura 25: Imagen del lugar del accidente (Google Earth).



Figura 26: Imagen del accidente tomada por los ocupantes una vez recogidos por otra embarcación.



Figura 27: Restos reflotados del buque Barba. Vista de popa.



Figura 28: Vista de proa.

6.1. Daños sufridos:

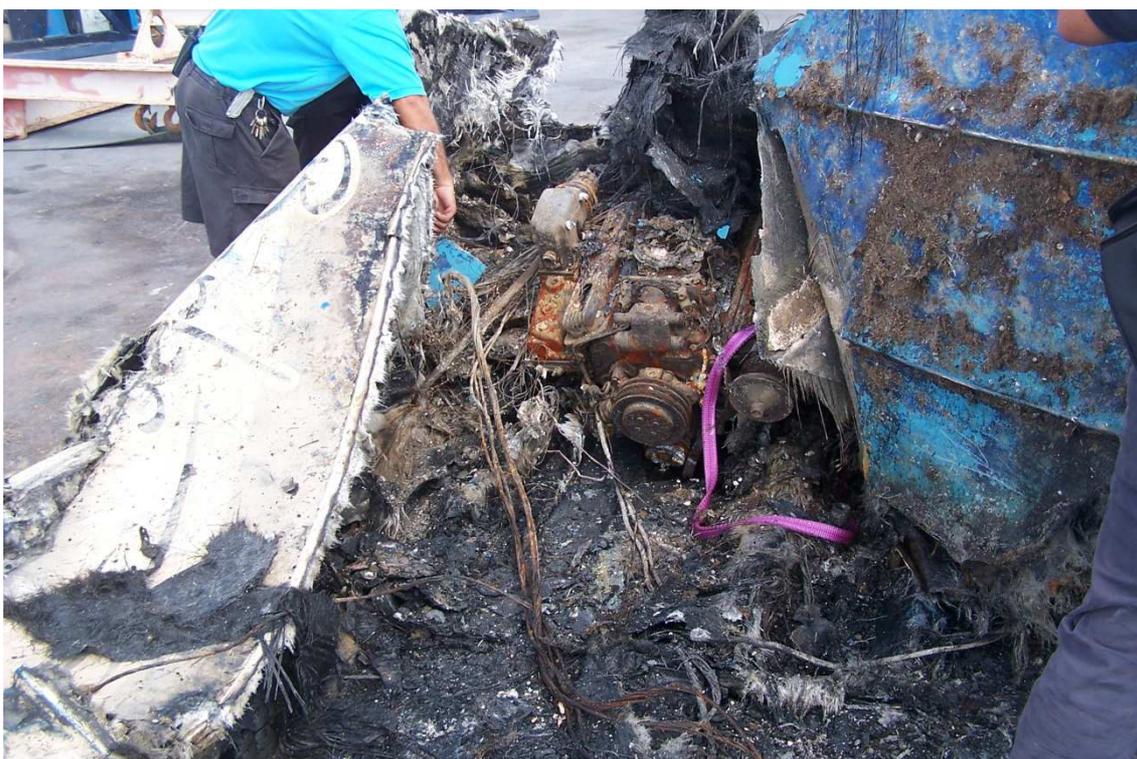
No hubo que lamentar daños personales, pero la embarcación se quemó casi por completo y se hundió.

6.2. Meteorología:

En el momento del hundimiento las condiciones meteorológicas eran buenas, la mar estaba en calma y había buena visibilidad como nos muestran las fotografías tomadas por los dos supervivientes.

En las siguientes fotografías tomadas tras el reflotamiento del Barba se aprecia la magnitud del accidente.











Figuras 29 a 38: Daños sufridos por el Barba.



7. Investigación del accidente.

Para la investigación del accidente este proyecto cuenta con información extraída de una embarcación Starfisher Baja 290 Sport cortesía de Náutica Jiménez en San Javier, así como con información adicional tal como imágenes de motores, depósitos y demás piezas.

Para que se produzca la explosión o incendio de un buque deben darse, simultáneamente, dos factores:

- 1) Debe haber una acumulación de gases.
- 2) Debe producirse una chispa que inicie la reacción.

Puesto que en el buque del presente estudio no se transportaba ninguna carga inflamable o explosiva la única situación posible para una acumulación de gases es una pérdida de combustible que se produce en el momento que se para la embarcación y que explota al volver a ponerla en marcha.

El objetivo será ahora analizar por qué hubo una acumulación de gases y que pudo producir la chispa.

- 1) Posibles causas de la pérdida de combustible:
 - Corrosión en la parte baja del depósito de combustible por la presencia de agua salada en la sentina en contacto con éste.
 - Aforador en mal estado o directamente podrido.
 - Manguera de llenado rota.
 - Un fallo puntual en el circuito. Los principales sospechosos serían el filtro, la bomba de combustible y el carburador.





Figuras 39 y 40: En estas dos imágenes se aprecia la corrosión en un depósito de aluminio idéntico al del buque Barba.



Figura 41: Manguera de llenado desprendida de otro depósito similar.



Figura 42: Bomba de combustible totalmente corroída.



