

GUÍA DE MEJORES PRÁCTICAS EN MATERIA DE DESTRUCCIÓN DE MUNICIÓN CONVENCIONAL

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	159
	1. Objetivos	159
	2. Ámbito de aplicación	159
	3. Proceso general para planificar actividades de desmilitarización	159
	4. Impacto medioambiental	161
	5. Factores económicos de la desmilitarización	161
	6. Supervisión del proceso de desmilitarización	161
	7. Proceso de destrucción	162
II.	VERTIDO DE MUNICIÓN	162
	1. Vertido en el mar	162
	2. Vertido en tierra	162
III.	INCINERACIÓN A CIELO ABIERTO/DETONACIÓN A CIELO ABIERTO	163
	1. Detonación a cielo abierto	163
	2. Incineración a cielo abierto	164
IV.	INCINERACIÓN EN ESPACIOS CERRADOS	165
	1. Horno rotatorio	165
	2. Incinerador de lecho fluidizado	166
	3. Horno de solera móvil	167
	4. Instalación de descontaminación mediante gas caliente	167
	5. Cámara de detonación controlada o contenida	168
V.	TÉCNICAS ADICIONALES PARA LA DESTRUCCIÓN DE MUNICIÓN	168
	1. Ensamblaje inverso	168
	2. Desmenuzamiento mecánico	169
	3. Fracturación criogénica	170
VI.	TÉCNICAS DE SEPARACIÓN	171
	1. Técnicas de fusión	171
	2. Vaciado con chorro de agua a presión	172
	3. Vaciado con disolventes	172
VII.	TÉCNICAS DE CONVERSIÓN EXPERIMENTALES	173
	1. Oxidación por agua supercrítica	173
	2. Pirólisis por arco de plasma	173
	3. Oxidación electroquímica	174
	4. Biodegradación	174
VIII.	ANÁLISIS	175
IX.	CONCLUSIONES	177
X.	LISTA DE ABREVIATURAS	177
XI.	REFERENCIAS	178

La presente Guía ha sido redactada por el Gobierno de los Países Bajos

FSC.DEL/59/08/Rev.1

2 de junio de 2008

I. Introducción

Tal y como declara el *Documento de la OSCE sobre existencias de munición convencional (19 de noviembre de 2003)*, la presencia de munición siempre supone ciertos riesgos para la seguridad humana. La solución definitiva de este problema consiste en la destrucción de toda munición excedentaria. El presente documento analiza las mejores prácticas en relación con los métodos destinados a la destrucción de munición convencional.

1. Objetivos

El objetivo de la presente guía de mejores prácticas es proporcionar orientación para la destrucción efectiva de munición excedentaria, por ejemplo después de un conflicto armado, o que haya sido identificada como tal tras una reestructuración de las fuerzas armadas en el marco de una reforma de la defensa.

Se espera también que esta guía facilite y contribuya al desarrollo y la aplicación de normas comunes prioritarias en este ámbito. Para la recomendación, planificación y realización de proyectos de destrucción específicos, deberían elaborarse directrices más concretas dentro del marco de las respectivas normativas y procedimientos nacionales. Tales directrices adicionales podrían tomar en consideración las mejores prácticas ya disponibles.

2. Ámbito de aplicación

La presente guía de mejores prácticas se centra únicamente en la destrucción de munición convencional. Se ha excluido de la misma la neutralización de armas nucleares así como la de armas químicas y biológicas, aunque se recogen algunas referencias relativas a la munición química. Tampoco se ha incluido la destrucción de UXO (artefactos no explosionados) ni la limpieza de las zonas afectadas.

Las técnicas de destrucción física disponibles abarcan desde técnicas de incineración a cielo abierto y detonación a cielo abierto, hasta procedimientos industriales muy sofisticados.

Este documento analiza los argumentos a favor y en contra de cada uno de esos procedimientos. Las técnicas de destrucción apropiadas para cada zona en concreto dependerán en primer lugar de:

- i) los recursos disponibles en la zona;
- ii) la condición física de las existencias, en otras palabras, si la munición es susceptible de ser transportada;
- iii) la cantidad de munición y explosivos en términos de economías de escala;
- iv) las capacidades nacionales; y
- v) la legislación nacional sobre seguridad en materia de explosivos y sobre medio ambiente.

En general puede afirmarse que cuanto más grande sea la cantidad de munición que deba destruirse, mayores serán las economías de escala, ampliándose así el abanico de tecnologías de destrucción eficientes y asequibles.

