

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EMPRESA

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

TRABAJO FIN DE MASTER



**ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN
Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS**



Alumno: Damián Soto García

Directora: Virginia Alarcón Martínez

Cartagena, 8 de Octubre de 2013

AGRADECIMIENTOS

Para mí, la finalización de este trabajo significa la continuación del gran proyecto de vida y de las innumerables experiencias, que me han hecho crecer aceleradamente y por otro lado, es para mí el comienzo de una nueva etapa como profesional.

Durante su realización he aprendido a valorar mucho más a mis seres queridos, amigos y todas aquellas personas que han sido un gran apoyo para llegar al final de esta etapa y a quienes indiscutiblemente dedico este símbolo de esfuerzo tan importante para mí.

En primer lugar, y como no podía ser de otra forma, agradecer a mi mujer y a mis padres por todo su apoyo, tanto en los momentos buenos como en los más difíciles, donde nunca me han fallado, además de darme la oportunidad de estudiar en un lugar de tanto prestigio como la UPCT.

En segundo lugar, quisiera agradecer a Virginia, mi directora de trabajo fin de máster, por ofrecerme este trabajo que me permite culminar la carrera e iniciar la transición al mundo laboral, siguiente etapa de mi vida en la que podré afrontar nuevos retos.

Por último, pero no por ello menos importante, a mis hermanos, que de un modo u otro han contribuido a la realización de este trabajo y a todos mis amigos que siempre han confiado en mí, por su apoyo y amistad que siempre te fortalecen en los momentos más difíciles.

Gracias a todos.

ÍNDICE

1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1. JUSTIFICACIÓN.....	1
1.1.2. RESUMEN.....	3
1.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA.....	4
1.2. OBJETIVOS.....	5
1.2.1. OBJETIVOS GENERALES.....	5
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.3. METODOLOGÍA.....	6
1.3.1. CLASIFICACIÓN DE ZONAS CON RIESGO DE EXPLOSIÓN.....	6
1.3.2. CLASIFICACIÓN POR ZONAS.....	7
1.3.3. FUENTES DE IGNICIÓN.....	9
1.4. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN DE EXPLOSIONES.....	10
1.4.1. MEDIDAS ORGANIZATIVAS DE PREVENCIÓN.....	10
1.4.2. MEDIDAS PARA EVITAR, LIMITAR O CONTROLAR LA ATEX.....	11
1.4.3. MEDIDAS PARA EVITAR EL RIESGO POR LAS FUENTES DE IGNICIÓN.....	11
1.4.4. MEDIDAS PARA ATENUAR LOS EFECTOS DE LA EXPLOSIÓN.....	12
1.5. CLASIFICACIÓN DE APARATOS PARA SU USO EN ATEX.....	13
2.1. LA PREVENCIÓN EN EL SECTOR NAVAL.....	14
2.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS DE EXPLOSIÓN.....	16
2.2.1. MÉTODOS CUALITATIVOS O SUBJETIVOS.....	16
2.2.2. MÉTODOS CUANTITATIVOS.....	16
2.3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....	17
2.4. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE).....	17
2.5. LISTA DE CHEQUEO (CHECK LIST).....	24
2.6. QUE PASA SI (WHAT IF).....	24
3.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	25
3.1.1. CÁMARA DE BATERÍAS.....	25
3.1.2. TANQUES DE LASTRE Y DE COMBUSTIBLE.....	30
3.1.3. FABRICACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DEL SUBMARINO.....	31
3.1.4. SOLDADURA OXIACETILÉNICA.....	33

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

3.1.5. SENTINAS DEL SUBMARINO.....	34
3.1.6. CABINA O TALLER DE PINTURA.....	35
3.2. ANÁLISIS CHECK LIST.....	36
3.3. ANÁLISIS WHAT IF.....	42
3.4. ANÁLISIS AMFE.....	47
4.1. RESULTADOS.....	54
5.1. CONCLUSIONES.....	58
5.1.1. CONCLUSIONES GENERALES.....	58
5.1.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	58
6.1. FUTURAS LÍNEAS.....	59
7.1. BIBLIOGRAFÍA.....	60
8.1. ANEXOS.....	62
8.1.1. DEFINICIONES.....	62
8.1.2. NORMATIVA.....	63
8.1.3. PLANTILLAS DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN.....	66

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. JUSTIFICACIÓN

Tanto las innovaciones tecnológicas como los modernos procesos productivos, con la correspondiente incidencia en el diseño de los nuevos puestos de trabajo, así como los riesgos inherentes a los mismos, hacen necesario garantizar un alto grado de protección de la seguridad, la higiene y la salud de los trabajadores¹.

En España, además de la evidencia de un mundo productivo y laboral en permanente cambio, se registran unas altas cifras de siniestralidad laboral que, en los últimos años, ha ido creciendo de manera constante. Las cifras de accidentes de trabajo, superiores a las de los países de la Unión Europea, han hecho sonar las alarmas y han convertido a la seguridad y la salud en el lugar de trabajo en una prioridad de las administraciones públicas y de los agentes sociales, sindicales y organizaciones empresariales.

La existencia de elementos normativos obsoletos, por un lado, y la nueva sensibilidad política hacia un problema de consecuencias sociales inadmisibles, han motivado una amplia reforma del viejo sistema de seguridad e higiene en el trabajo y la instauración de un modelo nuevo a partir de la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL).

Este nuevo modelo, junto con la necesidad de transposición de un amplio número de Directivas específicas en la materia, ha necesitado un amplio desarrollo reglamentario para poder desplegar toda su operatividad.

Según el análisis de accidentes de trabajo producidos por explosiones e incendios realizado por el Técnico Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo²:

Los factores de riesgo que pueden causar Accidentes de Trabajo pueden clasificarse, atendiendo a su origen, en tres grandes grupos: factores de carácter estructural, factores ligados a las instalaciones y factores ligados a las máquinas, los equipos y las sustancias utilizadas.

Algunos agentes materiales en combinación con ciertos mecanismos de producción del accidente pueden generar daños graves si se produce una liberación incontrolada de la energía que generan.

Las explosiones y los incendios forman gran parte de estos mecanismos altamente cruentos.

¹ María Asunción Izquierdo Barrientos. *PFC Procedimiento para la evaluación de la seguridad de un frenómetro.*

² INSHT. *Análisis de accidentes de trabajo producidos por explosiones e incendios.*

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Los accidentes de trabajo en los que están involucrados, en sus mecanismos de producción, las explosiones e incendios presentan, afortunadamente, baja incidencia. Así, según datos de siniestralidad de 1999 las explosiones e incendios sólo representaron 17 de cada 1000 accidentes de trabajo en jornada de trabajo con baja (AT).

Sin embargo, otro aspecto a tener en cuenta es la repercusión, en términos de gravedad de este tipo de accidentes. Así, mientras que 1,3 de cada 1000 AT registrados en 1999 fueron mortales, la letalidad específica para los accidentes por explosiones e incendios fue de 11 y 12 accidentes mortales por cada 1000 AT, respectivamente. Estos dos mecanismos, ocupan en términos de letalidad relativa el quinto y sexto puesto, siguiendo a las patologías no traumáticas, los atrapamientos por vuelco; la exposición a contactos eléctricos y los atropellos o golpes con vehículos.

Si en vez de la letalidad, tomamos como parámetro la proporción de AT graves, estos dos mecanismos también tienen una enorme relevancia. Para el total de AT con baja registrados en 1999, 13,5 de cada 1000 AT fueron graves. Esta proporción específica para los accidentes por explosiones e incendios fue de 103,8 y 71,2 accidentes graves por cada 1000 AT, respectivamente. Estos dos mecanismos, ocupan en términos de gravedad relativa el segundo y tercer lugar siguiendo sólo a las patologías no traumáticas.

Finalmente, para conocer las repercusiones que este tipo de accidentes pueden tener, se consideran otras consecuencias, entre estas, no sólo están las pérdidas materiales, también existe la probabilidad de que estos accidentes afecten a varias personas simultáneamente.

Por otra parte, si observamos datos más recientes, esta vez del año 2010 y 2011, obtenidos del informe de accidente de trabajo Enero-Diciembre de 2011 realizado por UGT³, vemos el número de accidentes de trabajo por suceso anormal que ocasionó el accidente según gravedad, comprobando que en estos últimos años la proporción de AT graves por explosión, fuego o problema eléctrico ocupan el primer lugar.

POR DESVIACIÓN O SUCESO ANORMAL QUE OCASIONÓ EL ACCIDENTE	LEVES		GRAVES		MORTALES		TOTAL	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Desviación por problema eléctrico, explosión, fuego	3.396	3.087	135	106	21	17	3.552	3.210
Desviación por desbordamiento, vuelco, escape, emanación, etc.	14.335	12.761	117	82	2	6	14.474	12.849
Rotura, fractura, estallido, caída, derrumbe de agente material	35.159	31.483	600	536	70	72	35.829	32.091
Pérdida de control de máquinas, medios de transporte, herramientas, etc.	89.810	81.497	1.009	896	174	162	90.993	82.555

³ UGT. Informe accidentes de trabajo Enero-Diciembre 2011.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Resbalón o tropezón con caída - Caída de personas	88.396	79.701	1.415	1.295	55	41	89.866	81.037
Movimiento del cuerpo sin esfuerzo físico	114.056	105.846	615	548	17	22	114.688	106.416
Movimiento del cuerpo como consecuencia de o con esfuerzo físico	172.741	157.190	320	255	10	6	173.071	157.451
Sorpresa, miedo, violencia, agresión, amenaza, presencia	9.120	8.918	160	152	13	8	9.293	9.078
Otra desviación no incluida en los anteriores apartados	21.521	16.308	434	398	194	186	22.149	16.892
TOTAL	548.554	496.791	4.805	4.268	556	520	553.915	501.579

Tabla 1. Accidentes ocurridos en España según gravedad

Esto significa que en muchas ocasiones las personas que trabajan sufren lesiones y mutilaciones en su cuerpo e incluso llegan a perder la vida a causa de las explosiones y los incendios.

Muchas veces los elementos de seguridad aunque existen, están mal diseñados, pueden estar fabricados con materiales inadecuados o no se someten a los controles e inspecciones periódicos.

Por ello, la labor de los técnicos especializados en el área es encontrar soluciones óptimas y factibles que una vez llevadas a la práctica reduzcan la tasa de accidentes e incidentes y disminuyan las consecuencias de los accidentes provocados por atmósferas explosivas.

1.1.2. RESUMEN

A continuación se hará un resumen de este trabajo, aclarando las distintas divisiones del mismo:

En la primera parte se realizará una breve descripción del proyecto incluyendo la justificación por la que se realiza y objetivos, tanto generales como específicos. Se definirá en este apartado una empresa perteneciente al sector naval, dedicada a la construcción de buques de superficie y submarinos, se expondrán las características de esta empresa incluyendo el tipo de servicio de prevención del que dispone.

También en esta primera parte del trabajo se establecerá una metodología en la que se incluirá una clasificación de los lugares con riesgo de explosión, una clasificación por zonas y los distintos tipos de fuentes de ignición, finalmente para concluir este apartado se analizarán las medidas de prevención y protección frente a dichos riesgos.

En la segunda parte de este trabajo se hará una descripción de la prevención en el sector naval, se describirán los métodos de evaluación de riesgos ante explosiones y se explicará en qué consisten los métodos cualitativos Check list, What if y AMFE.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Posteriormente, como trabajo de campo se analizarán las zonas de un submarino en las que podemos encontrar ATEX, se especificarán las medidas de seguridad en cada una de dichas zonas y se le aplicarán tres métodos cualitativos de evaluación de riesgos, obtendremos unas conclusiones de estos análisis y propondremos medidas de control para posteriormente cuantificar algunos de los resultados obtenidos en los métodos cualitativos aplicados, para ello utilizaremos el método mínimos cuadrados.

Dedicaremos un apartado a la recopilación de las conclusiones a las que se llega una vez realizado el trabajo, tanto conclusiones generales como específicas y otro apartado en el que se propondrán líneas de trabajo futuras.

Finalmente tendrá lugar un apartado que incluirá 3 anexos, el primero incluirá las definiciones y los parámetros más importantes en relación a las ATEX. El segundo anexo aclarará la normativa de aplicación a la hora de evaluar la seguridad y los riesgos de una atmósfera explosiva en ambiente laboral, y especialmente los riesgos derivados en el sector naval.

También se agregan en este segundo anexo las disposiciones más importantes del Real Decreto 681/2003 sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo [Trasposición de la Directiva 99/92/CE (ATEX-137)], y del Real Decreto 400/1996 relativo a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas [Trasposición de la Directiva 94/9/CE (ATEX-100)].

Por último, en el tercer anexo, se expondrán las plantillas que se utilizarán más adelante para realizar los tres métodos de evaluación de riesgos: Check list, What if y AMFE.

1.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA

Este apartado estará dedicado a definir una empresa perteneciente a la industria naval, en concreto a la fabricación de barcos y submarinos, para ello, la fábrica cuenta con diversos talleres que se enumeran a continuación:

- Taller de soldadura.
- Taller de mecanizado.
- Taller de armamento.
- Taller de fundición.
- Taller de pruebas.
- Taller de pintura.
- Dique.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

La empresa dispone de 300 trabajadores, distribuidos en los diferentes talleres y oficinas, por lo que según el Reglamento de los Servicios de Prevención ha de tener un servicio de prevención propio al tener entre 250 y 500 trabajadores y realizarse actividades pertenecientes al Anexo I del Reglamento de los Servicios de Prevención, como indica en su apartado i) Actividades en la industria siderúrgica y en la construcción naval.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVOS GENERALES

En este estudio se va a analizar el marco normativo y de seguridad de uno de los riesgos más importantes que se producen en todos los sectores, incluyendo el sector naval y en especial en la construcción y reparación de submarinos, como es el caso de las atmósferas explosivas.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como trabajo de campo se aplicarán tres métodos de evaluación de riesgos cualitativos denominados CHECK LIST, WHAT IF y AMFE para las diferentes áreas donde se produzcan atmósferas explosivas en el caso de la construcción y reparación de un submarino.

Posteriormente cuantificaremos los resultados obtenidos.

Propondremos medidas preventivas para eliminar los riesgos derivados de las atmósferas explosivas y en el caso de no poder eliminarlos, evaluarlos y minimizarlos.

Para ello, en primer lugar se realizará una descripción del panorama actual legislativo relacionado con las atmósferas explosivas, para así poder aplicar esta normativa al caso en estudio.

Por todo lo citado anteriormente es objeto de este trabajo fin de máster el estandarizar un proceso de chequeo ante las diferentes formas en las que podemos encontrar riesgo de ATEX en el sector naval y para distintas zonas de trabajo de un submarino.

1.3. METODOLOGÍA

1.3.1. CLASIFICACIÓN DE ZONAS CON RIESGO DE EXPLOSIÓN

ZONAS CON RIESGO DE EXPLOSIÓN POR POLVO COMBUSTIBLE

Tendremos en cuenta unas consideraciones previas a la hora de clasificar las zonas de riesgo por polvo combustible⁴.

Las atmósferas explosivas se forman solo en concentración de polvo dentro de los límites de explosión. Téngase en cuenta que nubes de polvo en concentraciones muy elevadas no son explosivas pudiendo existir riesgo en el caso de disminuir la concentración.

Por esto mismo se puede concluir que no todas las fuentes de escape producen atmosferas explosivas.

El polvo no extraído del sistema puede formar capas que diluidas en aire darán lugar a una atmosfera explosiva.

La clasificación de zonas se hace en función de la probabilidad de que aparezca una atmosfera explosiva y parte de su importancia radica en la posterior elección de equipos con un nivel de protección apropiado, de manera que la probabilidad de coincidencia en el tiempo de una atmosfera explosiva y una fuente de ignición sea tan baja que pueda ser aceptable.

ZONAS CON RIESGO DE EXPLOSIÓN POR GAS COMBUSTIBLE

La determinación de la extensión de las ATEX formadas a partir de escapes se realiza en base a los conceptos de “entorno próximo” y “espacio alejado” de las fuentes de escape, de acuerdo con el Informe UNE 202007.

El “entorno próximo” se define mediante la distancia de dilución “dz”, que es la distancia que recorre el escape hasta que se diluye en el aire ambiente hasta una concentración igual al Límite Inferior de Explosividad (LIE).