- 2) Principales causas de que se produzca una chispa:
- Cable roto o flojo en el motor de arranque.
 - Extractor de gases.
 - Bomba de achique: puede haberse intentado achicar gasolina.
 - Alternador.
 - Baterías.
 - En general cualquier componente eléctrico del motor.



Figura 43: Motor de arranque suelto.



Figura 44: Alternador.



Figura 45: Motores Baja 290.



Figura 46: Situación de las baterías en una Baja 290.







Figuras 46 a 50: cuadro de mando de una Baja 290 Sport.

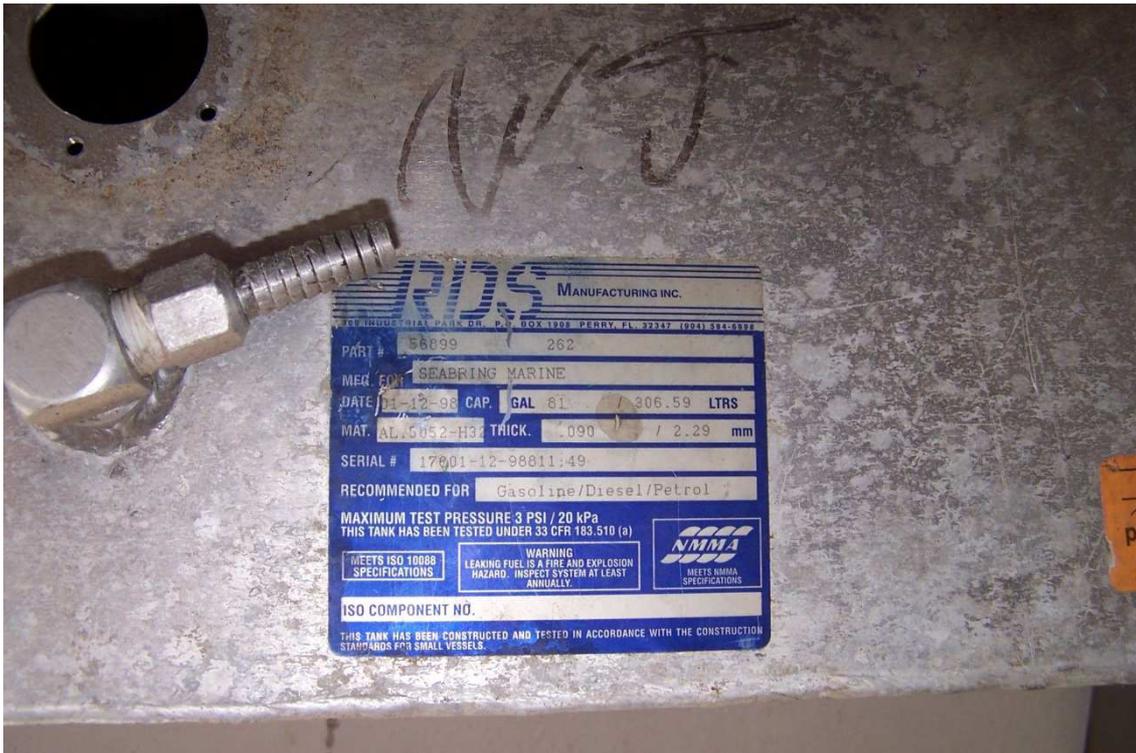


Figura 51: Ficha en un depósito de gasolina como el que llevaba el Barba.