3. Proceso general para planificar actividades de desmilitarización

El proceso de planificación de un proyecto de desmilitarización se inicia tomando como base la munición en cuestión y respondiendo a las siguientes preguntas básicas:

3.1 ¿Es seguro transportar la munición?

Si la respuesta es no, entonces no podrá aplicarse ningún otro tipo de desmilitarización que no sea la destrucción controlada “in situ”.

3.2 ¿Se puede transportar la munición internacionales de conformidad con las Recomendaciones de las Naciones Unidas relativas al transporte de mercancías peligrosas, y con los requisitos asociados al transporte intermodal, tales como los Acuerdos europeos relativos al transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril (RID), por Carretera (ADR), así como el Código Marítimo Internacional sobre el transporte de mercancías peligrosas (Código IMDG)?

A fin de cumplir los requisitos fundamentales para el transporte internacional transfronterizo, la munición debe haber sido clasificada como Mercancía Peligrosa de Clase 1 y el tipo de embalaje probado y aprobado de conformidad con los requisitos establecidos por las Naciones Unidas. Este proceso sólo sería apropiado para la eliminación de grandes cantidades de munición, ya que llevarlo a cabo requiere mucho tiempo y resulta potencialmente costoso. [1]

3.3 ¿Qué parte de los gastos se destinará al transporte?

A la hora de preparar el presupuesto debería tenerse en cuenta que cualquier transporte transfronterizo supondrá del 30 al 40% de la previsión de los costos totales de desmilitarización.

3.4 ¿De qué cantidad de munición —debidamente identificada— se trata?

La cifra total de munición que debe desmilitarizarse constituye un factor decisivo cuando existen importantes restricciones presupuestarias. A no ser que el ente propietario disponga de acceso a una instalación de desmilitarización ya existente que cuente con la necesaria infraestructura, maquinaria, utensilios y personal competente, el costo unitario para cada elemento

será desproporcionadamente alto. La respuesta a esta pregunta deberá considerarse teniendo en cuenta la respuesta dada a la pregunta 3.2.

3.5 ¿Se dispone de suficiente información técnica?

La importancia de este requisito queda reflejada en el ejemplo siguiente: un proyecto de desmilitarización incluye proyectiles cargados con un material de alta potencia explosiva. Existen varias opciones para desmilitarizar dichos proyectiles. La más habitual consiste en fundir el material explosivo utilizando agua caliente (a más de 81° C de temperatura) para reutilizarlo subsiguientemente en la producción de explosivos para voladuras de uso industrial. Se trata de la mejor opción de reutilización y reciclaje posible, y su impacto medioambiental es mínimo. Sin embargo, no es tan sencillo como parece. De todas las cargas explosivas potenciales, el TNT es la única con un punto de fusión bajo. La carga alternativa más común es el RDX (ciclo-trimetileno-trinitramina), que no alcanza la fusión hasta los 205,5° C. Por diversos motivos operativos, al TNT se le añaden al mismo tiempo RDX, cera y aluminio. La mezcla aún conserva un punto de fusión bajo y resulta relativamente sencillo rellenar el proyectil colando la carga explosiva fundida. También puede ser fundido y extraído para su destrucción pero se ha de tener en cuenta que cada RDX recristalizado supone un serio riesgo en potencia. La adición del aluminio en polvo fino complica aún más las cosas. Este tipo de información técnica es esencial a fin de determinar qué método de desmilitarización constituirá la mejor opción. En relación con el ejemplo antedicho, sin disponer de información referente a la carga explosiva, no será posible decidirse por el proceso de desmilitarización más adecuado, algo que podría conllevar la elección de un proceso intrínsecamente peligroso.

3.6 ¿La tarea de destrucción ha sido adjudicada en función de un proceso de selección de ofertas o ha sido asignada a una única fuente?

Si se eligió la segunda opción, posiblemente será necesaria una evaluación de costos independiente.

3.7 ¿Existe algún tipo de limitaciones temporales?

Pueden darse restricciones de tiempo en materia operativa, logística y financiera, que influirían negativamente en el calendario presupuestario y de financiación del proyecto.

3.8 ¿Se ha de tener en cuenta alguna cuestión en materia de seguridad?

Dado el creciente aumento de proyectiles dirigidos de alta precisión y del uso de sistemas de guiado electrónico, las municiones pueden llevar incorporados datos electrónicos confidenciales. El manejo y la destrucción de ese tipo de componentes deberá ser objeto de una verificación específica.