En general, cuando los escapes ocurren al aire libre no existe posibilidad de acumulación de sustancia en el ambiente, dado que la atmosfera es un volumen infinito y, por tanto, un ambiente “infinitamente” receptor de sustancia.

Sin embargo, cuando los escapes ocurren en recintos cerrados con volúmenes finitos (“espacio alejado”), las sustancias se acumulan en el ambiente, pudiéndose definir y calcular una “concentración promedio” que depende de la tasa del escape (kg/s o m³/s), de su duración y de la tasa de ventilación general (m³/s) o tasa renovación de aire del recinto (s⁻¹).

⁴ Francisco Uña Hernandez. *PFC Optimización en el diseño de una válvula de aislamiento de explosión.*

1.3.2. CLASIFICACIÓN POR ZONAS

Las áreas clasificadas por atmósferas explosivas debidas a gas o polvo se dividen en zonas las cuales hacen referencia a la frecuencia y duración de las atmosferas explosivas⁵:

Zona 0: Área de trabajo en la que una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla está presente de modo permanente, o por un período de tiempo prolongado, o con frecuencia.

Zona 1: Área de trabajo en la que es probable, en condiciones normales de explotación, la formación ocasional de una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.

Zona 2: Área de trabajo en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanece durante breves períodos de tiempo.

Zona 20: Área de trabajo en la que una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire está presente de forma permanente, o por un período de tiempo prolongado, o con frecuencia.

Zona 21: Área de trabajo en la que es probable la formación ocasional, en condiciones normales de explotación, de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire.

Zona 22: Área de trabajo en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanece durante un breve período de tiempo.

	SUSTANCIA INFLAMABLE QUE ORIGINA LA ATEX		CARACTERÍSTICAS
	GAS/VAPOR/ NIEBLA	POLVO	
CLASIFICACIÓN DE LA ZONA	0	20	La ATEX está presente de forma permanente
	1	21	La ATEX está presente a intervalos
	2	22	La ATEX está presente de forma accidental

Tabla 2. Zonas clasificadas

⁵ Anexo I. RD 681/2003.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Los lugares en los que puede haber gases, vapores o nieblas en cantidad suficiente para formar una atmósfera explosiva se enumeran en la siguiente tabla⁶:

Lugares donde se trasvasen líquidos volátiles inflamables.
Garajes y talleres de reparación de vehículos. Se excluyen los garajes privados para estacionamiento ≤ 5 vehículos.
Interior de cabinas de pintura donde se usen sistemas de pulverización y su entorno cercano cuando se usen disolventes.
Secaderos de material con disolventes inflamables.
Locales de extracción de grasas y aceites que utilicen disolventes inflamables.
Locales con depósitos de líquidos inflamables abiertos o que se puedan abrir.
Zonas de lavanderías y tintorerías en las que empleen líquidos inflamables.
Instalaciones donde se produzcan, manipulen, almacenen o consuman gases inflamables.
Salas de bombas y compresores de líquidos y gases inflamables.
Interiores de refrigeradores y congeladores que almacenen materias inflamables en recipientes abiertos o con cierres poco consistentes.
Zonas de trabajo de la industria alimentaria con manejo de granos y derivados.
Zonas de trabajo de industrias químicas y farmacéuticas en las que se produce polvo.
Emplazamientos de pulverización de carbón.
Plantas de producción y manipulación de azufre.
Zonas en las que se producen o manipulan polvos metálicos de materiales ligeros (Al, Mg...)
Almacenes y muelles de expedición donde los materiales pulverulentos se manipulan en sacos y contenedores.
Zonas de tratamiento de textiles, talleres de confección,...
Plantas de fabricación y procesado de fibras, desmontadoras de algodón y procesado de lino.
Industria de procesado de madera tales como carpinterías.

Tabla 3. Lugares con posibilidad de formación de ATEX

⁶ ISSL. ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS. FICHA DIVULGATIVA. FD-17/2008

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

		ESTADO DE PRESENTACIÓN DE LAS SUSTANCIAS INFLAMABLES/COMBUSTIBLES	
		GASES, VAPORES Y NIEBLAS	POLVOS
Recipientes y equipos con riesgo de generación o presencia de ATEX	Depósitos	Sacos o contenedores	
	Bombas de impulsión	Equipos de ensacado	
	Bombas de vacío	Ciclones y filtros de mangas	
	Compresores	Elevador de canguilones	
	Cisternas (transporte)	Molinos	
	Reactores	Cribas	
	Mezcladores	Silos	
	Cabinas de pintado	Tolvas	
	Envasadoras de aerosoles	Lechos fluidificados	
	Hornos y otros equipos de secado	Atomizadores	
	Refrigeradores y congeladores	Estaciones de desempolvado	
	Sistemas de extracción	Equipos neumáticos	

Tabla 4. Ejemplos de recipientes y equipos con riesgo de generación o presencia de atmósferas explosivas, clasificados en función del estado de presentación de las sustancias inflamables⁷

1.3.3. FUENTES DE IGNICIÓN

A continuación se describen las fuentes de ignición más habituales en las instalaciones industriales⁸ y que son necesarias analizar a la hora de realizar la evaluación de riesgo de explosión, siendo además muy importante tener en cuenta las chispas generadas durante tareas de mantenimiento y limpieza. Si no se puede estimar la probabilidad de que existan fuentes de ignición, se debe suponer que la fuente de ignición está siempre presente.

Las fuentes de ignición se clasifican tanto para equipos como instalaciones en función de la probabilidad de que aparezcan, de la manera siguiente:

- a) Fuentes de ignición que pueden aparecer en funcionamiento normal.
- b) Fuentes de ignición que pueden aparecer solamente como consecuencia de disfunción previsible.
- c) Fuentes de ignición que pueden aparecer solamente como consecuencia de disfunción rara.

⁷ NTP 876. Evaluación de los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas (ATEX)

⁸ Apéndice II. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de Atmósferas Explosivas en el Lugar de Trabajo.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

FUENTES DE IGNICIÓN	FACTORES PARA LA IGNICIÓN
Superficies calientes.	HUMEDAD Productos con mayor contenido en humedad, generalmente necesitan mayor energía para conseguir su inflamación.
Llamas y gases calientes (incluyendo partículas calientes).	
Chispas de origen mecánico.	
Material eléctrico.	TIPOLOGÍA El límite superior de explosividad se suele situar por encima de 4000 g/m ³ .
Corrientes eléctricas parasitas, protección contra la corrosión catódica.	
Electricidad estática.	
Rayo.	
Ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF), de 10 ⁴ Hz a 3x10 ¹² Hz.	
Ondas electromagnéticas de 3x10 ¹¹ Hz a 3x10 ¹⁵ Hz.	TEMPERATURA A medida que se aumenta la temperatura del polvo este reduce su energía de inflamación.
Radiación ionizante.	
Ultrasonidos.	
Compresión adiabática y ondas de choque.	TAMAÑO DE PARTÍCULA A menor tamaño, mayor es la superficie expuesta y menor es la energía de inflamación.
Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos.	

Tabla 5. Fuentes de ignición y factores que afectan a la probabilidad de ignición

1.4. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN DE EXPLOSIONES⁹

1.4.1. MEDIDAS ORGANIZATIVAS DE PREVENCIÓN

En la práctica, las medidas técnicas se complementarán con medidas organizativas que permitan, mediante la adecuada organización de actividades y fases de trabajo, reducir al mínimo el número de empleados expuestos al riesgo o incluso evitar la exposición de trabajadores al riesgo de explosión.

MEDIDAS ORGANIZATIVAS DE PREVENCIÓN	Instrucciones de trabajo por escrito y modos operativos de ejecución.
	Cualificación adecuada y suficiente de los trabajadores.
	Permisos de actividades con fuegos, llamas o cualquier otra fuente de ignición, validados por personal designado competente.
	Vestimenta de trabajo de materiales que no produzcan electricidad estática.
	Programa de limpieza.
	Realización de controles, supervisión y vigilancia de trabajos y/o zonas de riesgo.
	Señalización de las zonas de riesgo.

Tabla 6. Medidas organizativas de prevención

⁹ REAL DECRETO 681/2003, de 12 de junio.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

1.4.2. MEDIDAS PARA EVITAR, LIMITAR O CONTROLAR LA ATEX

El riesgo de explosión desaparece cuando se evita la formación de atmósferas explosivas. Esto se consigue actuando sobre cualquiera de los parámetros que intervienen en su formación.

ACTUACIÓN SOBRE LAS SUSTANCIAS INFLAMABLES

Eliminación o sustitución de la sustancia inflamable: para eliminar el riesgo, la mejor solución implica reemplazar las sustancias inflamables por otras que no lo sean, si no se puede, entonces reemplazarlas por otras que sean menos peligrosas. Por ejemplo: sustituir los productos disolventes o de limpieza inflamables por soluciones acuosas.

ACTUACIÓN SOBRE LOS PROCESOS

Otra posible alternativa es diseñar procesos que sean menos peligrosos o actuar de forma que se eviten o minimicen los escapes.

MEDIDAS PARA EVITAR, LIMITAR O CONTROLAR LA ATEX	ACTUACIÓN SOBRE LAS SUSTANCIAS INFLAMABLES	Reducir la cantidad de sustancias peligrosas al mínimo.
		Actuar sobre la granulometría de los polvos combustibles.
		Trabajar en procesos húmedos.
		Actuación sobre la concentración de la mezcla combustible-aire.
		Captación de vapores o polvos.
		Ventilación general por dilución (válido para gases, vapores y nieblas).
		Limpieza frecuente de los depósitos de polvos.
		Trabajar en atmósferas inertes.
	ACTUACIÓN SOBRE LOS PROCESOS	Control de puntos vulnerables.
		Segregación de procesos.
		Transporte interno seguro.
		Instalación de detectores.

Tabla 7. Medidas para evitar, limitar o controlar la ATEX

1.4.3. MEDIDAS PARA EVITAR EL RIESGO POR LAS FUENTES DE IGNICIÓN

En general, las zonas clasificadas deberían estar libres de todo el material que no fuese indispensable. Se deben eliminar las llamas, superficies calientes, chispas de origen mecánico y/o eléctrico, descargas electrostáticas, sobrecalentamientos por fricción mecánica de los materiales eléctricos, motores térmicos...

ACTUACIÓN SOBRE EL PROCESO

ACTUACIÓN SOBRE LOS EQUIPOS Y MATERIALES A UTILIZAR

Se realizará un mantenimiento específico de los equipos cuyo deterioro pueda producir calentamientos. Así, es imprescindible controlar el desgaste por aumento de vibraciones, mantener la lubricación adecuada en cojinetes y otras partes móviles previniendo también la acumulación de polvo, verificando el correcto alineamiento de ejes...

MEDIDAS PARA EVITAR EL RIESGO POR LAS FUENTES DE IGNICIÓN	ACTUACIÓN SOBRE EL PROCESO	Refrigeración.
		Separadores magnéticos, gravitatorios, cribados...
		Calentamiento indirecto.
		Sistemas de control.
	ACTUACIÓN SOBRE LOS EQUIPOS Y MATERIALES A UTILIZAR	Herramientas manuales y equipos antichispa, puesta a tierra, conexiones equipotenciales.
		Adecuación de equipos con envolventes ATEX.
		Seguridad constructiva y equipos intrínsecamente seguros.

Tabla 8. Medidas para evitar el riesgo por las fuentes de ignición

1.4.4. MEDIDAS PARA ATENUAR LOS EFECTOS DE LA EXPLOSIÓN

Como medida complementaria de las anteriormente indicadas para aquellos casos en que exista la posibilidad, aunque sea baja, de que se pueda producir una explosión, se considera necesario establecer medidas que atenúen la misma a niveles inocuos.

MEDIDAS PARA ATENUAR LOS EFECTOS DE LA EXPLOSIÓN	Dispositivos de descarga de la presión de explosión.
	Equipos resistentes a la explosión. Confinamiento de la explosión.
	Control de la onda de presión y del frente de llama.
	Sistemas de control técnico. Sistema de aislamiento de explosiones: Apagallamas, esclusas rotativas y válvulas de cierre rápido.
	Actuación sobre la configuración de los locales: Alejamiento, separación de instalaciones, interposición de obstáculos. Diseño y construcción de los locales con materiales resistentes al fuego y a la onda de presión.

Tabla 9. Medidas para atenuar los efectos de la explosión

1.5. CLASIFICACIÓN DE APARATOS PARA SU USO EN ATEX

Los aparatos destinados para el trabajo en este tipo de atmósferas se agrupan según dos grupos¹⁰:

Grupo de aparatos I: Destinados a trabajos subterráneos en minas y en las partes de sus instalaciones de superficie, en la que puede haber peligro de formación de atmósferas explosivas.

- **Categoría M1:** Aparatos que aseguran nivel de protección muy alto.
- **Categoría M2:** Aparatos que aseguran un nivel de protección alto.

Grupo de aparatos II: Destinados al uso en otros lugares en los que puede haber peligro de formación de atmósferas explosivas.

- **Categoría 1:** Aparatos diseñados para asegurar un nivel de protección muy alto. Estarán previstos para utilizarse en un ambiente en el que se produzcan de forma constante, duradera o frecuente atmósferas explosivas.
- **Categoría 2:** Aparatos diseñados para asegurar un nivel de protección alto. Están destinados a utilizarse en un ambiente en el que sea probable la formación de atmósferas explosivas.
- **Categoría 3:** Aparatos diseñados para asegurar un nivel normal de protección. Están destinados a utilizarse en un ambiente en el que sea poco probable la formación de atmósferas explosivas y en que, con arreglo a toda probabilidad, su formación sea infrecuente y su presencia de corta duración

Categoría del equipo	Zonas en que se admiten
Categoría 1	0, 1 y 2
Categoría 2	1 y 2
Categoría 3	2

Tabla 10. Categorías de los equipos

¹⁰ REAL DECRETO 400/1996

2.1. LA PREVENCIÓN EN EL SECTOR NAVAL

La industria naval al igual que muchas otras actividades industriales sufrió, en los últimos 30 años, un proceso privatización con drástica reducción de los cuadros de personal que dieron paso a la subcontratación de actividades originariamente realizadas por la empresa principal, cara a las denominadas industrias auxiliares¹¹.

Así, hoy ya parece normal que durante el proceso de construcción del buque, compartan espacio de trabajo trabajadores/as de diversas empresas, e incluso se dan casos en los que los trabajadores/as de las empresas auxiliares son superiores en número a los de la empresa principal.

Este nuevo planteamiento del trabajo, hace más compleja la organización del mismo, ya que un número importante de trabajadores/as desconocen los riesgos de los centros de trabajo y aparecen descoordinaciones entre la secuencia de tareas y hace más difícil la adecuación entre calificaciones y actividades encomendadas.

La obsesión por el precio más conveniente y el poder de contratación de ciertos gestores y responsables directos de las empresas principales hacia la subcontratación, hizo resucitar a la modalidad contractual de “prestamismo laboral”, introduciendo en el sector empresas de nueva creación, prácticamente sin estructura, y lo que aparenta una empresa es simplemente un intermediario de mano de obra barata y sin calificación profesional.

Independientemente de la exposición mayor o menor al riesgo, la temporalidad y la rotación de puestos dificulta la acción preventiva, en especial:

- La formación preventiva no puede desarrollarse con la eficacia deseada síncope la limitación temporal para desarrollarlo, y a falta de conocimiento en el desempeño del puesto de trabajo.
- La información sobre de los riesgos va unida al conocimiento del trabajo hecho, este impedido por la temporalidad.
- Las dificultades que ponen los empresarios para garantizar la formación en tiempo de trabajo.

El plazo de entrega del buque juega también un importante papel en la organización de la producción. Estos plazos de entrega son esenciales en el precio final del buque, son los factores clave de competitividad internacional en la industria naval, y están siendo la justificación utilizada reiteradamente por el mundo empresarial para mantener o consentir por las auxiliares unas condiciones de trabajo con poco o ninguno respeto a la salud y la seguridad laboral, como si los trabajadores en general hayan tenido que pagar una cuota en salud que les permita trabajar en el sector naval.