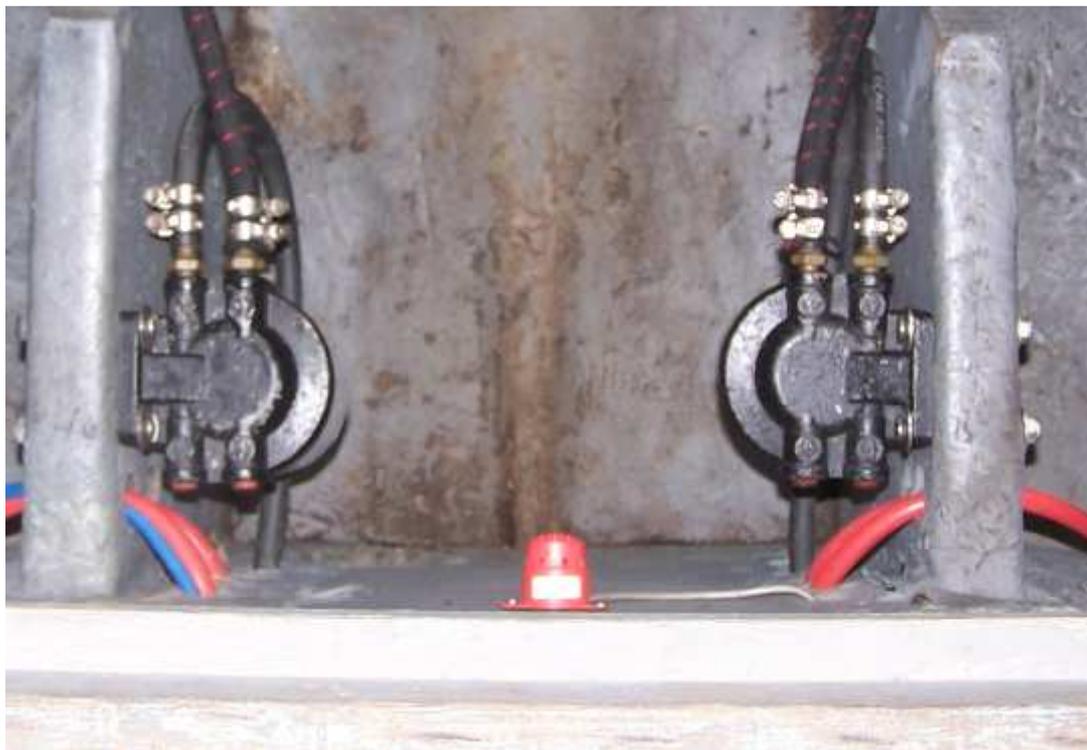


Figura 52: Sistema detector de gases inflamables en un buque similar al Barba.



Cabe mencionar el caso especial del extractor, que por estar su motor situado a proa de la cámara de máquinas y fuera de ésta no pudo producir la chispa que produjo la explosión. En las embarcaciones tipo Baja 290 es posible arrancar sin encender el extractor previamente lo cual pudo permitir una acumulación de gases que posteriormente explotaron al producirse una chispa al arrancar el motor por cualquiera de los motivos anteriormente mencionados.

8. Secuencia cronológica del accidente y análisis de variables.

Puesto que se va a usar el método del árbol de causas lo primero que habrá que hacer es listar las variables que se dieron en el accidente. Según la descripción del armador él y otro tripulante usaron el buque para llegar al Mar Menor, entre la Isla del Barón y la Isla Perdiguera, echaron el ancla y se bañaron un rato, es en ese momento cuando la gasolina empieza a acumularse en la cámara de máquinas. Entre las 10:30 y las 11:00 vuelven al buque y al arrancarlo se produce la explosión y el incendio, de lo que se deduce que o bien el extractor falló o bien no lo usaron al estar en ese buque permitido el arranque sin usar el extractor. Es también el momento en el que se produce el chispazo en cualquier componente eléctrico del motor.



Figura 53: Botón del extractor (blower) en el cuadro de mando.



Figuras 54 y 55: Motor del extractor a proa de la cámara de máquinas y rejillas del extractor en la banda de estribor.



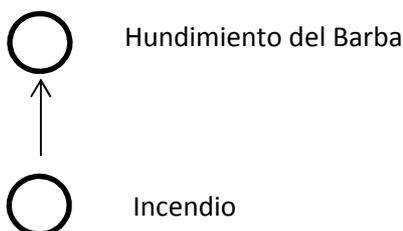
Recapitulando, las variables que nos quedan son las siguientes:

- El buque se hunde.
- Se produce una explosión y un incendio.
- Se acumula combustible por un fallo indeterminado en el depósito. Aunque se conocen varias posibles causas al no encontrarse ningún resto del depósito no puede confirmarse o negarse ninguna.
- Se produce un chispazo en el motor que inicia la deflagración de los gases del combustible.
- No se enciende el extractor, ya sea por un fallo o por una distracción.

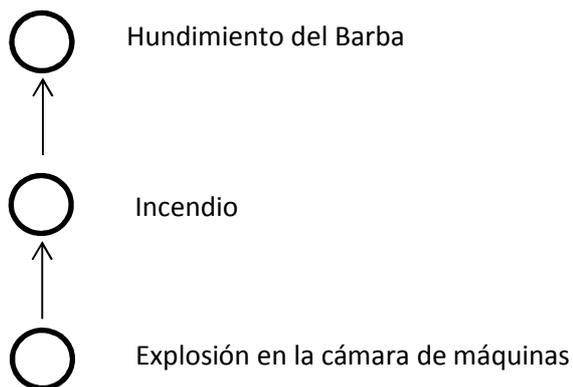
Para la investigación se usará el método del árbol de causas tal y como consta en el apartado *Metodología utilizada. Justificación.* debido a que los métodos de Ishikawa y SCRA, aun pudiendo ser más completos, requieren de equipos de personas y el método del análisis de la cadena causal puede quizás ser bastante simple para este suceso; recordando brevemente, este método consiste en partir del suceso final e ir preguntándose para cada suceso “¿Qué ha sido necesario para que este suceso ocurra?” e inmediatamente después “¿Ha sido necesario otro hecho?”. El proceso terminará cuando se tenga el porqué de cada causa o éste no pueda ser determinado. Se distinguirá entre hechos ocasionales, indicados con círculos, y hechos permanentes, indicados con cuadrados. Cuando no se pueda conocer el porqué de un suceso ya sea por incapacidad o por ser este el hecho origen se indicará con un signo de interrogación y no se avanzará más en esa rama.

Una vez conocidos los hechos partimos del último, el hundimiento.

- ¿Qué fue necesario para que se produjera el hundimiento del buque Barba?
- Un incendio a bordo.
- ¿Ha sido necesario otro hecho?
- No.