3.9 ¿Existe algún tipo de limitación medioambiental?

El objetivo de toda eliminación de munición debería ser minimizar, o incluso erradicar, cualquier impacto medioambiental adverso. Sin embargo, conseguir ese objetivo resulta costoso y puede que no sea justificable, ni siquiera posible, cuando se trate de destruir pequeñas cantidades.

3.10 ¿Existen limitaciones en materia de reutilización y reformulación de los materiales recuperados?

Las legislaciones internas pueden prohibir o limitar la reutilización y la reformulación de los materiales recuperados, especialmente si se trata de explosivos y propulsantes.

4. Impacto medioambiental

Aunque no existen procedimientos de destrucción de munición y explosivos completamente seguros desde el punto de vista medioambiental, siempre que sea posible deberán tomarse medidas destinadas a minimizar la contaminación del aire, el suelo y el agua de la zona. En toda planificación de destrucción de munición deberán tomarse en consideración medidas de control de la contaminación. La recogida de desechos y residuos ayudaría a minimizar los efectos negativos en el medio ambiente [2]. Deberá tenerse en cuenta la legislación local específica en materia medioambiental.

5. Factores económicos de la desmilitarización

La comparación de costos entre diversos métodos de desmilitarización resulta difícil y puede llevar a confusión debido a la existencia de múltiples factores variables, tales como el transporte, la inversión de capital, la mano de obra, la energía, la eliminación de residuos y el valor de los materiales reciclables.

6. Supervisión del proceso de desmilitarización

Es necesario supervisar y verificar las actividades de desmilitarización durante el transcurso de todo el proyecto. Eso debe hacerse a fin de velar por que la tarea se realice cumpliendo con el calendario acordado y que el registro de la misma se lleve de manera apropiada y precisa. En casos en los que se realicen pagos acordados según los plazos de entrega, los correspondientes certificados de destrucción deberán ser validados por la autoridad oficial competente. El alcance y la frecuencia de la validación se basarán normalmente en el ámbito y la complejidad del proyecto. Es bastante habitual que proyectos en gran escala y de larga duración cuenten con la presencia permanente de personal que lleve a cabo la verificación in situ.

7. Proceso de destrucción

El presente documento usa la terminología de clasificación de munición tal y como quedó definida por la OSCE en el documento de referencia anteriormente mencionado. Dicha clasificación es la siguiente:

- i) Munición para armas pequeñas y armas ligeras (APAL);
- ii) Munición para sistemas principales de armamento y equipo, incluidos misiles;
- iii) Cohetes;
- iv) Minas terrestres y de otra índole;
- v) Otros tipos de munición, material explosivo y detonadores convencionales.

Las tecnologías concretas que vayan a utilizarse para la destrucción de munición dependerán además de la cantidad de munición que deba destruirse, así como de las tecnologías disponibles y de fácil acceso en cada región.

El presente manual ofrece una visión general acerca de las tecnologías de destrucción de munición más comunes. Empezando por el vertido de munición (Capítulo II), la guía presenta una reseña histórica o una evolución

cronológica de las tecnologías usadas. El Capítulo III analiza la incineración y detonación a cielo abierto y el Capítulo IV la incineración y detonación en espacios cerrados. En el Capítulo V se analizan las tecnologías de desmenuzamiento necesarias para la destrucción de munición, mientras que el Capítulo VI se centra en la separación de las partes metálicas y los explosivos. Aunque el objetivo del presente manual es la destrucción de munición, el Capítulo VII también hace referencia a la reutilización y el reciclaje de los materiales como factores a tener en cuenta.

En el Capítulo VII se prestará especial atención a las tecnologías de destrucción de productos químicos procedentes de la munición que puedan causar problemas durante el proceso de incineración.

El Capítulo VIII analiza las condiciones que propician el uso de una u otra tecnología, e incluye una lista con los métodos de mejores prácticas. Por último, el Capítulo IX resume las conclusiones más importantes acerca de cada una de las metodologías aplicables a la destrucción de munición.

II. Vertido de munición

1. Vertido en el mar

El vertido de munición está prohibido por ley en todos aquellos países que han ratificado los diversos acuerdos y convenios al respecto (Convenio de Londres (1972) y su Protocolo (1996) [3], Convenio OSPAR (22 de septiembre de 1992) [4]). La mayor parte de países de Europa occidental son signatarios de los mismos.

Además, el vertido puede provocar situaciones no deseadas, ya que los gobiernos dejan de tener el control sobre la munición.