¹¹ CIG. *Guía de buenas prácticas de PRL en el sector naval.*

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

El tiempo se convierte así en el director del proyecto y, lógicamente, genera consecuencias en la organización de la empresa y en su gestión preventiva:

- La coordinación preventiva de actividades empresariales presupone la existencia de flujos de información preventiva entre las empresas principales y auxiliares, consiguiendo con esto una integración de todas las áreas afectadas. En la realidad la presión por el tiempo de ejecución dificulta a adecuada coordinación.
- Así, aparecen sustitutivos de esta necesaria coordinación como es el “nominalismo formal preventivo”, esto es, la existencia de la documentación preventiva pero sin la debida acción preventiva.
- La falta de decisión empresarial y la elevada rotación laboral de la industria auxiliar impide el desarrollo de acciones formativas continuas en el tiempo, de forma que la formación básica para el desempeño del puesto de trabajo y la formación en prevención son muy deficientes, en los casos en los que esta existe.
- La dificultad para actuar y planificar preventivamente de acuerdo con los proyectos encargados, genera que la empresa auxiliar tenga actuaciones preventivas en el centro de trabajo de la misma y no en los centros de trabajo ajenos.
- La actuación preventiva requiere tiempo para su aplicación, para formar a las personas, para corregir las situaciones de riesgo detectadas, la existencia de espacios-aula donde corregirlas, etc. Los trabajadores/as no están habituados a este proceso.
- La formación preventiva no está adaptada al riesgo generado y al oficio desarrollado. La formación impartida, por genérica, suene ser tediosa y desconectada de la realidad del puesto de trabajo y riesgos asociados.
- Falta de colaboración por parte del empresario para impartir la formación en tiempo de trabajo.

Tradicionalmente, los astilleros que tienen departamento de prevención establecen una dependencia del área de recursos humanos o personal. De esta forma, el departamento aparece como una organización externa al desarrollo del proceso productivo, teniendo como consecuencia:

- No participación en la toma de decisiones relativas a la planificación de la producción.
- No integración de la planificación preventiva en la fase del proyecto.
- Dificultad para imponer normas de seguridad laboral en las zonas encomendadas.
- Desconexión entre los objetivos de los mandos intermedios en las diferentes áreas.

2.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS DE EXPLOSIÓN

Siempre que sea posible, el empresario debe impedir la formación de atmósferas explosivas. Al evaluar los riesgos de explosión hay que determinar la posibilidad de se pueda formar dicha atmósfera, y a continuación la posibilidad de que se pueda producir la ignición.

Hay que estudiar la probabilidad y duración de atmósferas explosivas, la probabilidad de presencia y activación de focos de ignición, las sustancias empleadas, las instalaciones y procesos industriales y, finalmente, cuantificar las proporciones de los efectos.

Existen dos tipos de acercamiento al análisis de riesgos:

- El subjetivo o cabalístico, basado en el análisis cualitativo de los riesgos, con el objetivo de conseguir una primera priorización.
- Los métodos cuantitativos, basados en la aplicación de una sistemática de análisis estructurado y utilizando criterios y factores de ponderación cuya finalidad es evaluar objetivamente los riesgos.

2.2.1. MÉTODOS CUALITATIVOS O SUBJETIVOS

Basados en el juicio experto de un analista de gran experiencia o de un equipo de personas expertas. Estas valoraciones pueden cambiar mucho de un equipo analista a otro. Suelen ser métodos rápidos y rentables de priorizar los riesgos.

Contemplan otras posibilidades de ofrecer estimaciones cuantificadas que no dejan de estar sujetas a la subjetividad del analista.

2.2.2. MÉTODOS CUANTITATIVOS

Estos métodos se han desarrollado para restar subjetividad a la evaluación de los riesgos a los que están sujetas distintas actividades.

Aplicadas profusamente y hasta sus últimos pasos resultan relativamente costosos. Los resultados poseen un amplio margen de incertidumbre.

Estas metodologías permiten de manera sistemática:

- Evaluar las consecuencias derivadas.
- Hacer una aproximación a la probabilidad de que ocurran los sucesos capaces de desencadenar un accidente, la posibilidad de que los sistemas de seguridad, sistemas de mitigación, alarmas de emergencia, planes de evacuación, etc. funcionen correctamente para eliminar o reducir las consecuencias.

2.3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

No se especifica ninguna metodología específica para realizar la Evaluación de Riesgos de Explosión. Los métodos más adecuados son los que ayudan a realizar las evaluaciones de una forma sistemática, de manera estructurada, con criterios objetivos y lógicos.

En el presente trabajo, para la evaluación de riesgos de explosión en el sector naval, aplicaremos los métodos cualitativos denominados lista de chequeo (CHECK LIST), que pasa si (WHAT IF) y análisis modal de fallos y efectos (AMFE).

A continuación se dedicarán tres apartados para definir y explicar la cumplimentación de estas tres técnicas cualitativas, centrándonos en profundidad en la realización del método AMFE ya que es un poco más complejo que los otros dos.

2.4. ANALISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)

DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

El AMFE o FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) es una técnica de prevención, utilizada para detectar por anticipado los posibles modos de falla, con el fin de establecer los controles adecuados que eviten la ocurrencia de defectos. Sus objetivos son:

- Identificar los modos de falla potenciales, y calificar la severidad de su efecto.
- Evaluar objetivamente la ocurrencia de causas y la habilidad de los controles para detectar la causa cuando ocurre.
- Clasifica el orden potencial de deficiencias de producto y proceso.
- Se enfoca hacia la prevención y eliminación de problemas del producto y proceso

Carácter preventivo

El anticiparse a la ocurrencia del fallo en los productos/servicios o en los procesos permite actuar con carácter preventivo ante los posibles problemas¹².

Sistematización

El enfoque estructurado que se sigue para la realización de un AMFE asegura, prácticamente, que todas las posibilidades de fallo han sido consideradas.

¹² www.fundibeq.org

TIPOS DE AMFE

Existen dos tipos de AMFE:

- Un producto o servicio (AMFE de producto). Sirve como herramienta de optimización para su diseño.
- El proceso que permite la obtención del producto o la prestación del servicio (AMFE de proceso). Sirve como herramienta de optimización antes de su traspaso a operaciones.

En general, los dos tipos de AMFE deben ser utilizados, en una secuencia lógica, durante el proceso global de planificación. Una vez realizado el AMFE de producto/servicio, este pondrá de manifiesto el impacto que puede tener el proceso en la ocurrencia de fallos en aquel. Esto será el punto de partida para el análisis del proceso mediante un nuevo AMFE (AMFE de proceso).

A veces no se puede modificar el producto/servicio ya que nos viene impuesto. En este caso, nuestro proceso de planificación sólo requeriría un AMFE del proceso productivo o de prestación. El proceso de realización es idéntico para los dos tipos mencionados.

REALIZACIÓN

Los pasos a seguir para el desarrollo del método AMFE se explican a continuación¹³.

Paso 1: Selección del grupo de trabajo

El grupo de trabajo estará compuesto por personas que dispongan de amplia experiencia y conocimientos del producto/servicio y/o del proceso objeto del AMFE.

Se designará un coordinador para el grupo que, además de encargarse de la organización de las reuniones, domine la técnica del AMFE y, por tanto, sea capaz de guiar al equipo en su realización.

Paso 2: Establecer el tipo de AMFE a realizar, su objeto y límites

Se definirá de forma precisa el producto o parte del producto, el servicio o el proceso objeto de estudio, delimitando claramente el campo de aplicación del AMFE.

El objeto del estudio no debería ser excesivamente amplio, recomendando su subdivisión y la realización de varios AMFE en caso contrario.

Para la cumplimentación de este paso se requiere un conocimiento básico, común a todos los integrantes del grupo, del objeto de estudio. En el caso de un AMFE de proceso, se recomienda la construcción de un diagrama de flujo que clarifique el mismo para todos los participantes.

¹³ www.fundibeq.org

Paso 3: Aclarar las prestaciones o funciones del producto o del proceso analizado

Es necesario un conocimiento exacto y completo de las funciones del objeto de estudio para identificar los modos de fallo potenciales, o bien tener una experiencia previa de productos o procesos semejantes. Se expresarán todas y cada una de forma clara, concisa y por escrito.

Paso 4: Determinar los modos potenciales de fallo

Para cada función definida en el paso anterior, hay que identificar todos los posibles modos de fallo. Esta identificación es un paso crítico y por ello se utilizarán todos los datos que puedan ayudar en la tarea:

- AMFE anteriormente realizados para productos/servicios o procesos similares.
- Estudios de fiabilidad.
- Datos y análisis sobre reclamaciones de clientes tanto internos como externos.
- Los conocimientos de los expertos mediante la realización de tormentas de ideas o procesos lógicos de deducción.

En cualquier caso, se tendrá en cuenta que el uso del producto o proceso, a menudo, no es el especificado (uso previsto = uso real), y se identificarán también los modos de fallo consecuencia del uso indebido.

Paso 5: Determinar los efectos potenciales de fallo

Para cada modo potencial de fallo se identificarán todas las posibles consecuencias que éstos pueden implicar para el cliente. Al decir cliente, nos referimos tanto al cliente externo como al interno. Cada modo de fallo puede tener varios efectos potenciales.

Paso 6: Determinar las causas potenciales de fallo

Para cada modo de fallo se identificarán todas las posibles causas ya sean estas directas o indirectas. Para el desarrollo de este paso se recomienda la utilización de los diagramas causa-efecto, diagramas de relaciones o cualquier otra herramienta de análisis de relaciones de causalidad.

Paso 7: Identificar sistemas de control actuales

En este paso se buscarán los controles diseñados para prevenir las posibles causas del fallo, tanto los directos como los indirectos, o bien para detectar el modo de fallo resultante. Esta información se obtiene del análisis de sistemas y procesos de control de productos/servicios o procesos, similares al objeto de estudio.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Paso 8: Determinar los índices de evaluación para cada modo de fallo

Existen tres índices de evaluación:

- Índice de gravedad (G)
- Índice de frecuencia (F)
- Índice de detección (D)

a) Índice de gravedad (G)

Evalúa la gravedad del efecto o consecuencia de que se produzca un determinado fallo para el cliente. La evaluación se realiza en una escala del 1 al 10 en base a una "Tabla de gravedad", y que es función de la mayor o menor insatisfacción del cliente por la degradación de la función o las prestaciones.

Cada una de las causas potenciales correspondientes a un mismo efecto se evalúa con el mismo índice de gravedad. En el caso en que una misma causa pueda contribuir a varios efectos distintos del mismo modo de fallo, se le asignará el índice de gravedad mayor.

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema.	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10.	9-10

Tabla 11. Clasificación de la gravedad del modo fallo según la repercusión en el cliente/usuario¹⁴

b) Índice de frecuencia (F)

Evalúa la probabilidad de ocurrencia de que se produzca el modo de fallo por cada una de las causas potenciales en una escala del 1 al 10 en base a una "Tabla de frecuencia". Para su evaluación, se tendrán en cuenta todos los controles actuales utilizados para prevenir que se produzca la causa potencial del fallo.

¹⁴ NTP 679. *Análisis modal de fallos y efectos*. AMFE

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se produzca frecuentemente.	9-10

Tabla 12. Clasificación de la frecuencia/probabilidad de ocurrencia del modo de fallo

c) Índice de detección (D)

Evalúa, para cada causa, la probabilidad de detectar dicha causa y el modo de fallo resultante antes de llegar al cliente en una escala del 1 al 10 en base a una "Tabla de detección". Para determinar el índice D se supondrá que la causa de fallo ha ocurrido y se evaluará la capacidad de los controles actuales para detectar la misma o el modo de fallo resultante.

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción.	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.	9-10

Tabla 13. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo

Paso 9: Calcular para cada modo de fallo potencial los números de prioridad de riesgo

Para cada causa potencial, de cada uno de los modos de fallo potenciales, se calculará el número de prioridad de riesgo (NPR) multiplicando los índices de gravedad (G), de frecuencia (F) y de detección (D) correspondientes.

NPR = G·F·D

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

El valor resultante podrá oscilar entre 1 y 1.000, correspondiendo a 1.000 el mayor potencial de riesgo. El resultado final de un AMFE es, por tanto, una lista de modos de fallo potenciales, sus efectos posibles y las causas que podrían contribuir a su aparición clasificados por unos índices que evalúan su impacto en el cliente.

Podemos clasificar el NPR según los siguientes intervalos:

500 – 1000	→	Alto riesgo de falla
125 – 499	→	Riesgo de falla medio
1 – 124	→	Riesgo de falla bajo
0	→	No existe riesgo de falla

Se deben atacar los problemas con NPR alto, así como aquellos que tengan un alto grado de ocurrencia no importando si el NPR es alto o bajo.

Paso 10: Proponer acciones de mejora

Cuando se obtengan números de prioridad de riesgo (NPR) elevados, deberán establecerse acciones de mejora para reducirlos. Se fijarán, asimismo, los responsables y la fecha límite para la implantación de dichas acciones.

Con carácter general, se seguirá el principio de prevención para eliminar las causas de los fallos en su origen (acciones correctoras). En su defecto, se propondrán medidas tendentes a reducir la gravedad del efecto (acciones contingentes).

Finalmente, se registrarán las medidas efectivamente introducidas y la fecha en que se hayan adoptado.

Paso 11: Revisar el AMFE

El AMFE se revisará periódicamente, en la fecha que se haya establecido previamente, evaluando nuevamente los índices de gravedad, frecuencia y detección y recalculando los números de prioridad de riesgo (NPR), para determinar la eficacia de las acciones de mejora.

DIAGRAMA DE FLUJO

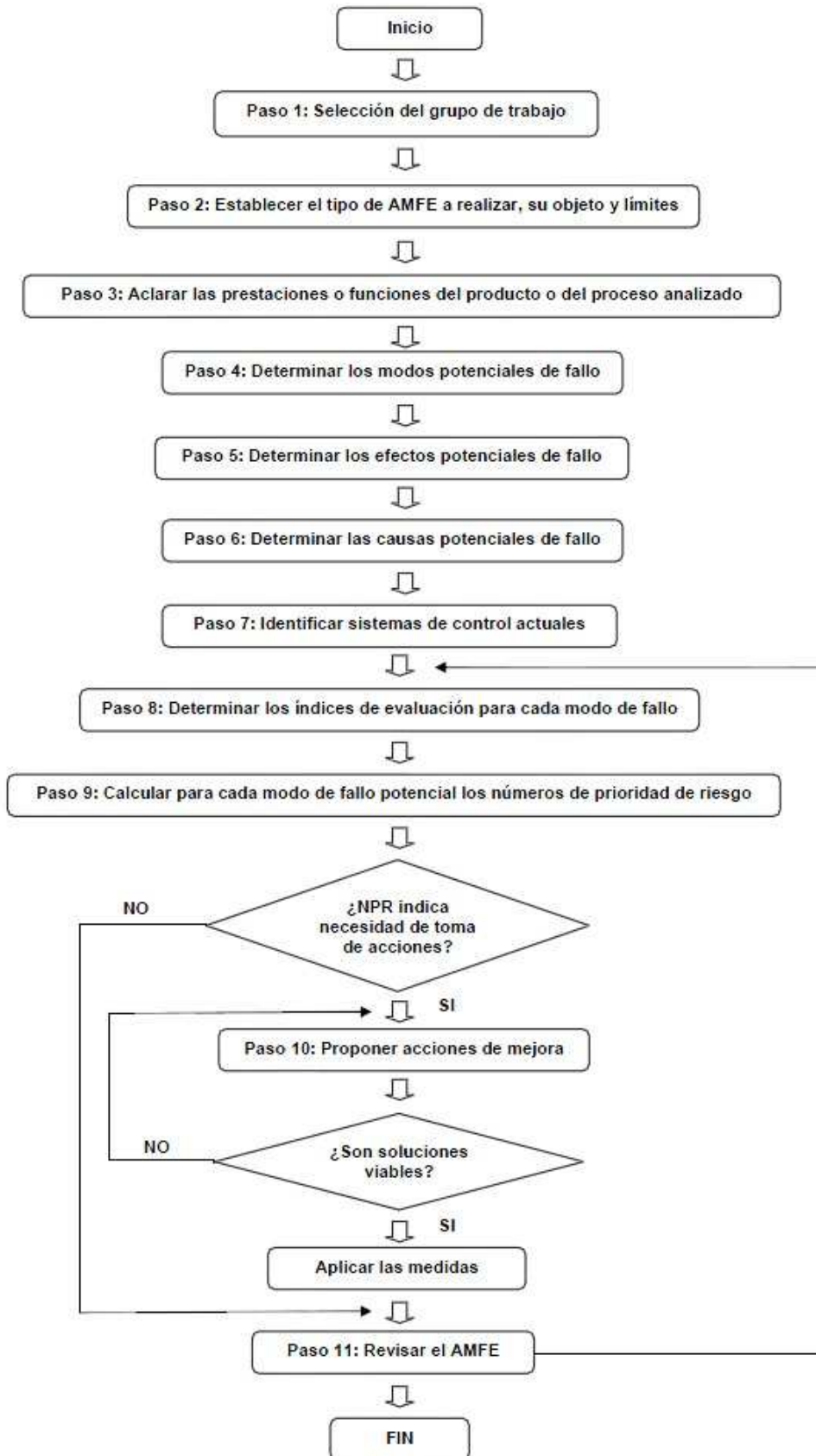


Figura 1. Diagrama de flujo del AMFE

2.5. LISTA DE CHEQUEO (CHECK LIST)

Se denomina Check List a la lista de comprobación que sirve para servir de guía y recordar los puntos que deben ser inspeccionados en función de los conocimientos que se tienen sobre las características y riesgos de las instalaciones. Viene a ser un cuestionario de preguntas en el que se responderá SI ó NO, concretamente es una lista de comprobación de determinadas condiciones de trabajo compuesta por varios ítems que pueden contener una ó varias preguntas según sea el caso.