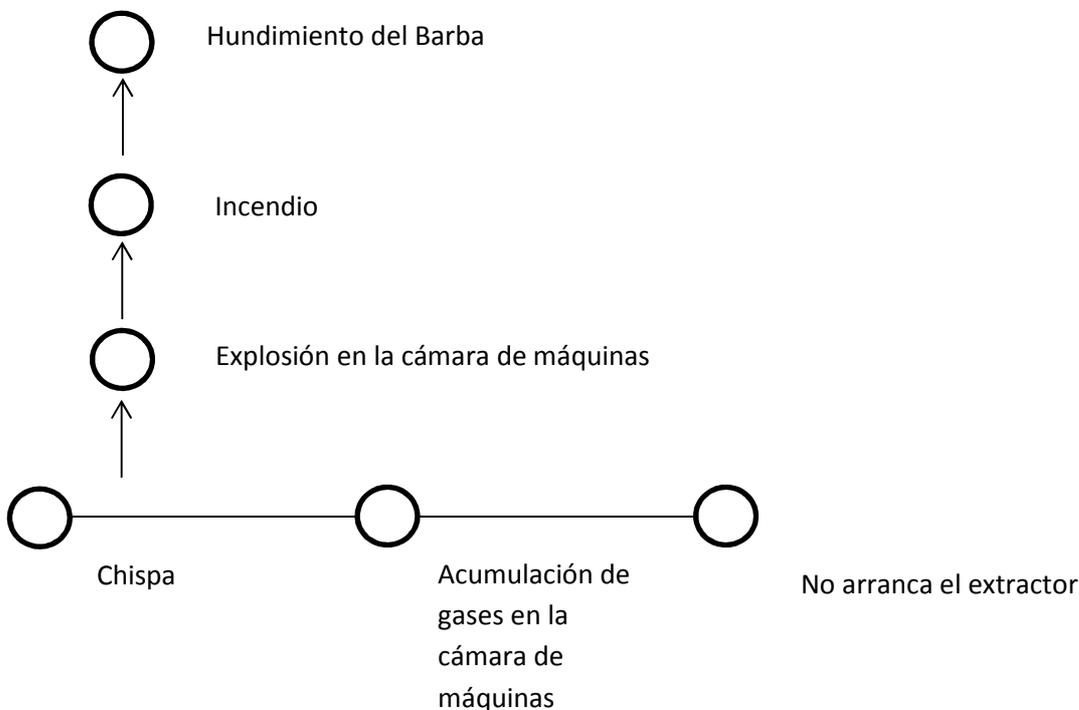


- ¿Qué fue necesario para que se produjera el incendio a bordo?
- Una explosión en la cámara de máquinas.
- ¿Ha sido necesario otro hecho?
- No.



- ¿Qué fue necesario para que se produjera la explosión?
- Una chispa en un componente eléctrico del motor al arrancar.
- ¿Ha sido necesario otro hecho?
- Sí, una acumulación de gases inflamables en la cámara de máquinas.
- ¿Ha sido necesario otro hecho?
- Sí, la explosión no se habría producido (al menos en ese momento) si hubiera arrancado el extractor.
- ¿Ha sido necesario otro hecho?
- No.

Aquí se produce una conjunción de sucesos, es decir, ninguno de estos sucesos por separado puede producir el suceso final. Es más, ninguna agrupación de estos sucesos producirá el siguiente si falta alguno de ellos. El diagrama en este momento queda según sigue:





Para seguir este diagrama habrá de analizarse cada columna por separado.

- ¿Qué fue necesario para que no arrancara el extractor?
- No podemos saberlo, pudo deberse a una distracción o a un fallo.

Esta columna termina entonces aquí, se comienza ahora con cualquiera de las siguientes:

- ¿Qué fue necesario para que se produjera la acumulación de gases?
- Una pérdida de combustible.
- ¿Ha sido necesario otro hecho?
- No.
- ¿Qué fue necesario para que se produjera la pérdida de combustible?