2. Vertido en tierra

Cuando la munición es vertida en lagos o vertederos, las sustancias químicas de la misma que se van filtrando durante un largo e impredecible período de tiempo, acabarán contaminando el medio ambiente. Muchos de los componentes usados en la producción de munición son nocivos para el medio ambiente. Dichos componentes pueden contener metales pesados (p. ej. plomo, antimonio, zinc, cobre), material explosivo (p. ej. 2,4,6-trinitrotolueno (TNT), nitroglicerina (NG) y RDX), y componentes de propulsantes (p. ej. dinitrotolueno

(DNT), difenilamina (DPA) y dibutilftalato (DBP)). Los componentes de artificios pirotécnicos tales como el hexacloroetano y las sales de bario/estroncio de trazadores y compuestos destinados a la iluminación, también son perjudiciales para el medio ambiente.

Debido a la filtración incontrolada, principalmente en la capa freática, de sustancias químicas tóxicas procedentes de la munición vertida, pueden llegar a contaminarse extensas regiones, incluido el suministro de agua potable de sus habitantes.

III. Incineración a cielo abierto/Detonación a cielo abierto

1. Detonación a cielo abierto

La destrucción de munición mediante la detonación a cielo abierto (OD) y la incineración a cielo abierto (OB) sigue siendo una práctica muy extendida que comúnmente se denomina OBOD, por sus siglas en inglés.

En la detonación a cielo abierto la munición se agrupa y amontona para su destrucción, induciendo una detonación en cadena mediante cargas cebo de explosivos comunes. Eso se consigue haciendo estallar cargas explosivas para voladuras que han sido colocadas junto a los elementos de la munición densamente amontonados. Por ese motivo, este método sólo es factible para un tipo de municiones cuyo coeficiente de peso explosivo sea relativamente alto.



Imagen 3.1: proyectiles de artillería y minas antitanque preparados para su destrucción

La munición estalla a causa de la onda explosiva generada por las cargas excitadoras. La ventaja de la detonación a cielo abierto reside en su capacidad de destruir grandes cantidades de munición de manera eficiente. El campo de destrucción deberá disponer de una superficie suficientemente grande para velar por que los efectos de la explosión, el ruido y la fragmentación permanezcan dentro de los límites del recinto. En general, la superficie de la mayoría de campos de destrucción por detonación situados fuera de las zonas de combate es muy limitada.

La detonación a cielo abierto también posibilita la destrucción de munición sin necesidad de usar equipos especiales. Las desventajas de la detonación a cielo abierto son las siguientes:

- Riesgo de contaminación incontrolada del suelo, el agua (subterránea) y el aire [5];
- Riesgos originados por la onda expansiva y los fragmentos;
- Posibilidad de que no se destruyan adecuadamente todas las piezas de la munición, lo que provocaría la aparición de UXO (artefactos no explosionados) en las inmediaciones;
- Sólo puede llevarse a cabo con luz diurna y en condiciones meteorológicas favorables.

A fin de prevenir la contaminación debida a una fuga incontrolada, la detonación a cielo abierto deberá realizarse preferiblemente en lugares que no sean vulnerables a filtraciones de agentes contaminantes en la capa freática.

La onda expansiva y los fragmentos pueden atenuarse mediante la reducción de la cantidad total de munición que vaya a destruirse simultáneamente, o aislando adecuadamente el recinto. Estas medidas de seguridad adicionales dependerán de lo vulnerable que sea la infraestructura del entorno donde esté situado el campo.

En la mayor parte de países occidentales está prohibida la detonación a cielo abierto de grandes cantidades de munición, a causa de la contaminación incontrolada que ésta puede provocar.

Además, la detonación a cielo abierto debería llevarse a cabo usando equipo protector a fin de evitar la exposición a sustancias contaminantes del personal dedicado a la neutralización de municiones explosivas [6]. Se puede lograr ese objetivo simplemente dotando al personal de monos de trabajo (desechables), guantes y máscaras antipolvo, que brinden protección cutánea y de las vías respiratorias.

2. Incineración a cielo abierto

La incineración a cielo abierto se utiliza principalmente para destruir excedentes (a granel) de propulsores y compuestos pirotécnicos. Esta técnica también es apropiada para destruir explosivos (a granel) no confinados, aunque en pequeñas cantidades, debido al riesgo de que la combustión conjunta de explosivos y propulsores derive en una explosión total.