El Check List debe referirse básicamente a cuatro aspectos distintos de la prevención de riesgos laborales:

- Al agente material: instalaciones, máquinas, herramientas, sustancias peligrosas, suelos, paredes, objetos.
- Al entorno ambiental: orden y limpieza, ruido, iluminación, temperatura, condiciones higrométricas, corrientes de aire.
- A las características personales de los trabajadores: conocimientos, aptitudes, actitudes, grado de adiestramiento, comportamiento.
- A la empresa u organización: gestión de la prevención, formación, métodos y procedimientos, sistema de comunicaciones.

Cada supervisor encargado de la prevención que deba realizar una inspección de seguridad debe elaborar y adaptar los Check List a las circunstancias de cada momento según corresponda, deben de ser lo más claros e inteligibles que sea posible. A ser posible un ítem o cuestión debe contener una sola pregunta que haga referencia a un solo elemento y no a varios.

2.6. QUE PASA SI (WHAT IF)

Esta técnica de identificación de riesgos es un método muy creativo, el cual usa la información específica de un proceso, a fin de generar una serie de preguntas que son pertinentes y apropiadas durante el tiempo de vida de una instalación industrial, los encargados de la evaluación del proceso, deberán emitir una lista con preguntas ¿Qué ocurriría si...?, no olvidando que estas listas de preguntas tipo, deberían estar divididas por procesos o áreas de trabajo.

Por tanto, este método básicamente consiste en definir tendencias, formular preguntas o interrogantes, desarrollar respuestas y evaluarlas adecuadamente, donde se debe incluir la más amplia gama de probables consecuencias, no requiriendo métodos cuantitativos especiales o una planeación concreta para dar respuesta a dichas interrogantes.

Esta técnica es ampliamente utilizada durante las etapas de diseño del proceso, así como durante el tiempo de vida o de operación de un producto o una instalación, así mismo cuando se introducen cambios al proceso o a los procedimientos de operación.

El propósito del método WHAT IF tiene tres aspectos:

- Identificar las posibles condiciones y situaciones peligrosas que pueden resultar de controles inadecuados.
- Identificar eventos que pudieran provocar accidentes mayores.
- Recomendar las situaciones requeridas para iniciar el proceso de reducir el riesgo de una instalación así como para mejorar la tolerabilidad de la misma.

3.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

A continuación se describirán las zonas y operaciones de la fabricación y reparación de submarinos en las cuales podemos encontrar formación de atmósferas explosivas. También se propondrán las medidas de seguridad pertinentes para cada caso.

Las zonas y operaciones estudiadas son las siguientes:

- Cámara de baterías.
- Tanques de lastre y tanques de combustible.
- Fabricación de la superestructura del submarino.
- Soldadura oxiacetilénica.
- Sentinas del submarino.
- Cabina o taller de pintura.

3.1.1. CÁMARA DE BATERÍAS

DESCARGA DE BATERÍAS

El valor de concentración máximo admisible de hidrógeno en aire es del 8% a una temperatura de 100 °C, por motivos de su inflamabilidad en contacto con el oxígeno del aire, se deben evitar puntos calientes, vapores de hidrocarburos, polvo oxidante en aire, estos pueden hacer descender los valores hasta un 4%, que es el valor mayormente aceptado por los técnicos.

Hay que tener en cuenta que a veces no se lleva a cabo una mezcla perfecta ni homogénea, las densidades del hidrógeno y del aire están muy separadas y podrían quedar bolsas con mayor concentración de hidrógeno en las partes altas de los locales.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Por ello, tomar el valor del 4% como nominal es arriesgado, por lo que se aplica un coeficiente de seguridad, que reduce el valor al 1% como valor práctico de la concentración media admisible de cálculo a pesar de que a bordo se adopta un valor del 2%.

Para una cantidad de $X \text{ m}^3$ de hidrógeno, la cantidad máxima de aire mezclado que se puede aceptar es del orden del 1% de X , es decir, $0,01\text{m}^3$ de X , por tanto el valor de la ventilación de la batería debería de ser del orden de 100 veces el caudal de generación de hidrógeno cuando está en carga.

El caudal debe ser de aire fresco, algo que solo se consigue en superficie con el snorkel, en inmersión solo se mueve el aire de las cámaras.

INCONVENIENTES DE LAS BATERÍAS DE PLOMO ÁCIDO

El electrolito es líquido, se producen derrames de ácido al exterior debido a una inclinación muy alta, se deben soportar inclinaciones iguales o superiores a 45° y que se considera la máxima inclinación previsible en unas condiciones anormales o externas.

Los derrames del electrolito o fuga de H_2SO_4 , si entra en contacto con el agua del mar, generan Cl_2 , gas altamente tóxico, por ello se evitarán conducciones de agua del mar por los locales de baterías.

En carga, la generación de hidrogeno en los periodos de carga, sobre todo cuando se llega al final de la última etapa ($2,35 - 2,4 \text{ V}$), o etapa de gaseo, se genera una cantidad equivalente a:

$$V \text{ (litros/hora)} = I * 0,5$$

Siendo I la intensidad de carga en Amperios, a una temperatura de 50° C y a una presión de una atmósfera.

La concentración de hidrógeno en aire puede generar riesgo de explosión si se favorecen las condiciones de incendio y explosión, como son trabajos en caliente, chispas, trabajos con puntos en caliente, etc.

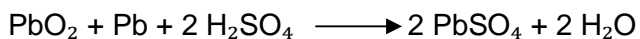
Para que tal situación se produzca, es necesario que la concentración existente sea del 4% del volumen de aire, a más temperatura, más probabilidad de inflamación.

Por consiguiente, la concentración máxima admisible en aire, no excederá del 2% teniendo en cuenta que la mezcla puede o no ser homogénea por la gran diferencia de densidades que existe entre el aire y el hidrógeno que hace que este se concentre en la parte alta de los locales donde se encuentra.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Reacción química del agitado de baterías



La primera reacción corresponde a la descarga y la segunda corresponde a la carga. Las placas están hechas de plomo y de dióxido de plomo y están inmersas en una cuba de H_2SO_4 , disuelto en agua destilada. El plomo se combina con el radical sulfato para crear SO_4Pb (sulfato de plomo), soltando un electrón.

El dióxido de plomo, los iones de hidrógeno y los de SO_4 , más los electrones de la placa de plomo forman SO_4Pb y agua, que pasan a la solución diluyéndola.

El voltaje de los elementos es de 2V aproximadamente, conectando en serie gran cantidad de elementos se obtienen voltajes de 12, 24, 48, e incluso 360 o más Voltios.

La batería de plomo ácido tiene una particularidad muy útil y es que la reacción es irreversible, si se aplica la corriente en los polos al voltaje adecuado (debe ser 0,1 – 0,2 V mayor que el de descarga), se forma un nuevo plomo y dióxido de plomo en las respectivas placas, con lo que la batería se regenera a su estado inicial, pudiendo así utilizar la batería para una nueva descarga.

En las baterías de plomo la duración media garantizada es de 5-6 años o de 5-7 millones de Amperios hora descargados/cargados, para un programa de servicio y de mantenimiento determinado aceptado por el fabricante.

TECNOLOGÍA APLICADA A SUBMARINOS

La tecnología aplicada en estas baterías actualmente es la siguiente:

- Placas positivas tubulares. Materia activa: PbO_2 .
- Placas negativas a base de cobre expandido (CSM) de alta conductividad sobre las cuales se ha depositado un recubrimiento galvánico de plomo. Materia activa: Plomo esponjoso Pb.

En los submarinos, las baterías se constituyen conteniendo un solo elemento de 2 Voltios, conectando varios de estos elementos en serie se pueden obtener tensiones muy elevadas, de hecho, los bancos de baterías en serie se pueden contener de 160 a 200 elementos, lo cual permite obtener tensiones de 320 a 400 V CC, que son las que usan los auxiliares a bordo.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Conectando en serie 2 de estos elementos se pueden llegar a 800 V CC, que permiten alimentar el MEP a alta potencia. Pasar de 800 V CC es complicado ya que el aparillaje utilizado (disyuntores automáticos) no puede soportar tensiones excesivamente altas.

Debido a la gran densidad de estas baterías (del orden de 3,5 Kg/litro) y la gran cantidad de elementos que se deben instalar a bordo para que la energía almacenada sea sustancial, se disponen en las partes bajas o fondos del submarino (por cuestiones de estabilidad), se sitúan en cámaras cerradas y separadas unas de otras, totalmente independientes, a efectos de tener una redundancia fuerte a agentes exteriores, incendios, averías, la cantidad total de las baterías necesarias se fraccionan en dos o más grupos, cámaras o bancos de baterías por motivos de seguridad y redundancia.

Las baterías son una parte importante del peso total del submarino y ocupan una parte sustancial de su eslora.

En la mayoría de los casos, las baterías contribuyen a la obtención de una estabilidad aceptable por lo que su utilidad es doble:

- Fuente de energía.
- Lastre fijo de estabilidad.

El tamaño de las baterías y su número está en función de la energía que se quiera almacenar y el diámetro del casco donde se pretendan instalar, las más corrientes son las baterías de 500 y de 700 Kg.

Se construyen de forma prismática alargada y con una base de tamaño normalizado con una altura mucho mayor que las dimensiones de su base, las de 500 Kg tienen una base de 450x360 mm y las de 700 Kg tienen una base de 500x360 mm, aunque puede haberlas de otras medidas su altura varía entre 1,1 y 1,5 m. Interesan que sean altas para poder alojarlas mejor en el casco, en su cámara y poder aprovechar mejor el espacio, aunque una excesiva altura puede provocar problemas de estratificación del electrolito, que debe compensarse con un sistema de agitado.

HACER SNORKEL

Los submarinos no nucleares son dependientes de sus salidas a superficie para captar aire para sus motores. Estos submarinos disponen de un tubo llamado snorkel por el que aspiran aire del medioambiente, para esto se ven obligados a ascender hasta una profundidad de unos 45 pies (unos 15 metros) bajo el nivel del mar, llamada profundidad de snorkel, elevando el mástil del tubo para aspirar el aire, el submarino en estas condiciones no se ve desde la superficie pero el snorkel sale del mar.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

El snorkel está conectado directamente a la aspiración de aire de sus generadores diesel y los pone en servicio, estos a su vez generan energía de corriente que cargan las baterías del submarino, estas baterías entregan progresivamente la corriente continua necesaria para poner en funcionamiento el motor o los motores eléctricos (MEP y MEC) de propulsión que son los que mueven el eje o los ejes de la hélice.

La carga de baterías dura aproximadamente 6 horas, tiempo en el que se debe aspirar aire a través del snorkel. Como medida de seguridad los fabricantes de baterías recomiendan descargarlas cuando se haya consumido el 20% de su capacidad nominal, es decir, cuando quede el 80% de la batería.

Estos submarinos disponen de tanques y botellas de aire y de oxígeno, pero no están diseñados para alimentar a los diesel generadores, por lo que si se vieran imposibilitados para subir hasta los 45 pies de profundidad no podrían recargar baterías y las consumirían hasta no poder propulsar más, entrando en situación de emergencia teniendo que ser socorridos por medios externos.

ACCESO A LA CÁMARA DE BATERÍAS

Desde el Puesto de control, navegación y operaciones (PCNO), se puede acceder a una de las cámaras de baterías por lo que la escotilla de acceso siempre estará cerrada para evitar la caída de objetos e incluso personas, siempre que se esté trabajando en la cámara de baterías, la ventilación debe estar parada para evitar que pueda aspirar partículas la cámara y generar deflagraciones y o explosiones.

Cuando se trabaje en el interior de la cámara de baterías, la tapa permanecerá cerrada para evitar aspiraciones de la ventilación por efecto Venturi, o caída de herramientas, materiales o personas.

Cualquier derrame o mancha de grasa, se limpiará de inmediato y los trapos empleados se depositarán en un contenedor para residuos peligrosos.

MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LAS CÁMARAS DE BATERÍAS

- FAT (factory acceptance test): Medición de gas que se genera durante una carga completa, permite determinar los caudales de aire de ventilación que hay que introducir y hacer circular por las cámaras para diluir el hidrógeno a los valores aceptables.
- Evitar todo tipo de trabajo en caliente.
- Evitar la suciedad tanto de las cámaras como de las rejillas.
- Instalación de alumbrado antideflagrante.
- Evitar materiales y herramientas metálicas en el interior.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

- Evitar equipos que desprendan calor excesivo.
- Evitar todo tipo de interruptores o aparatos generadores de chispas.
- Se prohibirá la introducción de teléfonos móviles en la cámara de baterías.
- Se vigilará el no llevar rebabas en las suelas del calzado de seguridad para evitar que se pueda producir alguna chispa debido al rozamiento con el suelo.
- Está prohibido encender llamas, soldar y hacer trabajos en caliente en general, tampoco se pueden introducir cerillas ni encendedores.
- Las botas de seguridad empleadas no dispondrán de hebillas y no tendrán elementos metálicos en el exterior.
- El alumbrado que se introduzca en la cámara de baterías debe ser antideflagrante y con tensión de seguridad. La zona es clasificada.
- Se evitará pasar mangueras de contraincendios por encima de la cámara de baterías para evitar derrames de agua salada en el interior y eliminar así el riesgo de generación de cloro en las mismas.
- Cuando se proceda a la apertura de la cámara, se prohibirán los trabajos en caliente, estos tendrán franja horaria para realizarlos.
- Cuando se acceda a la cámara, los trabajadores deberán sacarse todo lo que lleven en los bolsillos.
- Se tendrá especial cuidado de que el contorno de la escotilla esté limpia para que la suciedad no sea aspirada al interior de la misma.
- Se realizarán controles periódicos de atmósfera en el interior de la misma.
- Se empleará el procedimiento adecuado, comunicando la necesidad de entrar en la cámara de baterías al responsable:
 - 1º. Comprobará el depresiómetro del buque (indicará desequilibrio entre niveles).
 - 2º. Local de ventiladores. Se procederá a aumentar la intensidad de los mismos de 5-6 Amperios a 10-11 Amperios.
 - 3º. Verificar el nivel de los hidrogenómetros. Estos están situados en el PCNO, ventiladores y PCP, procediendo a continuación a medir con el explosímetro el técnico de prevención el nivel de hidrógeno, oxígeno y toxicidad.

3.1.2. TANQUES DE LASTRE Y DE COMBUSTIBLE

En estos tanques se pueden combinar las siguientes atmósferas:

- Atmósferas deficientes de oxígeno.
- Atmósferas tóxicas (CO₂, CO, SH₂).
- Atmósferas explosivas.

MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LOS TANQUES DE LASTRE Y COMBUSTIBLE

Se tendrán en cuenta las siguientes medidas de seguridad:

- Se efectuarán controles de atmósferas, porcentajes de oxígeno entre 19,5 y 21,5 %, ausencia de tóxicos e inexistencia de hidrocarburos generadores de atmósferas explosivas.
- Se evitará la presencia de grasa o aceite en la zona, sobre todo si se efectúan trabajos de corte con equipos de oxicorte ante el riesgo de explosión por el contacto del oxígeno con la grasa o el aceite.
- Se recomienda entrar en los tanques dotados de equipos de medición de oxígeno para detectar niveles inferiores a los normales como consecuencia del consumo o desplazamiento del O₂.
- El alumbrado a introducir en los tanques será con tensión de seguridad y antideflagrante. No se introducirán encendedores ni cerillas, además de estar totalmente prohibido fumar en el submarino.
- Se prohibirá introducir teléfonos móviles en tanques, lastres y cámaras de baterías.
- Se vigilará el no llevar rebabas, chinchetas u otros elementos en las suelas, pues por rozamiento pueden generar o aportar energía suficiente para provocar una deflagración o una detonación.
- El calzado de seguridad empleado, no dispondrá de hebillas, ni zonas metálicas al descubierto.
- Antes de acceder a los tanques de lastre o tanques de combustible, se procederá al vaciado, ventilado y lavado de los mismos.
- Se debe verificar que los venteos de los tanques de combustible no derramen hacia el interior del buque los gases expulsados durante la carga, debiendo modificar su ubicación si así ocurriera.