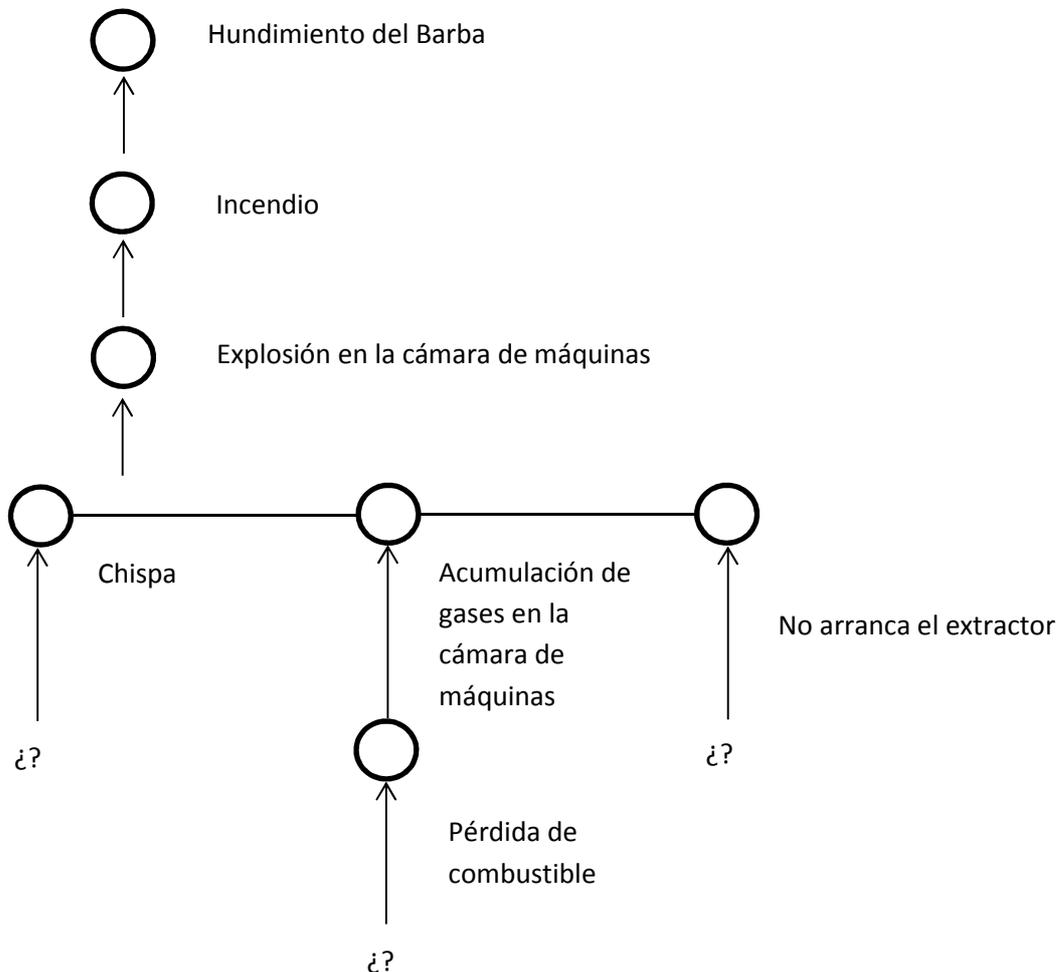
En este caso no podemos saber que produjo la pérdida de combustible ya que, debido al incendio, no se encontró ningún resto del depósito de aluminio al reflotar el pecio aunque anteriormente se han dado las principales hipótesis. En cuanto a la chispa la situación es la misma, puesto que apenas quedó nada reconocible en los motores al reflotar los restos del Barba.



Figura 56: Restos del motor del Barba.



Por lo que el diagrama de árbol nos queda según sigue:



Ahora se procederá a buscar la causa más probable mediante una matriz de causas en la que se cruzarán las distintas causas que llevan a producir una chispa al arrancar con las causas de una pérdida de combustible:

Chispa/Comb.	Corrosión	Aforador	Manguera	Fallo puntual
Alternador	Muy poco probable	Muy poco probable	Poco probable	Poco probable
Motor de arranque	Poco probable	Poco probable	Probable	Poco probable
Extractor	Muy poco probable	Muy poco probable	Muy poco probable	Muy poco probable
Bomba de achique	Muy poco probable	Muy poco probable	Muy poco probable	Muy poco probable
Baterías	Muy poco probable	Muy poco probable	Muy poco probable	Muy poco probable



Con esto se ve que aun sin poder garantizar la causa si se puede estimar como más probable una causa frente a las demás.

Con esta información ya se puede realizar un informe técnico para esclarecer que ocurrió en la embarcación y lanzar una serie de recomendaciones para, en la medida de lo posible, intentar evitar que un suceso así vuelva a suceder.



Parte C. Informe. Valoración y conclusiones.

9. Informe técnico.



INFORME DE ACCIDENTE MARÍTIMO

INFORME SOBRE EL HUNDIMIENTO DE LA EMBARCACIÓN BARBA

EN EL MAR MENOR EL DÍA

8 DE AGOSTO DE 2013



ADVERTENCIA

El presente informe es un documento de carácter técnico que refleja las conclusiones en relación con las circunstancias en que se produjo el accidente objeto de la investigación, sus causas y sus consecuencias, sin que se haya dirigido a la declaración o limitación de derechos ni de responsabilidades personales o pecuniarias.

Esta investigación al tener un carácter exclusivamente técnico, ha sido efectuada sin recurrir necesariamente a procedimientos de prueba y sin otro objeto fundamental que la prevención de futuros accidentes.

La investigación recogida en este informe ha sido efectuada sin otro objeto fundamental que determinar las causas técnicas que pudieran haber producido los accidentes e incidentes marítimos y formular recomendaciones al objeto de mejorar la seguridad marítima y la prevención de la contaminación por los buques para reducir con ello el riesgo de accidentes marítimos futuros.

Por tanto, el uso de los resultados de la investigación con una finalidad distinta que la descrita queda condicionada, en todo caso, a las premisas anteriormente expresadas, por lo que no debe prejuzgar los resultados obtenidos de cualquier otro expediente que, en relación con el accidente o incidente, pueda ser incoado con arreglo a lo previsto en la legislación vigente.