3.1.3. FABRICACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DEL SUBMARINO

Generalmente las superestructuras de los submarinos son en su mayor parte de aluminio, para su fabricación y ajuste al submarino es necesario mecanizar grandes planchas de aluminio en numerosas ocasiones hasta que quede totalmente ajustada la superestructura al casco resistente del submarino, durante este mecanizado se levantan grandes nubes de polvo de aluminio lo que conlleva un gran riesgo de explosión.

El aluminio es un sólido inflamable reactivo. En contacto con el agua, el polvo de aluminio a granel puede calentarse espontáneamente. El polvo de aluminio húmedo, dividido finamente, puede alzar llama en el aire, formando gas de hidrógeno inflamable.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

El peligro aumenta conforme disminuya el tamaño de las partículas de aluminio. Si el aluminio incendiado entra en contacto con agua, forma gas de hidrógeno inflamable, un gran peligro de explosión, particularmente si el fuego es en un área confinada. El metal de aluminio a granel, en sí, no es combustible.

Bajo ciertas condiciones, una nube de polvo de aluminio puede explotar debido a una chispa o una llama. Al evaluar el peligro de explosión de un proceso específico o una muestra de material, algunos factores importantes a considerar son: tamaño y forma de la partícula, concentración del polvo, naturaleza de las impurezas, concentración de oxígeno, humedad y nivel de contención. En la industria se han presentado explosiones de polvo de aluminio.

Antes de manipularlo, es importante que estén en funcionamiento los controles pertinentes y que se esté cumpliendo con los requisitos de equipo protector y con las medidas de higiene personal. Quienes trabajen con este químico deben estar capacitados acerca de sus peligros y su uso seguro.

MEDIDAS DE SEGURIDAD EN FABRICACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DEL SUBMARINO

- No debe existir ningún contacto con materiales incompatibles, como agua, ácidos potentes, bases fuertes y agentes oxidantes.
- Elimine toda fuente de ignición. Mantenga alejado del calor.
- No utilice el polvo de aluminio sin recubrimiento en áreas equipadas con sistemas de rocío.
- Mantenga alejado del agua. Despliegue señales de "no utilice agua" en las áreas de uso.
- Evite utilizar botellas de tapa-rosca forradas de cartón que pueda acumular humedad.
- Evite generar polvo. Prevenga la liberación de polvo hacia el aire de las áreas de trabajo. En donde se pudieran generar nubes de polvo, elimine todo contacto posible con agua, chispas, llamas y otras fuentes de ignición.
- Despliegue señales de "NO FUMAR".
- El buen aseo es muy importante para evitar la acumulación de polvo. Prevenga la acumulación de polvo en bordes u otras superficies.
- No se recomienda el uso de aire comprimido para limpiar equipo, ropa, etc. No se recomienda barrer en seco.
- Utilice un sistema de aspiración al vacío equipado con filtro(s) de alta eficiencia.
- Siempre inspeccione los recipientes en busca de daños o fugas antes de manipularlos.
- No trasiegue en el área de almacenamiento a menos que ésta área esté separada por una construcción resistente al fuego. Con mucho cuidado, trasiegue a recipientes fuertes, fabricados de materiales compatibles. Evite dañar los recipientes.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

- Utilice recipientes rotulados, a prueba de polvo. Mantenga los recipientes cerrados cuando no estén en uso.
- Utilice solamente utensilios secos y limpios al manipular el producto. Nunca devuelva material contaminado a su envase original. Los recipientes vacíos podrían contener residuos peligrosos.
- Nunca le realice una soldadura, corte, perforación u otro trabajo en caliente a un envase vacío o al equipo de trasiego hasta que se hayan eliminado todos los sólidos inflamables.
- Para controlar situaciones de riesgo debemos utilizar sistemas de ventilación que no produzcan chispa y que estén separados de otros sistemas de ventilación de emisiones.
- Las emisiones deben ir directamente al exterior. Se colocarán colectores de polvo en los exteriores o en áreas aisladas.

3.1.4. SOLDADURA OXIACETILÉNICA

La soldadura oxiacetilénica es un tipo de soldadura autógena. Se puede efectuar como soldadura homogénea o como soldadura heterogénea, dependiendo de si el material de aportación es o no del mismo tipo que el de base, o sin aporte de material como soldadura autógena.

Se usa un soplete que utiliza oxígeno como comburente y acetileno como combustible. Se produce una delgada llama color celeste, que puede llegar a una temperatura aproximada de 3500 °C.

En el sector naval es una soldadura muy utilizada ya que puede soldar cobre, acero, aluminio, latón, etc.

MEDIDAS DE SEGURIDAD EN SOLDADURA OXIACETILÉNICA

Según la NTP 495: Soldadura oxiacetilénica y oxicorte: normas de seguridad, podemos establecer los siguientes factores de riesgo de explosión o creación de atmósferas explosivas¹⁵:

- Incendio y/o explosión durante los procesos de encendido y apagado, por utilización incorrecta del soplete, montaje incorrecto o estar en mal estado. También se pueden producir por retorno de la llama o por falta de orden o limpieza.
- Incendio y/o explosión por fugas o sobrecalentamientos incontrolados.

Las normas de seguridad frente al riesgo de explosión son:

- Se prohíben los trabajos de soldadura y corte, en locales donde se almacenen materiales inflamables, combustibles, donde exista riesgo de explosión o en el interior de recipientes que hayan contenido sustancias inflamables.

¹⁵ NTP 495. *Soldadura oxiacetilénica y oxicorte: normas de seguridad*

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

- Para trabajar en recipientes que hayan contenido sustancias explosivas o inflamables, se debe limpiar con agua caliente y desgasificar con vapor de agua, por ejemplo. Además se comprobará con la ayuda de un medidor de atmósferas peligrosas (explosímetro), la ausencia total de gases.
- Se debe evitar que las chispas producidas por el soplete alcancen o caigan sobre las botellas, mangueras o líquidos inflamables.
- No utilizar el oxígeno para limpiar o soplar piezas o tuberías, etc., o para ventilar una estancia, pues el exceso de oxígeno incrementa el riesgo de incendio.
- Los grifos y los manorreductores de las botellas de oxígeno deben estar siempre limpios de grasas, aceites o combustible de cualquier tipo. Las grasas pueden inflamarse espontáneamente por acción del oxígeno.
- Si una botella de acetileno se calienta por cualquier motivo, puede explotar; cuando se detecte esta circunstancia se debe cerrar el grifo y enfriarla con agua, si es preciso durante horas.
- Si se incendia el grifo de una botella de acetileno, se tratará de cerrarlo, y si no se consigue, se apagará con un extintor de nieve carbónica o de polvo.
- Después de un retroceso de llama o de un incendio del grifo de una botella de acetileno, debe comprobarse que la botella no se calienta sola.

3.1.5. SENTINAS DEL SUBMARINO

La sentina es la parte inferior interna del casco donde convergen numerosos líquidos, tanto las aguas filtradas, las de producto de la condensación o, en el caso de las salas de máquinas, lugar a donde van a parar combustibles o aceites que se derraman de un modo incontrolado.

En los submarinos la sentina se encuentra debajo del piso de planchas por el cual como es lógico circula la tripulación. En las sentinas de los submarinos el agua se mezcla con aceites, gasolina, gasoil, filamentos, limaduras metálicas, pintura, grasa y agentes de limpieza y una diversidad de subproductos de la descomposición biológica de hidrocarburos a bordo.

Los espacios de la sentina deben ser periódicamente bombeados para eliminar condiciones potencialmente peligrosas derivadas de tales sustancias y su respectiva interacción, lo cual requiere de un complejo y sofisticado equipo para su extracción, retención, tratamiento y reutilización o vertido en cumplimiento de regulaciones medioambientales regionales e internacionales.

Las aguas oleaginosas de sentina contienen un amplio rango de contaminantes y agentes consumidores de oxígeno, y tienen varios efectos fisiológicos crónicos, incluyendo cancerígenos, que representan una amenaza real para los ecosistemas acuáticos y la vida humana, incluso en cantidades mínimas.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Las sentinas deben de estar siempre limpias y secas y es muy importante que no vayan a parar a ellas productos sólidos como trapos, papeles, maderas etc. que pueden ocasionar obstrucciones en las aspiraciones y que han sido fuente de averías, incendios o explosiones en alguna ocasión.

3.1.6. CABINA O TALLER DE PINTURA

La mayoría de los procesos de pintura emplean materiales inflamables o combustibles¹⁶. Las mezclas de vapor y aire y las nubes de polvo que se generan en los procesos presentan riesgos de incendio y explosión, dependiendo su peligrosidad del tipo de proceso empleado y su ubicación, tipo de recubrimiento y cantidad utilizada, inflamabilidad de los líquidos empleados, sistemas de ventilación y extracción, etc.

En una cabina de pintura se puede distinguir entre procesos que emplean sustancias pulverulentas (sólidas o líquidas) y procesos que emplean sustancias líquidas (por inmersión o por recubrimiento).

En los procesos de pulverización de recubrimientos líquidos, las partículas se pueden aplicar por los siguientes métodos: pistolas de pulverización de aire comprimido, pistolas sin aire, pistolas electrostáticas o discos electrostáticos.

La aplicación de recubrimientos orgánicos de forma de polvo seco ha adquirido una amplia aceptación. El polvo se puede proyectar bien a través de pistolas o bien a través de lechos fluidificados o cámaras de niebla.

Habitualmente, cualquiera de estos métodos se aplica electrostáticamente, aunque también se pueden aplicar calentando previamente la pieza de trabajo por encima del punto de fusión del polvo.

Los procesos de inmersión y recubrimiento se caracterizan porque las piezas de trabajo se sumergen o se recubren con líquidos inflamables o combustibles, sin necesidad de calentamiento previo o carga electrostática.

El fluido es suministrado por bombas que aspiran de un depósito de almacenamiento, y se distribuye a través de tuberías.

¹⁶ Documents%20and%20Settings/davidrb/Escritorio/GuiasSeguridad/Guia8/index.html

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

3.2. ANÁLISIS CHECK LIST

Se presentarán unas listas de comprobación de las diferentes zonas y operaciones anteriormente definidas, como si fuera un ejemplo real de chequeo durante la fabricación o una gran carena de un submarino.

FICHA Nº	1	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS		
FECHA		LUGAR: CÁMARA DE BATERÍAS		
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:		
ITEM	CONDICIÓN	CALIFICACIÓN		OBSERVACIONES
1	El valor de la concentración admisible en aire de H2 es inferior al 2%, medido mediante los hidrogenómetros que dispone el buque y mediante el explosímetro del técnico de prevención	SI		La medición deberá ser realizada por el técnico de prevención cualificado para dicha tarea.
2	Se ha medido la temperatura en el interior de las cámaras de baterías	SI		
3	Comprobación de existencia de derrames de electrolito al exterior de las baterías y/o grasas sobre las mismas		NO	
4	Las escotillas de acceso al interior de las cámaras se encuentran cerradas cuando se están efectuando trabajos en el interior	SI		
5	La ventilación forzada de las cámaras está parada antes y durante la realización de trabajos en el interior y en las proximidades	SI		La ventilación de las cámaras de baterías debe permanecer parada durante la realización de trabajos en su interior y/o cercanías
6	Existencia de suciedad u objetos que obstruyan las rejillas de ventilación del interior de las cámaras	SI		
7	Se ha instalado iluminación de seguridad y antideflagrante en el interior de las cámaras para la realización de trabajos	SI		El modelo instalado lleva certificación ATEX II 2 G Eex de IIC T3/T4 IP 54
8	El trabajador accede al interior de las cámaras con los EPIS adecuados y sin elementos metálicos o con dispositivos electrónicos	SI		

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

9	Las herramientas son adecuadas y están protegidas para evitar contactos eléctricos en el interior	SI		
10	Se ha efectuado el control de atmósferas, medición del porcentaje de oxígeno y la ausencia de tóxicos	SI		
11	Los hidrogenómetros se encuentran calibrados por organismo competente y están dentro del período de calibración		NO	
12	Se ha activado la alarma de alto nivel de concentración de H2 en las cámaras de baterías	SI		
13	Existencia de señalizaciones de prohibición pertinentes a la entrada de las cámaras que adviertan del riesgo de explosión o incendio	SI		Prohibición de fumar, uso de teléfonos móviles, encendedores, etc.
14	Funcionamiento correcto de los ventiladores y buen estado de las ventilaciones de las cámaras de baterías	SI		
15	Se ha comprobado la estanqueidad de las escotillas de acceso a las cámaras de baterías		NO	
16	Existen pérdidas en el circuito de refrigeración de las baterías en el interior de las cámaras		NO	

Tabla 14. Check list de cámara de baterías

FICHA Nº	2	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS		
FECHA		LUGAR: TANQUES DE LASTRE		
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:		
ITEM	CONDICIÓN	CALIFICACION		OBSERVACIONES
1	Se han ventilado suficientemente los tanques previo a la entrada a los mismos	SI		
2	Se han reachicado los tanques de lastre para eliminar zonas de aguas con posibilidad de estancamiento		NO	
3	Se han lavado los tanques y achicado con agua dulce a alta presión	SI		

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

4	Se ha efectuado el control de atmósferas, medición del porcentaje de oxígeno y la ausencia de tóxicos	SI		
5	Se ha comprobado la inexistencia de hidrocarburos (metano) y SH ₂ producidos por la descomposición de la materia orgánica que puedan ser generadores de atmósferas explosivas	SI		
6	Se ha instalado iluminación de seguridad y antideflagrante en el interior para la realización de trabajos		NO	
7	El trabajador accede al interior de las cámaras con EPIS adecuados y sin dispositivos electrónicos	SI		
8	Se han comprobado los locales o tanques contiguos al del trabajo a realizar para asegurarse de que no exista riesgo de creación de ATEX		NO	

Tabla 15. Check list de tanques de lastre

FICHA Nº	3	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS		
FECHA		LUGAR: TANQUES DE COMBUSTIBLE		
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:		
ITEM	CONDICIÓN	CALIFICACION		OBSERVACIONES
1	Se han ventilado suficientemente los tanques previo a la entrada a los mismos	SI		
2	Se han reachicado los tanques previo a la realización de trabajos en el interior	SI		
3	Se han lavado los tanques con agua dulce a alta presión antes de la realización de trabajos		NO	
4	Se ha efectuado el control de atmósferas, medición del porcentaje de oxígeno y la ausencia de tóxicos	SI		
5	Se ha comprobado la existencia de fugas en las válvulas de cierre de las líneas de combustible de relleno y trasiego a los tanques		NO	

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

6	Se ha instalado iluminación de seguridad y antideflagrante en el interior para la realización de trabajos		NO	
7	Se han colocado extracciones adecuadas cuando se realicen trabajos en caliente en el interior	SI		
8	Se han comprobado los locales o tanques contiguos al del trabajo realizar para asegurarse de que no exista riesgo de creación de ATEX		NO	
9	El trabajador accede al interior de las cámaras con EPIS adecuados y sin dispositivos electrónicos	SI		
10	Se ha comprobado el correcto funcionamiento y estanqueidad del circuito del tanque de derrames		NO	

Tabla 16. Check list de tanques de combustible

FICHA Nº	4	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS		
FECHA		LUGAR: SENTINAS DEL BUQUE		
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:		
ITEM	CONDICIÓN	CALIFICACION		OBSERVACIONES
1	Se han achicado y lavado las sentinas antes de la realización de trabajos en caliente o trabajos especiales	SI		
2	Se ha comprobado la inexistencia de SH2 producido por la descomposición de las aguas de sentinas que puedan producir atmósferas explosivas		NO	
3	Se ha comprobado la inexistencia de hidrocarburos (metano) por la descomposición de las aguas de sentinas que puedan generar atmósferas explosivas en ellas		NO	

Tabla 17. Check list de sentinas del buque

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

FICHA Nº	5	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS		
FECHA		LUGAR: SUPERESTRUCTURA DE ALUMINIO		
AUTOR		DPTO RESPONSABLE:		
ITEM	CONDICIÓN	CALIFICACION		OBSERVACIONES
1	El personal que va a efectuar el trabajo está capacitado y conoce los riesgos derivados de las explosiones por polvo de aluminio		NO	Los trabajadores desconocen que el polvo de aluminio pueda provocar explosiones.
2	Se están realizando trabajos de esmerilado o repasado en la superestructura de aluminio del submarino que puedan producir atmosferas explosivas por polvo de aluminio	SI		
3	Existen extracciones y equipos adecuados ATEX	SI		
4	Se han aislado del resto las zonas de trabajo según las fases del mismo	SI		
5	Existen higrómetros en la zona de trabajo		NO	
6	Existan zonas húmedas o instalaciones que puedan provocar derrames de agua accidentales en la zona de trabajo	SI		
7	Existe señalización de prohibición de utilización de agua en el área de trabajo		NO	

Tabla 18. Check list de superestructura de aluminio

FICHA Nº	6	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS		
FECHA		LUGAR: TALLER DE PINTURA		
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:		
ITEM	CONDICIÓN	CALIFICACION		OBSERVACIONES
1	Existen extracciones adecuadas que eviten la neblina de pulverización y vapores de los disolventes que pueden producir una atmósfera explosiva en contacto con el aire	SI		Debido a que los vapores de líquidos inflamables son más pesados que el aire, los sistemas de ventilación periférica a baja altura son preferibles a los elevados de campana
2	La instalación eléctrica y el equipamiento cumple con lo contemplado en el reglamento electrotécnico de baja tensión y en especial con la MIE BT -026?	SI		

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

3	Los conductos de ventilación y los filtros son limpiados y cambiados periódicamente		NO	Los filtros contaminados se retirarán rápidamente del edificio ya que presentan riesgos de calentamiento espontáneo
4	Las palas de los ventiladores pueden producir chispas capaces de provocar la ignición de los vapores dentro del conducto de ventilación		NO	
5	Los equipos de pintura, pistolas, mangueras, etc. contengan las etiquetas identificativas para ATEX	SI		
6	Existen medidores de gases en el taller adecuados a los vapores generados por los productos y disolventes utilizados		NO	
7	Los equipos que intervienen en el proceso, así como el suelo y las personas están puestos a tierra	SI		
8	Se comprueba periódicamente la resistencia de puesta a tierra	SI		
9	Los trabajadores utilizan ropa y calzado antiestáticos	SI		
10	Los detectores de gases y vapores están calibrados para limitar la concentración por debajo del 25% del límite inferior de inflamabilidad		NO	
11	Tienen alguna radio en el taller	SI		
12	Existe señalización de prohibición de utilización de teléfonos móviles y de fumar dentro del taller	SI		
13	Entran vehículos de transporte de cargas con el motor caliente al taller de pintura	SI		

Tabla 19. Check list de taller de pintura

FICHA Nº	7	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS		
FECHA		LUGAR: SOLDADURA OXIACETILÉNICA		
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:		
ITEM	CONDICIÓN	CALIFICACION	OBSERVACIONES	
1	El trabajador ha comprobado el estado de los sopletes, mangueras, empalmes, manorreductores, manómetros, etc. antes de cada uso		NO	
2	Se comprueba periódicamente que la concentración de oxígeno no sea superior al 22% en el aire para locales de almacenamiento de botellas		NO	

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

3	Se encuentra señalizada la zona donde exista o pueda formarse una atmósfera sobreoxigenada	SI		
4	Se encuentra señalizada la zona de almacenamiento del gas combustible y en las zonas con instalaciones fijas de acetileno	SI		
5	Los trabajadores llevan ropa y prendas de trabajo adecuados para la realización de trabajos de soldadura	SI		Existen tejidos supuestamente ininflamables que arden espontáneamente en atmósferas sobreoxigenadas.
6	Los trabajadores informados o tienen la formación necesaria en cuanto a la actuación en caso de fugas en la botellas utilizadas		NO	

Tabla 20. Check list de soldadura oxiacetilénica

3.3. ANÁLISIS WHAT IF

De los ítems analizados en las listas de chequeo, se harán un análisis what if de aquellos que no cumplen las condiciones pertinentes, se determinarán las consecuencias de este incumplimiento y se propondrán recomendaciones para cada caso.

FICHA Nº	1	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS		
FECHA		LUGAR: CÁMARA DE BATERÍAS		
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:		
ITEM	¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIÓN	
3	No se ha comprobado que no existen derrames de electrolito al exterior de las baterías y/o grasas sobre las mismas	La existencia de grasas sobre las baterías pueden ser fuentes de ignición de incendios. Si el electrolito derramado entra en contacto con agua de mar, generará Cl ₂ , altamente tóxico.	Comprobar que no existan derrames de electrolito ni grasas sobre las baterías antes de efectuar cualquier trabajo en las cámaras.	
6	Existe suciedad u objetos que obstruyan la rejillas de ventilación del interior de las cámaras	El caudal de las ventilaciones puede no ser suficiente para diluir la concentración de H ₂ hasta niveles de seguridad.	Desmontar las rejillas para su limpieza, efectuar trabajos de mantenimiento periódicos , retirar objetos que obstruyan el paso de aire, etc.	

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

11	Los hidrogenómetros no están calibrados por organismo competente o no están dentro del periodo de calibración	Los niveles de concentración de H2 pueden no ser reales	Efectuar el calibrado de los equipos por organismo autorizado
12	se ha activado la alarma de alto nivel de concentración de H2 en las cámaras de baterías	Existe riesgo de explosión si aparece una fuente de ignición	Parar inmediatamente los trabajos, desalojar las cámaras y poner la ventilación en marcha
15	no se ha comprobado la estanqueidad de las escotillas de acceso a las cámaras de baterías	Se puede producir la entrada al interior de partículas calientes por efecto Venturi que provoquen incendio o explosión. Riesgo de fuga de H2 al exterior de la cámara.	Comprobar al abrir la escotilla la existencia de vacío por diferencia de presiones, o bien con la ayuda de talco sobre la goma de cierre.

Tabla 21. What if de cámara de baterías

FICHA Nº	2	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS	
FECHA		LUGAR: TANQUES DE LASTRE	
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:	
ITEM	¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIÓN
2	No se han reachicado los tanques de lastre para eliminar zonas de aguas con posibilidad de estancamiento	La descomposición de la materia orgánica del agua estancada puede dar lugar a la formación de compuestos (metano y SH ₂) que pueden dar lugar a la formación de ATEX	Asegurarse de que los tanques son reachicados en su totalidad
6	No se ha instalado iluminación de seguridad y antideflagrante en el interior para la realización de trabajos	La introducción de luminarias no antideflagrantes pueden ser focos de ignición ante una atmosfera explosiva	Instalar alumbrado de seguridad antideflagrante que cumpla con la normativa ATEX
8	No se han comprobado los locales o tanques contiguos al del trabajo a realizar para asegurarse de que no exista riesgo de creación de ATEX	Existe riesgo de crear atmosferas explosivas o incendios en los locales o tanques contiguos	Asegurarse de que no existan materiales inflamables en los locales contiguos.

Tabla 22. What if de tanques de lastre

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

FICHA Nº	3	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS	
FECHA		LUGAR: TANQUES DE COMBUSTIBLE	
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:	
ITEM	¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIÓN
3	No se han lavado los tanques con agua dulce a alta presión antes de la realización de trabajos	Pueden existir grandes bolsas de gas que originen atmosferas explosivas con riesgo de incendio	Lavar los tanques con agua a alta presión y comprobar atmosferas y explosividad durante la realización de los trabajos
5	No se ha comprobado la existencia de fugas en las válvulas de cierre de las líneas de combustible de relleno y trasiego a los tanques	Pueden aparecer acumulaciones de combustible en zonas ya limpias y desgasificadas	Revisar las válvulas correspondientes y asegurarse de su estanqueidad
6	No se ha instalado iluminación de seguridad y antideflagrante en el interior para la realización de trabajos	La introducción de luminarias no antideflagrantes pueden ser focos de ignición ante una atmosfera explosiva	Instalar alumbrado de seguridad antideflagrante que cumpla con la normativa ATEX
8	No se han comprobado los locales o tanques contiguos al del trabajo a realizar para asegurarse de que no exista riesgo de creación de ATEX	Existe riesgo de crear atmosferas explosivas o incendios en los locales o tanques contiguos	Asegurarse de que no existan materiales inflamables en los locales contiguos.
10	No se ha comprobado el correcto funcionamiento y estanqueidad del circuito del tanque de derrames	Pueden aparecer acumulaciones de combustible en zonas ya limpias y desgasificadas por la transferencia desde el tanque de derrames	Revisar el circuito correspondiente y asegurarse de su estanqueidad

Tabla 23. What if de tanques de combustible

FICHA Nº	4	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS	
FECHA		LUGAR: SENTINAS DEL BUQUE	
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:	
ITEM	¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIÓN
2	No se ha comprobado la existencia de SH ₂ producido por la descomposición de las aguas de sentinas que puedan producir atmosferas explosivas	La descomposición de la materia orgánica del agua estancada puede dar lugar a la formación de compuestos (SH ₂) que pueden dar lugar a la formación de ATEX	Asegurarse de que las sentinas son reachicadas en su totalidad. Efectuar mediciones prestando especial atención a las zonas bajas de las sentinas.
3	No se ha comprobado la existencia de hidrocarburos (CH ₄) por la descomposición de las aguas de sentinas que puedan generar atmosferas explosivas	La descomposición de la materia orgánica del agua estancada puede dar lugar a la formación de compuestos (CH ₄) que pueden dar lugar a la formación de ATEX	Asegurarse de que las sentinas son reachicadas en su totalidad. Efectuar mediciones prestando especial atención a las zonas altas de las sentinas.

Tabla 24. What if de sentinas del buque

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

FICHA Nº	5	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS	
FECHA		LUGAR: SUPERESTRUCTURA DE ALUMINIO	
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:	
ITEM	¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIÓN
1	El personal que va a efectuar el trabajo no está capacitado y no conoce los riesgos derivados de las explosiones por polvo de aluminio	El desconocimiento puede ocasionar que se den las condiciones necesarias para la creación de ATEX	Formar e informar a los trabajadores de los riesgos derivados de las explosiones por polvo de aluminio
2	Se están realizando trabajos de esmerilado o repasado en la superestructura de aluminio del submarino que puedan producir atmosferas explosivas por polvo de aluminio	Si se dan las condiciones necesarias de tamaño y forma de la partícula, concentración del polvo y oxígeno, humedad y nivel de contención, puede explotar debido a una chispa o llama	Colocar extracciones adecuadas para evitar la creación de las condiciones citadas.
5	No existen higrómetros en la zona de trabajo	La humedad relativa sea lo suficientemente elevada para favorecer la explosión en caso de que la nube de polvo encuentre un punto de ignición	Instalar higrómetros para el control de la humedad relativa
6	Existen zonas húmedas o instalaciones que puedan provocar derrames de agua accidentales en la zona de trabajo	El polvo de aluminio húmedo puede calentarse espontáneamente y formar gas de H ₂ inflamable, lo que puede suponer un gran peligro de explosión	Evitar el contacto con materiales incompatibles (agua, ácidos y bases fuertes y agentes oxidantes)
7	No existe señalización de prohibición de utilización de agua en el área de trabajo	Los trabajadores pueden desconocer los riesgos de explosión al generar polvo de aluminio en contacto con agua o humedad	Colocar carteles de señalización advirtiendo de la prohibición en la utilización de agua

Tabla 25. What if de superestructura de aluminio

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

FICHA Nº	6	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS	
FECHA		LUGAR: TALLER DE PINTURA	
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:	
ITEM	¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIÓN
3	Los conductos de ventilación y los filtros no son limpiados y cambiados periódicamente	La pintura se adhiere al conducto de ventilación, se seca y a su vez disminuye el diámetro efectivo del tubo, los filtros si no se cambian, no dejan pasar el caudal de aire estipulado	Hacer un mantenimiento y limpieza periódicos de los conductos y en general de todo el taller, así como cambiar los filtros de las ventilaciones periódicamente
6	No existen medidores de gases en el taller adecuados a los vapores generados por los productos y disolventes utilizados	No se puede conocer la concentración de estos vapores, por lo que podemos estar dentro de los límites de explosividad sin saberlo	Instalar medidores en varios puntos del taller, capaces de medir los vapores de los productos y disolventes utilizados
10	Los detectores de gases y vapores no están calibrados para limitar la concentración por debajo del 25% del limite inferior de inflamabilidad en las zonas de vapor	Si no están calibrados, no tomarán la medida correctamente, no sonando la alarma cuando se sobrepase este nivel mínimo	Calibrar los aparatos de medida por organismos autorizados
11	Tienen alguna radio en el taller	Este aparato no está permitido por crear una fuente de ignición por material eléctrico	Prohibición de presencia de radio en el interior del taller de pintura
13	Entran vehículos de transporte con el motor caliente al taller de pintura	El motor caliente, o cualquier superficie caliente, es un foco de ignición muy importante en caso de existir una atmósfera explosiva	Dejar tiempo de enfriamiento suficiente y entrar con el motor frío

Tabla 26. What if de taller de pintura

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

FICHA Nº	7	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS	
FECHA		LUGAR: SOLDADURA OXIACETILÉNICA	
AUTOR		DPTO. RESPONSABLE:	
ITEM	¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIÓN
1	El trabajador no ha comprobado el estado de los sopletes, mangueras, empalmes, manorreductores, manómetros, etc. antes de cada uso	Las conducciones, al estar por el suelo, pueden sufrir cortes y abrasiones que pueden dar lugar a escapes que el trabajador no observará si no las comprueba, o le pueden caer chispas que le produzcan quemaduras y las deterioren	El trabajador comprobará todo el equipo antes de su utilización y pondrá los manorreductores en posición de cerrado cuando interrumpa el trabajo
2	No se comprueba periódicamente que la concentración de oxígeno no sea superior al 22% en el aire para locales de almacenamiento de botellas	Una atmósfera sobreoxigenada amplía el rango de explosividad de los combustibles, disminuye la temperatura de inflamación de estos combustibles y mezclas inflamables pueden pasar a ser explosivas	Se comprobará periódicamente la concentración de oxígeno en los lugares de almacenamiento a fin de detectar pérdidas de los botellones, no se rociará oxígeno con fines de limpieza de prendas y equipos.
6	Los trabajadores no están informados o no tienen la formación necesaria en cuanto a la actuación en caso de fugas en la botellas utilizadas	Pueden no actuar correctamente en caso de detectar fugas de combustible u oxígeno, pudiendo crear así un foco de ignición o no detener la formación de la ATEX	Formar a los trabajadores en cuanto al procedimiento a seguir en caso de que detecte alguna fuga en los equipos de soldadura

Tabla 27. What if de soldadura oxiacetilénica

3.4. ANÁLISIS AMFE

Se ha realizado un análisis AMFE de las zonas y operaciones descritas, se han calculado los distintos índices, así como el número de prioridad de riesgo, se han tomado las medidas oportunas para disminuir este número y se han sacado unas conclusiones de este análisis.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)															
AMFE DE PROCESO <input checked="" type="checkbox"/> AMFE DE DISEÑO <input type="checkbox"/>					DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE				CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO			HOJA			
NOMBRE Y DPTO. DE LOS PARTICIPANTES					COORDINADOR				MODELO/SISTEMA/FABRICACIÓN			FECHA INICIO FECHA REVISIÓN			
ACCIÓN FUNCIÓN	FALLO Nº	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL				ACCIÓN CORRECTORA	RESPONSABLE PLAZO	SITUACIÓN DE MEJORA				
		MODOS DE FALLO	EFFECTOS	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS	F	G	D			N P R	ACCIÓN IMPLANTADA	F	G	D
Trabajos en la cámara de baterías	1.1	Derrame de electrolito al exterior de las baterías	Aumento de nivel de H ₂ en la cámara	No estanqueidad de las baterías		8	9	8	576						
				Demasiada escora del buque		6	9	7	378						
	1.2	Producción de chispa por caída de herramienta metálica	Ignición de ATEX en caso de existencia	Escotilla abierta al efectuar trabajos		6	7	5	210						
				Herramientas sueltas cerca del borde		2	7	5	70						
	1.3	Introducción de partícula caliente al interior de la cámara por efecto Venturi	Ignición de ATEX en caso de existencia	Ventilación de la cámara de baterías durante la realización de trabajos en caliente		3	8	4	96						
				No estanqueidad de la escotilla		2	8	9	144						
	1.4	Insuficiente caudal de dilución de H ₂	No disminución de la concentración de H ₂ en el aire	Suciedad en las rejillas de ventilación		5	7	6	210						