El uso que se haga de este informe para cualquier propósito distinto al de la prevención de futuros accidentes puede derivar en conclusiones e interpretaciones erróneas.

Sinopsis:

El día 8 de Agosto de 2013 entre las 10:30 y las 11:00 se produce una explosión seguida de un incendio en la embarcación Barba, anclada en ese momento en el Mar Menor entre la Isla del Barón y la Isla Perdiguera. Había dos tripulantes a bordo de la embarcación.

Los dos tripulantes de la embarcación ante el riesgo de más explosiones deciden abandonar la embarcación y son recogidos por otra, para posteriormente ser rescatados por Protección Civil.

No hubo víctimas en el accidente pero se perdió la embarcación.



El accidente:

El relato de los acontecimientos se ha elaborado a partir de las declaraciones de los testigos y de otros documentos. Las horas referidas a lo largo del informe son locales.



El día 8 de Agosto de 2013 a las 08:00 el buque Barba, embarcación Starfisher tipo Baja 290 sale del puerto de Lo Pagán con objeto de visitar las islas Barón y Perdiguera, echando el ancla entre ambas.

Después de estar un rato nadando en algún momento entre las 10:30 y las 11:00 los dos tripulantes vuelven a la embarcación y se disponen a levar anclas y arrancar de vuelta a puerto cuando se produce una explosión en la cámara de máquinas de aproximadamente 1,2 m³ seguida inmediatamente de un incendio. Ante la posibilidad de nuevas explosiones y viendo como el incendio comienza a extenderse ambos tripulantes deciden abandonar la embarcación saltando al agua donde posteriormente son recogidos por otra embarcación que avisa a Protección Civil.

Protección Civil se hace desde ese momento cargo de ambos tripulantes y custodia el barco para evitar que nadie se acerque ante el riesgo de nuevas explosiones. Toma nota también de las coordenadas GPS del accidente para la posterior localización y recuperación de los restos. Las coordenadas son: 37° 42' 97" N, 0° 50' 54" W.

El buque acaba hundiéndose debido al incendio. Se encarga la investigación del caso a la Capitanía Marítima de Cartagena.



Buque Starfisher Baja 290 idéntico al Barba.



Datos objetivos:

- Datos del buque:

Pabellón/Registro	España. Los Alcázares.
Identificación	Matrícula 7ª AT -----.
Tipo de buque	Embarcación de recreo/deportiva.
Características principales	<ul style="list-style-type: none"> - Eslora: 8,80 m - Manga: 3,05 m - Calado: 0,80 m - Desplazamiento: 11,17 TRB - Motor: 2 Motores Mercruiser/Magnum 350 Gasolina con una potencia máxima de 270 CV cada uno. - Velocidad máxima: 30 nudos - Plazas totales: 8 - Material de construcción: poliéster - Volumen de la cámara de máquinas: $1,20 \cdot 2 \cdot 0,5 = 1,2 \text{ m}^3$ - Volumen sin ocupar en la cámara de máquinas: $0,36 \text{ m}^3$ - Volumen de combustible: 300 l
Propiedad y gestión	Propiedad de un particular.
Pormenores de construcción	<ul style="list-style-type: none"> - Astillero de construcción: Astilleros Lema - Lugar de construcción: Almería, España. - Año de construcción: 1993 - Marca: Starfisher - Modelo: Baja 290 - Material del casco: Fibra
Dotación mínima de seguridad	No consta (no obligatorio en buques de este tipo).
Carga autorizada	Hasta 8 personas.

- Pormenores del viaje:

Puertos de escala	El buque parte del puerto de Lo Pagán.
Tipo de viaje	Recreo.
Información relativa a la carga	No consta.
Dotación	Dos tripulantes.
Documentación y certificados del buque	Todos sus certificados estaban en vigor.



- Información relativa al accidente marítimo:

Tipo de accidente o incidente	Explosión e incendio.
Fecha y hora	8 de agosto de 2013 entre las 10:30 y las 11:00 am.
Localización	37º 42' 6,03" N, 0º 50' 3,24" W. Entre las islas Barón y Perdiguera en el Mar Menor.
Operaciones del buque y tramo del viaje	Los tripulantes levaron anclas y se disponían a arrancar el buque.
Lugar a bordo donde se inició el accidente	Cámara de máquinas.
Heridos/Desaparecidos/Fallecidos a bordo	No/No/No
Daños sufridos en el buque	Pérdida total del buque.
Otros daños a los buques	No.
Otros daños personales	No.

- Intervención de las autoridades en tierra y reacción de los servicios de emergencia:

¿Quién ha intervenido?	Una embarcación civil que avisa a Protección Civil y Protección Civil.
Medios utilizados	Embarcación de Protección Civil.
Rapidez de la intervención	No consta.
Medidas adoptadas	<ul style="list-style-type: none">- Rescate de ambos tripulantes- Vigilancia de la zona para evitar más accidentes con otros barcos.- Anotación de las coordenadas GPS para la posterior recuperación de los restos.