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

	1.5	Medición incorrecta del nivel de H ₂	Existencia de ATEX , aún indicando lo contrario	Los hidrogenómetros no están calibrados		5	8	8	320								
	1.6	Formación de CL ₂ al reaccionar el electrolito con el agua de mar	Intoxicación por gas CL ₂	Pérdidas en el circuito de refrigeración		7	8	2	112								
Trabajos en los tanques de lastre	2.1	Formación de bolsas de CH ₄ y SH ₂ en los tanques de lastre	Explosión de la ATEX en caso de que encuentre un punto de ignición	No se han ventilado ni reachicado los tanques de lastre		9	10	4	360								
	2.2	Reparación de gases tras ventilar los tanques	Vuelve a existir una atmósfera explosiva	No se han lavado los tanques con agua dulce a alta presión		7	8	5	280								
	2.3	Existencia de chispa o arco eléctrico	Ignición de ATEX en caso de existencia	Introducción de luminarias no antideflagrantes		3	9	6	162								
	2.4	Creación de una ATEX en locales y cámaras contiguas	Emanación de gases o incendio del propio revestimiento	Calentamiento o incendio de los revestimientos y aislamientos de las cámaras contiguas		3	7	7	147								
	3.1	Existencia de gas combustible en los tanques de combustible	Explosión de la ATEX en caso de que encuentre un punto de ignición	No se han ventilado ni reachicado los tanques de combustible		9	10	4	360								
	3.2	Reparación de gases tras ventilar los tanques	Vuelve a existir una atmósfera explosiva	No se han lavado los tanques con agua dulce a alta presión		8	9	5	360								

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Trabajos en los tanques de combustible	3.3	Fuga de combustible	Generación de ATEX en zonas desgasificadas	No estanqueidad de las válvulas de cierre de las líneas de combustible		7	8	8	448									
	3.4	Existencia de chispa o arco eléctrico	Ignición de ATEX en caso de existencia	Introducción de luminarias no antideflagrantes		3	9	6	162									
	3.5	Punto de ignición debido a aparato electrónico.	Posible detonación del combustible	Introducción de aparatos electrónicos no permitidos en el interior		3	8	5	120									
	3.6	Formación de ATEX o incendio debido al trabajo en caliente	Crear una nueva zona con riesgo de explosión y/o un foco de ignición	No comprobación del revestimiento del local contiguo al tanque		2	7	7	98									
	3.7	Traspaso de gases del tanque de derrames al propio tanque	Existencia de gases en tanque desgasificado	Válvula de cierre en mal estado y/o no estancas		4	8	8	256									
Achique de las sentinas	4.1	Alcanzar una concentración de gases dentro de los límites de explosividad	Explosión de los gases si encuentran un foco de ignición	No ventilar y/o no achicar las sentinas periódicamente		6	9	3	162									
	4.2	Descomposición de la materia orgánica en SH ₂	Creación de ATEX por gas SH ₂	No ventilar ni reachicar las sentinas por completo		6	7	3	126									
	4.3	Descomposición de la materia orgánica en CH ₄	Creación de ATEX por gas CH ₄	No ventilar ni reachicar las sentinas por completo		7	8	3	168									

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Fabricación de la superestructura de aluminio	5.1	Formación de nube de polvo de aluminio explosiva	Explosión de la nube si se dan las condiciones	Desconocimiento de los riesgos por parte de los trabajadores	2	10	3	60								
	5.2	Se dan las condiciones óptimas de humedad, concentración, tamaño de partículas, etc.	Explosión de la nube si esta encuentra un punto de ignición	Realización de trabajos que formen una nube de polvo de aluminio	5	10	3	150								
	5.3	Humedad suficientemente elevada	Esta condición favorece la explosión de la nube	No se controla la humedad por falta de higrómetros	6	8	3	144								
	5.4	El polvo de aluminio húmedo puede calentarse espontáneamente y formar gas H ₂	El H ₂ favorece la explosividad de la nube de polvo	Derrames de agua, ácidos y bases fuertes, etc. que entran en contacto con la nube de polvo.	3	9	5	135								
Pintado y lacado en el taller de pintura	6.1	Formación de vapores y neblina combustibles que formen una ATEX	Explosión de la ATEX en caso de que encuentre un punto de ignición	No se disponen de los sistemas adecuados de ventilación y extracción	7	9	3	189								
	6.2	Tubo de ventilación y filtros sucios	Circulación de caudal de ventilación insuficiente Disminución del diámetro efectivo del tubo	No se realiza mantenimiento de los sistemas de extracción y ventilación	8	8	3	192								

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Pintado y lacado en el taller de pintura	6.3	Producción de chispas	Se produce la ignición de los vapores dentro del conducto de ventilación	Los ventiladores no son adecuados y sus palas producen chispas	3	9	4	108								
	6.4	Puestas a tierra insuficientes	En caso de fallo eléctrico puede provocar la detonación de la ATEX	Todos los equipos no están conectados a tierra	6	7	6	252								
	6.5	Atmósfera incontrolada	Pueden haber zonas del taller con concentraciones de gases peligrosas	No existen medidores de gases en el taller	5	7	3	105								
	6.6	Ropa y calzado inadecuados	Se pueden producir arcos eléctricos con energía suficiente para detonar una ATEX	Los trabajadores llevan ropa y calzado que no son antiestáticos	3	7	4	84								
	6.7	Aparatos electrónicos no permitidos	Pueden ser otro foco de ignición	Existencia de aparatos electrónicos en el interior del taller tales como radio, móviles, etc.	5	6	5	150								
	6.8	Detonación por superficies calientes	Si existe ATEX puede ser un foco de ignición	Paso por el taller de vehículos y transpaletas con el motor caliente	6	8	4	192								

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Soldadura oxiacetilénica	7.1	Escape de oxígeno u/o acetileno de los botellones	Formación de una ATEX	Mangueras y conducciones con cortes, abrasiones o quemadas, válvulas y sopletes deteriorados		5	8	6	240									
	7.2	Atmósfera sobreoxigenada	Amplía el rango de explosividad de los combustibles	Se produce un escape por la válvula de los botellones		4	8	5	160									
			Disminuye la temperatura de inflamación de estos combustibles	Se limpian ropas y equipos con oxígeno a presión		4	7	4	112									
			Mezclas inflamables pueden pasar a ser explosivas	No se comprueba la concentración de oxígeno periódicamente		6	7	5	210									
7.3	Fuga de acetileno incontrolada	Explosión en caso de que la mezcla combustible y aire encuentre un foco de ignición	El trabajador desconoce cómo detener la fuga		5	9	4	180										

Tabla 28. Análisis AMFE de todas las funciones y zonas de ATEX

4.1. RESULTADOS

A continuación vamos a realizar una cuantificación de los resultados obtenidos en el método AMFE para el caso de los trabajos en las cámaras de baterías.

Para ello vamos a aplicar el método de mínimos cuadrados con el fin de obtener una recta de regresión con la que podamos relacionar una variable “x” con otra variable “y”.

La variable “y” será en los tres casos el número de prioridad del riesgo mientras que la variable “x” será la frecuencia, la gravedad y la detección.

De esta forma podremos tener una relación entre el número de prioridad del riesgo y las tres variables de las que depende, por lo tanto a partir de los valores y resultados teóricos del método AMFE, podremos obtener un valor muy aproximado de NPR para cualquier valor de frecuencia, gravedad o detección, y viceversa.

Para obtener la recta de regresión será necesario calcular de los valores obtenidos en el AMFE la media, las varianzas, la covarianza, tal y como se hará a continuación.

Aplicaremos las siguientes formulas:

Para calcular la media de las variables:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad \bar{Y} = \frac{\sum Y}{N}$$

Para calcular las varianzas de X y de Y:

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum (X_i)^2}{N} - (\bar{X})^2 \quad \sigma_y^2 = \frac{\sum (Y_i)^2}{N} - (\bar{Y})^2$$

La covarianza la obtenemos:

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum (X_i * Y_i)}{N} - \bar{X} * \bar{Y}$$

Las rectas de Y sobre X y de X sobre Y son respectivamente:

$$Y = \bar{Y} + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} * (X - \bar{X}) \quad X = \bar{X} + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y^2} * (Y - \bar{Y})$$

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Trabajos en la cámara de baterías					
	FRECUENCIA (F)	NPR			
	X	Y	X*Y	X²	Y²
No estanqueidad de las baterías	8	576	4608	64	331776
Demasiada escora del buque	6	378	2268	36	142884
Escotilla abierta al efectuar trabajos	6	210	1260	36	44100
Herramientas sueltas cerca del borde	2	70	140	4	4900
Ventilación de la cámara de baterías durante la realización de trabajos en caliente	3	96	288	9	9216
No estanqueidad de la escotilla	2	144	288	4	20736
Suciedad en las rejillas de ventilación	5	210	1050	25	44100
Los hidrogenómetros no están calibrados	5	320	1600	25	102400
Pérdidas en el circuito de refrigeración	7	112	784	49	12544
Σ	44,00	2116,00	12286,00	252,00	712656,00

Tabla 29. Valores de las variables frecuencia (X) y NPR (Y)

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{N} = 4,89 \quad \bar{Y} = \frac{\Sigma Y}{N} = 235,11$$

$$\sigma_{xy} = \frac{\Sigma(X_i * Y_i)}{N} - \bar{X} * \bar{Y} = 215,42$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\Sigma(X_i)^2}{N} - (\bar{X})^2 = 4,09 \quad \sigma_y^2 = \frac{\Sigma(Y_i)^2}{N} - (\bar{Y})^2 = 23907,29$$

$$Y = \bar{Y} + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} * (X - \bar{X}) \rightarrow Y = 52,67X - 22,44$$

$$X = \bar{X} + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y^2} * (Y - \bar{Y}) \rightarrow X = 0,009Y + 2,77$$

Así por ejemplo, con los resultados que hemos obtenido en el análisis AMFE, si quisiéramos aproximar un fallo que consideremos que tenga un valor de frecuencia de 6 por ejemplo, sabemos que va a tener aproximadamente un NPR de $Y = 52,67 * 6 - 22,44 = 293,58$.

Por el contrario, si quisiéramos conocer cuál sería aproximadamente el nivel de frecuencia de un fallo que tuviera un NPR de 200 por ejemplo lo calcularíamos así: $X = 0,009 * 200 + 2,77 = 4,57$.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Trabajos en la cámara de baterías					
	GRAVEDAD (G) X	NPR Y	X*Y	X ²	Y ²
No estanqueidad de las baterías	9	576	5184	81	331776
Demasiada escora del buque	9	378	3402	81	142884
Escotilla abierta al efectuar trabajos	7	210	1470	49	44100
Herramientas sueltas cerca del borde	7	70	490	49	4900
Ventilación de la cámara de baterías durante la realización de trabajos en caliente	8	96	768	64	9216
No estanqueidad de la escotilla	8	144	1152	64	20736
Suciedad en las rejillas de ventilación	7	210	1470	49	44100
Los hidrogenómetros no están calibrados	8	320	2560	64	102400
Pérdidas en el circuito de refrigeración	8	112	896	64	12544
Σ	71,00	2116,00	17392,00	565,00	712656,00

Tabla 30. Valores de las variables gravedad (X) y NPR (Y)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} = 7,89 \quad \bar{Y} = \frac{\sum Y}{N} = 235,11$$

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum(X_i * Y_i)}{N} - \bar{X} * \bar{Y} = 77,43$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum(X_i)^2}{N} - (\bar{X})^2 = 0,53$$

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum(Y_i)^2}{N} - (\bar{Y})^2 = 23907,29$$

$$Y = \bar{Y} + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} * (X - \bar{X}) \rightarrow Y = 146,1X - 917,57$$

$$X = \bar{X} + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y^2} * (Y - \bar{Y}) \rightarrow X = 0,0032Y + 7,13$$

Así por ejemplo, con los resultados que hemos obtenido en el análisis AMFE, si quisiéramos aproximar un fallo que consideremos que tenga un valor de gravedad de 8 por ejemplo, sabemos que va a tener aproximadamente un NPR de $Y = 146,1 * 8 - 917,57 = 251,23$.

Por el contrario, si quisiéramos conocer cuál sería aproximadamente el nivel de gravedad de un fallo que tuviera un NPR de 200 por ejemplo lo calcularíamos así: $X = 0,0032 * 200 + 7,13 = 7,77$.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Trabajos en la cámara de baterías					
	DETECCIÓN (D) X	NPR Y	X*Y	X ²	Y ²
No estanqueidad de las baterías	8	576	4608	64	331776
Demasiada escora del buque	7	378	2646	49	142884
Escotilla abierta al efectuar trabajos	5	210	1050	25	44100
Herramientas sueltas cerca del borde	5	70	350	25	4900
Ventilación de la cámara de baterías durante la realización de trabajos en caliente	4	96	384	16	9216
No estanqueidad de la escotilla	9	144	1296	81	20736
Suciedad en las rejillas de ventilación	6	210	1260	36	44100
Los hidrogenómetros no están calibrados	8	320	2560	64	102400
Pérdidas en el circuito de refrigeración	2	112	224	4	12544
Σ	54,00	2116,00	14378,00	364,00	712656,00

Tabla 31. Valores de las variables detección (X) y NPR (Y)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} = 6 \quad \bar{Y} = \frac{\sum Y}{N} = 235,11$$

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum(X_i * Y_i)}{N} - \bar{X} * \bar{Y} = 186,9$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum(X_i)^2}{N} - (\bar{X})^2 = 4,44$$

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum(Y_i)^2}{N} - (\bar{Y})^2 = 23907,29$$

$$Y = \bar{Y} + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} * (X - \bar{X}) \rightarrow Y = 42,09X - 17,46$$

$$X = \bar{X} + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y^2} * (Y - \bar{Y}) \rightarrow X = 0,0078Y + 4,16$$

Así por ejemplo, con los resultados que hemos obtenido en el análisis AMFE, si quisiéramos aproximar un fallo que consideremos que tenga un valor de detección de 6 por ejemplo, sabemos que va a tener aproximadamente un NPR de $Y = 42,09 * 6 - 17,46 = 235,08$.

Por el contrario, si quisiéramos conocer cuál sería aproximadamente el nivel de detección de un fallo que tuviera un NPR de 200 por ejemplo lo calcularíamos así: $X = 0,0078 * 200 + 4,16 = 5,72$.

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. CONCLUSIONES GENERALES

Si vemos el número de accidentes de trabajo por suceso anormal que ocasionó el accidente según la gravedad, comprobamos que en estos últimos años la proporción de accidentes de trabajo graves por explosión, fuego o problema eléctrico ocupan el primer lugar.

Es normal que durante el proceso de construcción del buque, compartan espacio de trabajo trabajadores/as de diversas empresas, e incluso se dan casos en los que los trabajadores/as de las empresas auxiliares son superiores en número a los de la empresa principal.

No se especifica ninguna metodología específica para realizar la Evaluación de Riesgos de Explosión. Los métodos más adecuados son los que ayudan a realizar las evaluaciones de una forma sistemática, de manera estructurada, con criterios objetivos y lógicos, para el presente trabajo hemos utilizado diferentes métodos cualitativos de evaluación de riesgos.

Antes de elaborar estos procedimientos ha sido necesario el estudio de toda la normativa de aplicación ya que es imprescindible conocer a fondo las principales normas de aplicación a las ATEX para así establecer los niveles mínimos de exigencia con respecto a la seguridad de las mismas y la prevención de riesgos laborales.

5.1.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

Se debe tomar conciencia de lo fundamental que es tener nociones sobre las medidas de prevención de riesgos laborales a la hora de trabajar en un submarino, pues en muchas ocasiones con un poco de sentido común y una buena formación se evitarían muchos accidentes en el entorno de trabajo.

Con estos procedimientos se ha querido reunir todos los posibles factores que podrían ser causa de accidente por explosión de una ATEX al trabajar en la fabricación y reparación de un submarino. El objeto es tener estos factores controlados y poder tomar medidas de seguridad de manera más eficaz.

Pero es indispensable una revisión y reciclaje de las medidas y controles ya que los diseños cambian y por lo tanto desaparecen algunos riesgos pero otros distintos podrían aparecer, por lo que es una labor continua el vigilar la seguridad.

Se han definido las diferentes zonas de un submarino en las que se podrían formar atmósferas explosivas, también se han propuesto para todas y cada una de estas áreas las medidas de seguridad pertinentes que habrá que tomar para trabajar en ellas.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

Como trabajo de campo se han realizado unas listas de chequeo de cada zona de posible formación de ATEX, al comprobarlas, los resultados obtenidos reflejan que no se cumplen todos los ítems q contienen, por lo que ha sido necesario realizar posteriormente un análisis what if en el que estudiara las consecuencias de su incumplimiento y sugiriera posibles recomendaciones.

Las conclusiones que podemos obtener del análisis AMFE es que los valores del número de prioridad del riesgo son elevados y en especial en el caso de los trabajos en las cámaras de baterías. De hecho se llegan a alcanzar niveles de riesgo medio, lo cual es inconcebible.

Para finalizar este apartado, se ha obtenido por medio de mínimos cuadrados unas rectas de regresión que son capaces de relacionar la gravedad, frecuencia y nivel de detección con el número de prioridad del riesgo en las cámaras de baterías, de esta forma si detectamos cualquier riesgo en dichas cámaras, tenemos una forma de priorizar el riesgo.

6.1. FUTURAS LÍNEAS

Una vez finalizado este trabajo surgen nuevas iniciativas sobre la realización de trabajos futuros, pues se han realizado unos procedimientos de evaluación de atmósferas explosivas únicamente para el entorno de trabajo de un submarino.

Por ello se propone realizar en un futuro otros procedimientos para las demás zonas que componen todo el sector naval. De esta forma se podrá tener controlada de una forma rigurosa la seguridad de cada una de las instalaciones de la empresa y esto repercutirá en un menor número de accidentes y por lo tanto una mayor productividad y eficacia, objetivo principal de cualquier empresa.

También cabe la posibilidad, sin salirse de la construcción de buques, de evaluar los riesgos de las ATEX, aplicando diferentes métodos, pero esta vez métodos cuantitativos, como por ejemplo el análisis de riesgos mediante el árbol de sucesos o bien el análisis de riesgos mediante el árbol de fallos y errores. Esta sería una complementación al trabajo que yo he realizado, ya que podría aparecer algún riesgo que yo no hubiera analizado con las técnicas cualitativas.

Finalmente podría aplicarse el método de mínimos cuadrados, u otro método numérico que relacione variables para de alguna forma cuantificar los resultados teóricos obtenidos de las restantes zonas ATEX del submarino y de cualquier instalación o taller de una empresa del sector naval.

7.1. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
- ✓ Real Decreto 400/1996 relativo a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas [Trasposición de la Directiva 94/9/CE (ATEX-100)].
- ✓ Real Decreto 681/2003 sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo [Trasposición de la Directiva 99/92/CE (ATEX-137)].
- ✓ ITC-BT-29 Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión.
- ✓ NTP 876. Evaluación de los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas (ATEX).
- ✓ NTP 679. Análisis modal de fallos y efectos. AMFE.
- ✓ NTP 223. Trabajos en recintos confinados.
- ✓ NTP 495. Soldadura oxiacetilénica y oxicorte: normas de seguridad.
- ✓ NTP 630. Riesgo de incendio y explosión en atmósferas sobreoxigenadas.
- ✓ Guía de buenas prácticas de PRL en el sector naval.
- ✓ Prevención de riesgos laborales en el sector de la construcción y reparación naval.
- ✓ UGT. Informe accidentes de trabajo Enero-Diciembre 2011.
- ✓ Servicio de Estudios e Investigación. Subdirección Técnica Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Análisis de accidentes de trabajo producidos por explosiones e incendios.
- ✓ Atmósferas explosivas en centros de trabajo. Aplicación del Real Decreto 681/2003, sobre atmósferas explosivas, en industrias con trabajos de soldadura en su proceso productivo.
- ✓ LOM. Breve guía sobre productos e instalaciones en atmósferas explosivas.
- ✓ María Asunción Izquierdo Barrientos. PFC Procedimiento para la evaluación de la seguridad de un frenómetro.
- ✓ Francisco Uña Hernández. PFC Optimización en el diseño de una válvula de aislamiento de explosión.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

- ✓ Conocimientos generales de los submarinos "serie 70".
- ✓ Guía para la mejora de la gestión preventiva. Trabajos en espacios confinados.
- ✓ Atmósferas explosivas en el área de pintura. Aplicación práctica de la normativa ATEX en el pintado de automóviles.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

8.1. ANEXOS

8.1.1. DEFINICIONES¹⁷

A continuación se definirán algunos términos tomando como referencia las definiciones expuestas en el RD 400/1996 y en las normas UNE EN 13237, UNE EN 1127-1.

Atmósfera explosiva	Mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas normales, de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada.
Atmósfera potencialmente explosiva	Aquella que pueda convertirse en explosiva debido a circunstancias locales y de funcionamiento.
Área de riesgo	Área en la que pueden formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que resulte necesaria la adopción de precauciones especiales para proteger la seguridad y la salud de los trabajadores afectados.
Equipo de trabajo	Cualquier máquina, aparato, instrumento o instalación utilizado en el trabajo.
Sustancia inflamable / combustible	Sustancia en forma de líquido, sólido o de sus mezclas, que al mezclarse con el aire puede ser capaz de sufrir una reacción exotérmica después de la ignición.
Niebla	Suspensión (nube) de pequeñas gotas en el aire.
Gas	Es un fluido en el cual las fuerzas de atracción entre sus moléculas son tan pequeñas que no adopta ni forma ni volumen fijo, sino que tiende a expandirse todo lo posible para ocupar todo el espacio en el que se encuentra.
Polvo	Pequeñas partículas sólidas en la atmósfera que pueden fijarse bajo su propio peso, pero que pueden permanecer suspendidas en el aire durante algún tiempo.
Mezcla explosiva	Mezcla de un material combustible finamente dispersado en la fase gaseosa con un oxidante gaseoso en la que, tras su ignición, puede propagarse una explosión. Si el oxidante es aire en condiciones atmosféricas, se habla de atmósfera explosiva.
Temperatura de ignición	Temperatura más baja de una superficie caliente, obtenida en condiciones de ensayo determinadas, a la que se puede producir la ignición de una sustancia combustible en forma de mezcla de gas, vapor o polvo con aire.
Límite inferior de explosividad	Límite inferior del rango de concentración de una sustancia inflamable en aire en el que puede producirse una explosión (Ver figura 1).
Límite superior de explosividad	Límite superior del rango de concentración de una sustancia inflamable en aire en el que puede producirse una explosión (Ver figura 1).
Fuente de escape	Punto o localización por donde el gas/polvo puede escapar, por lo que se puede formar una mezcla explosiva en aire. Dependiendo de las circunstancias, no toda fuente de escape producirá necesariamente una mezcla explosiva, pero tiene que tenerse en cuenta, ya que una fuente difusa o pequeña con el tiempo es capaz de producir una atmósfera potencialmente peligrosa.

Tabla 32. Definiciones de ATEX

¹⁷ REAL DECRETO 400/1996



Figura 2. Rango con explosión

8.1.2. NORMATIVA

La Ley de Prevención de Riesgos laborales (Ley 31/1995) exige la realización de Evaluaciones y Análisis de Riesgos relacionados con los diferentes puestos y lugares de trabajo (evaluaciones de ergonomía, de caídas provocadas por desniveles, proyección de objetos, etc.). Debido a la particularidad y especialización necesaria para el análisis de riesgos de explosión derivados de la formación de atmósferas explosivas, son riesgos que generalmente no han sido evaluados convenientemente.

Existen varios reglamentos y diferentes normas para el estudio y regulación de las instalaciones y zonas donde vayan a ubicarse equipos con alimentación eléctrica con la finalidad de evitar el riesgo de explosión derivado de un riesgo eléctrico sin existir un criterio unificado.

Para unificar criterios, recogerlos bajo un mismo paraguas, contemplar, además del riesgo eléctrico, la totalidad de las 13 fuentes de ignición tipificadas actualmente, e incluir, de una forma explícita, la "Evaluación de Riesgos de Explosión" en las evaluaciones de riesgos en los puestos de trabajo, se han publicado las nuevas Directivas ATEX, o Directivas de Nuevo Enfoque.

Principalmente existen dos directivas relacionadas con Atmósferas Explosivas, las comúnmente denominadas ATEX 100 y ATEX 137, que deben su nombre a sus orígenes, los artículos 100-A y 137 de la constitución de la Comunidad Europea.

Sus objetivos se dirigen hacia la minimización o eliminación de peligros derivados de las Atmósferas Explosivas y fijar medidas específicas para proteger la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a las mismas.

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

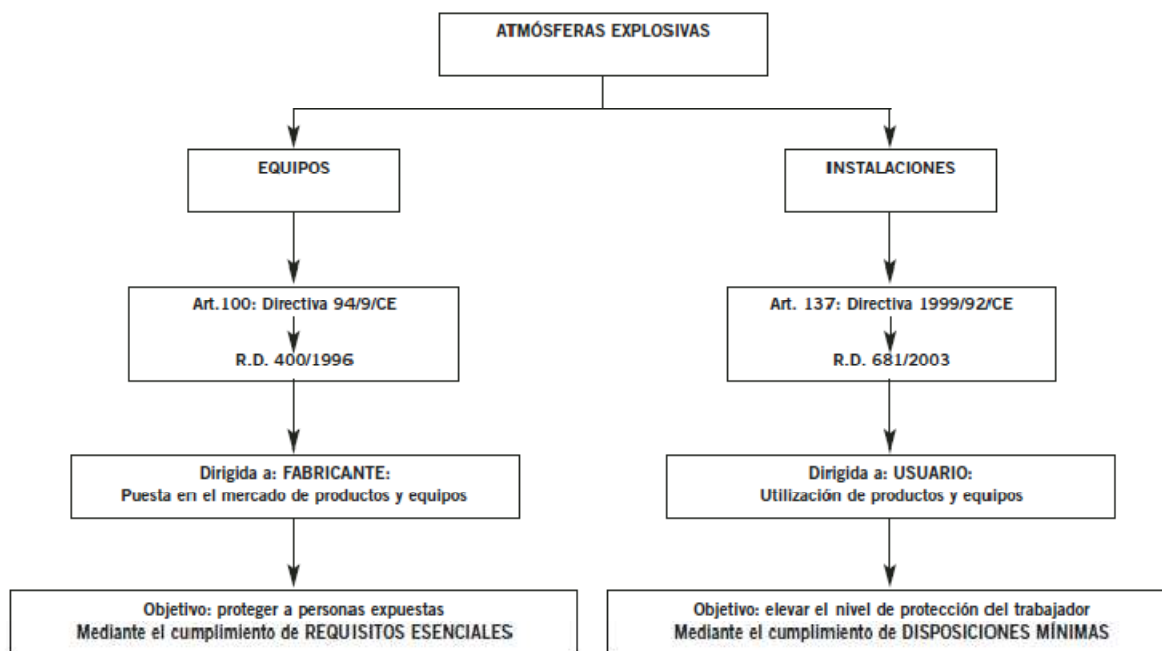


Figura 3. Dualidad equipos/instalaciones para atmósferas explosivas

DIRECTIVA 94/9/CE (ATEX 100)

Es la Directiva que regula los Aparatos y Sistemas de Protección que vayan a ser utilizados en, o en relación a, una atmósfera potencialmente explosiva¹⁸.

Se entenderá por aparatos, tal y como se define el término en la Directiva 94/9/CE, las máquinas, los materiales, los dispositivos fijos o móviles, los equipos mecánicos, los órganos de control y la instrumentación, los sistemas de detección y prevención que, solos o combinados, se destinan a la producción, transporte, almacenamiento, medición, regulación, conversión de energía y transformación de materiales y que, por las fuentes potenciales de ignición que los caracteriza, pueden desencadenar una explosión.

La Directiva 94/9/CE se publica en 1994. El Consejo de Ministros la transpone, por petición del Ministerio de Industria, en marzo del 1996, publicando el RD 400/1996, iniciándose un período transitorio que finaliza el 30/06/2003.

Exige la certificación y etiquetado de los equipos por parte de un Organismo Notificado. Habitualmente lo encargará el fabricante del equipo o su representante.

¹⁸ REAL DECRETO 400/1996

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

La responsabilidad del usuario de estos equipos es la de exigir al fabricante de los mismos que le suministre los materiales con la “Categoría” y “Nivel de Protección” apropiado, de acuerdo a la clasificación de zona ATEX existente en el área donde vayan a trabajar.

DIRECTIVA 1999/92/CE (ATEX 137)

Relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la Salud y Seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de Atmósferas Explosivas en su puesto de trabajo¹⁹.

La Directiva 1999/92/CE se publica en 1999. El Consejo de Ministros la transpone, por petición del Ministerio del Trabajo, a mediados de Junio del 2003, y, publicando el RD 681/2003 el 12 de junio, entra en vigor, sin período transitorio, el 30/06/2003. Depende de la Ley 31/1995 (LPRL).

Exige la prevención de explosiones y la evaluación de los Riesgos de Explosión mediante la elaboración de un “Documento de Protección Contra Explosiones” (DPCEx). Este documento debe elaborarlo un técnico con las siguientes características:

- Estar en posesión del título de Técnico Superior de Prevención de Riesgos Laborales.
- Experiencia demostrable de más de dos años en trabajos relacionados con la prevención de explosiones.

La responsabilidad y obligación del cumplimiento de este Real Decreto, y de tener realizado el “Documento de Protección Contra Explosiones” es del empresario.

DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES (DPCEx)

Si, en cualquier instalación, existe la posibilidad de formación de una Atmósfera Explosiva peligrosa, es necesario adoptar medidas de prevención y protección contra explosiones. Es necesario comprobar su eficacia, contemplando todos los estados operativos en funcionamiento normal, así como también es necesario tener en cuenta todas las posibles disfunciones (incluso las poco frecuentes).

Cuando no sea posible excluir por entero la posibilidad de formación de atmósferas explosivas peligrosas, deberán adoptarse medidas para evitar las fuentes de ignición efectivas. Para evaluar todo ello, el Real Decreto 681/2003 (Directiva 1999/92/CE) (ATEX137) exige en su artículo 8 la elaboración de un “Documento de Protección Contra Explosiones” (DPCEx).

El empresario deberá elaborar el documento de protección contra explosiones y estará compuesto por los siguientes documentos y estudios:

- Clasificación de Áreas con Riesgo de incendio y/o explosión. Reflejando que en dichas áreas se han aplicado medidas organizativas (formación e información de los

¹⁹ Artículo 8. REAL DECRETO 681/2003

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS

trabajadores y permisos de trabajo e instrucciones por escrito) y medidas de protección contra explosiones.

- Evaluación de Riesgos de Explosión.
- Memorias descriptivas y Plan de Acción.

8.1.3. PLANTILLAS DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN

FICHA Nº	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS		
FECHA	LUGAR:		
AUTOR	DPTO. RESPONSABLE:		
ITEM	CONDICIÓN	CALIFICACIÓN	OBSERVACIONES

Tabla 33. Plantilla para la realización del Check list

FICHA Nº	FORMACIÓN DE ATEX EN LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE SUBMARINOS		
FECHA	LUGAR:		
AUTOR	DPTO. RESPONSABLE:		
ITEM	¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIÓN

Tabla 34. Plantilla para la realización del What if

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)																									
AMFE DE PROCESO <input type="checkbox"/> AMFE DE DISEÑO <input type="checkbox"/>					DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE		CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO		HOJA																
NOMBRE Y DPTO. DE LOS PARTICIPANTES					COORDINADOR		MODELO/SISTEMA/FABRICACIÓN		FECHA INICIO FECHA REVISIÓN																
OPERACIÓN FUNCIÓN	FALLO Nº	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL					ACCIÓN CORREC- TORA	RESPON- SABLE PLAZO	SITUACION DE MEJORA													
		MODOS DE FALLO	EFECTOS	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS	F	G	D	I			P	R	ACCIONES IMPLANTADAS	F	G	D	I	P	R					

Tabla 35. Plantilla para la realización del AMFE