- Condiciones marítimas y meteorológicas:

En el momento del accidente la mar estaba en calma y hacía buen tiempo. La visibilidad era buena como se aprecia en las fotos de los testigos.

- Otros datos:

El compartimento del motor se situaba a popa de la embarcación, contando el buque con dos motores Mercruiser/Magnum 350 de 354 kW cada uno y dos baterías.

El depósito de gasolina de 300 l y construido en aluminio se situaba a proa de la cámara de máquinas.

El buque no contaba con ningún tipo de detector de gases, además aunque tenía extractor podía arrancar sin éste.



Valoración y conclusiones:

A la vista de la descripción del accidente, del análisis de sus circunstancias, de las consideraciones y hechos contenidos en este informe, de la documentación que ha servido de base al mismo y de las declaraciones de los supervivientes, se ha determinado que la causa del siniestro de la embarcación de recreo Barba fue el incendio declarado a bordo como consecuencia de una explosión en su cámara de máquinas.

Dicha explosión se debió a la conjunción de varios factores:

- Acumulación de gases que crearon una atmósfera explosiva en la cámara de máquinas y debidos a una pérdida de combustible.
- Una chispa en el momento del arranque en algún componente eléctrico del motor.

Cabe decir que aunque la embarcación tenía extractor de gases permitía el arranque sin encenderlo previamente. La embarcación no contaba con ningún tipo de sensor que pudiera detectar la presencia de los gases inflamables.

Los principales motivos por los que pudo producirse la pérdida de gasolina que generó la atmósfera explosiva son:

- Corrosión en la parte baja del depósito de combustible de aluminio por estar en contacto con agua salada de la sentina.
- Aforador del depósito en mal estado.
- Manguera de llenado del depósito rota o mal sujeta.
- Un fallo puntual en algún punto del circuito, tal como el filtro, la bomba o el carburador.

Mientras que los principales motivos que podrían producir una chispa son:

- Fallo en el cable del motor de arranque.
- Fallo en la bomba de achique.
- Fallo en el alternador.
- Problema con las baterías.
- Fallo con cualquier componente eléctrico. Al ser una pérdida de gasolina es muy fácil que cualquier chispa por pequeña que fuera provocara la explosión a temperatura ambiente.

Vista la probabilidad de que cada uno de estos sucesos se dé se estima como causa más probable una chispa producida por el motor de arranque a la vez que se dio una pérdida de combustible por un fallo en la manguera, con la consecuente acumulación de gases que no fueron expulsados por el extractor.



Recomendaciones sobre seguridad:

1. Impedir que los buques puedan arrancar sin haber arrancado previamente el extractor. En caso de que pueda llevarse a cabo el arranque sin extracción adaptar el buque para automatizar este servicio.
2. Incluir dispositivos detectores de gases en las zonas sensibles de incendios o explosiones.
3. Un mantenimiento y una vigilancia más exhaustivos para evitar las principales causas que podrían llevar a una fuga de combustible.



Apéndices:

Se incluyen imágenes del accidente y de los restos rescatados de la embarcación.



Figura I1: Incendio en la embarcación



Figura I2: Restos de la embarcación. Vista de proa.



Figura I3: Restos de la embarcación. Vista de popa.



Figura I4: Restos de un motor a popa.



Figura I5: Detector de gases inflamables a proa de la cámara de máquinas de un buque similar al Barba.





Parte D. Bibliografía y fuentes documentales.

- Guide for conducting marine fire investigations. D.J.Tyrrell. 2013.
- Real decreto 800/2011, de 10 junio, por el que se regula la investigación de los accidentes e incidentes marítimos y la Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos.
- Código para la investigación de accidentes marítimos e incidentes (CIMC, OMI).
- Manual para la investigación de accidentes laborales. OSALAN. 2ª Edición. 2005.
- Investigación de accidentes por el método del árbol de causas. Antonio Rodríguez de Prada. 2ª Edición. 2012.
- www.fomento.es
- www.boatersresources.com
- Directiva 2009/18/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 por la que se establecen los principios fundamentales que rigen la investigación de accidentes en el sector del transporte marítimo y se modifican las Directivas 1999/35/CE del Consejo y 2002/59/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Metodología en la peritación de daños en las embarcaciones de recreo. Anet Leprevost Francisco. 2009.
- Accidentes marítimos. Comisión de Accidentes e Incidentes Marítimos. Ministerio de Fomento.
- Methods for accident investigation. Snorre Sklet. Noruega. 2002.
- Investigación de accidentes. Jorge Manrosio. Argentina. 2002.
- Guía para la prevención de incendios de origen eléctrico. Antonio de Montoliu Gili. España. 2011.
- NFPA 921 Guía para la investigación de incendios y explosiones. España. 2011.



Apéndice I: Acta de reflotamiento del buque Barba.

**ACTA REFLOTAMIENTO RESTOS EMBARCACION:
"BARBA". 7ª AT-1-63-95.**

A petición del armador [REDACTED] con DNI [REDACTED] E con domicilio en calle [REDACTED] (Murcia), propietario de la embarcación denominada: "BARBA" (marca/modelo: Baja 290) con matrícula 7ª AT-[REDACTED] que se hundió el pasado 8 de agosto en aguas del Mar menor entorno a las coordenadas 37º 42, 970 N - 00º 50, 540 W; mediante el presente escrito se

CERTIFICA que durante el 21, 24 y 26 de agosto se procedió a la búsqueda de los restos del naufragio siendo la tarde del día 26 de agosto alrededor de las 17:00 horas cuando se localizan dichos restos en las coordenadas 37º 42, 972 N - 00º 50, 563 W, a una profundidad de 4.20 metros y en un estado bastante deteriorado ya que solo se visualiza la obra viva del casco, los motores y colas y también algún pasamanos y aquilladas de los toldos, de los depósitos de combustible y las baterías no hay rastro alguno ni en el barco ni en los alrededores.

El día 27 de agosto de 2013 se procede al reflotamiento de los restos del naufragio en el que se iban a extraer los motores, colas y diversos elementos metálicos contaminantes, y una vez en el lugar y con los medios necesarios, se comprueba que los restos son suficientemente compactos como para reflotar el casco con motores y colas todo junto y trasladarlo hasta el Club Náutico de los Alcázares donde estarían los operarios de dicho puerto esperando con la grúa para proceder a su varada y posterior colocación en dique seco para su proceder a la inspección por parte de la compañía aseguradora u organismos competentes que fueran necesarios alrededor de las 21:00 horas, quedando así los restos en dique seco hacia las 23:00 horas del mismo día.

El día 28 de agosto de 2013 tras las visitas de la compañía de seguros y los organismos competentes se procede a la retirada de los restos de la zona portuaria a cargo de la empresa de reciclajes RECUPERACIONES CAMPOS con CIF.23030841-K con domicilio fiscal en la calle Manuel de Falla nave B3 del polígono industrial de los Alcázares.

Atentamente: [REDACTED] (SERVICIOS TECNICOS MARINOS)

NIF [REDACTED]





Apéndice II: Oficio de hundimiento del buque Barba.



MINISTERIO
DE FOMENTO

SECRETARÍA DE ESTADO DE
INFRAESTRUCTURAS, TRANSPORTES Y
VIVIENDA.

SECRETARÍA GENERAL DE TRANSPORTES

DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE

CAPITANÍA MARÍTIMA DE CARTAGENA.

████████████████████
████████████████████
████████████████████, MURCIA

ASUNTO: ACUERDO DE MEDIDAS PROVISIONALES RELATIVAS A LA RETIRADA DE LOS RESTOS DE LA EMBARCACION BARBA (7-AT-██████████) POR HUNDIMIENTO.

El pasado 08 de Agosto la embarcación denominada BARBA (7-AT-██████████) la cual es usted propietario, se incendió y terminó hundiéndose en el Mar Menor entorno a las coordenadas Longitud: 37º42,97' N y Latitud: 00º50,54' W.

Considerando que la Ley 41/20010 de Protección del Medio Marino establece como principios la corrección del daño causado y, así mismo, la de correr con los costes de esta subsanación; considerando, además, que dicho hundimiento está considerado como una contaminación marina; en la menor brevedad posible, los restos de la embarcación sumergida deberán ser recuperados del lugar del siniestro así como la retirada de cualquier material susceptible de causar contaminación.

Siendo el Capitán Marítimo la autoridad competente para hacerlo, en virtud de artículo 304 del Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante RDL 2/2011, por medio de este oficio, **se ordena retirar del fondo marino los restos de la citada embarcación y restituir los bienes públicos a su estado anterior.** En caso de incumplimiento, esta Administración habría de actuar subsidiariamente y se exigirán los gastos ocasionados por vía de apremio.

Para el cumplimiento de esta orden, la empresa encargada para la remoción de los aludidos restos deberá presentar un plan de retirada, que deberá ser aprobado previamente y autorizado expresamente por esta Capitanía Marítima para su ejecución.

Contra este acto, esencialmente de carácter provisional y que no agota la vía administrativa, podrá interponerse cuantas alegaciones se estimen oportunas, así como proponer prueba como convenga a los interesados, en un plazo improrrogable de tres días desde la recepción de esta resolución.

Cartagena, 20 de Agosto de 2013
EL CAPITAN MARITIMO
(P.A.) ██████████

ES COPIA

CARTAGENA N Reg:9774
Nº Doc: 201321009695 F Reg: 20/08/2013 12.25
Nº Exp: 201321004664 Dest: 997/000
D.G.M.M.

C/Pez Espada nº1
30202 Cartagena.
Teléfono: 968 52 19 16
Fax: 968 50 03 79



- Agradecimientos:

Este proyecto no podría haberse llevado a cabo sin la inestimable ayuda de su director, D. Federico López-Cerón de Lara, capaz de responder las dudas más enrevesadas y que ha mostrado una paciencia infinita.

También ha sido fundamental la ayuda prestada por **Náutica Jiménez**, en San Javier, en especial de Tomás y Magdalena, la mayoría de las imágenes de este proyecto han sido tomadas ahí, y también la mayor parte de la información.

Muchas gracias.