La incineración a cielo abierto de munición que contenga humo, componentes pirotécnicos y colorantes o sustancias irritantes, está prohibida en los EE.UU. y en muchos otros países, dada la alta concentración de productos peligrosos que se generan durante la incineración a cielo abierto [7].



Imagen 3.2: Bolsas llenas de propulsante preparadas para ser incineradas a cielo abierto

La incineración a cielo abierto se realiza por regla general sobre estructuras diseñadas a tal efecto, como plataformas específicas o cubetas metálicas, a fin de evitar el contacto directo con la superficie del suelo y posibles filtraciones en la capa freática. Las cubetas destinadas a la incineración a cielo abierto deberían estar fabricadas de un material resistente al proceso de combustión y tener una profundidad y tamaño suficientes que les permitan retener los residuos resultantes del tratamiento. Deberían colocarse a cierta distancia respecto del nivel del suelo a fin de facilitar el enfriamiento y permitir la inspección de posibles fugas. Las cubetas deberían ser cubiertas cuando no estén en funcionamiento [8].

En conclusión, puede afirmarse que el uso de la incineración y la detonación a cielo abierto debería limitarse a lugares en los que no haya riesgos de filtraciones en la capa freática. En caso de que las filtraciones puedan suponer un problema será preceptivo el uso de construcciones impermeables, tales como plataformas específicas o metálicas. Los operarios encargados de la incineración deberían estar equipados con material protector apropiado, como indumentaria protectora (desechable) y elementos protectores de las vías respiratorias.

IV. Incineración en espacios cerrados

1. Horno rotatorio

El horno rotatorio se caracteriza por la destrucción térmica controlada de la munición o los explosivos durante un tiempo predeterminado, así como por la postcombustión de los gases de escape.

El horno rotatorio es el tipo de horno usado con más frecuencia para la destrucción de munición.



Imagen 4.1: Vista exterior de un horno rotatorio (imagen cedida por NAMSA)

La munición se introduce por medio de una tolva de alimentación (a la izquierda), encargada de regular la cantidad de munición (procedente de un compartimento independiente) por unidad de tiempo que debe introducirse en el horno. Ese aspecto relativo a la seguridad es importante a fin de evitar concentraciones de munición demasiado altas en el interior del horno. La munición reacciona a las altas temperaturas del horno, conseguidas mediante quemadores situados al final del mismo. Dichos quemadores pueden calentarse con gas o con combustible líquido. El incinerador del horno consiste en un tambor rotatorio cilíndrico de acero, con paredes gruesas, que tiene un transportador de tornillo en su interior.

La velocidad de rotación controlada hace que la munición se desplace a través del tambor, que se encuentra a una alta temperatura. El tiempo de residencia en el horno varía según el tipo de munición que se incinere, por lo que la velocidad de rotación del horno deberá ajustarse a la misma. A partir de un determinado tiempo de permanencia en el horno, los explosivos empezarán a arder. Los productos resultantes de la reacción se mezclan con exceso de aire en la cámara de postcombustión (cámara de combustión secundaria). Los productos sólidos resultantes de la reacción son recogidos por el extractor de cenizas, los depuradores ciclón y los filtros, que a su vez pueden ser de mangas o cerámicos. Los productos gaseosos son tratados con lavadores a base de cortinas de agua y con instalaciones Denox. Estas últimas adquieren gran importancia en los casos de incineración de explosivos como el TNT, debido a las altas concentraciones de óxidos de nitrógeno (NOx) que se generan. De esta manera, se consigue que la emisión de gases de escape se ajuste a las rigurosas normas establecidas por las autoridades medioambientales nacionales [9].

Dependiendo de criterios relativos al tamaño y rendimiento de los mismos, los hornos rotatorios pueden utilizarse para la incineración de explosivos y propulsores a granel, municiones de pequeño calibre (con cadencias de tiro de hasta 20.000 disparos/hora), espoletas, detonadores y otros dispositivos de ignición, especialmente cuando se trate de grandes cantidades. A ser posible, las municiones de calibre medio y grande deberían ser sometidas a un tratamiento previo a fin de poner al descubierto su contenido explosivo. En capítulos posteriores se discutirán los métodos más adecuados de tratamiento previo.

El uso comercial de hornos rotatorios está muy extendido en los Estados Unidos de América, Alemania, Fran-

cia, Italia, Reino Unido, Albania y Ucrania. En conclusión, se puede afirmar que los hornos rotatorios son muy apropiados para la destrucción de una gran variedad de tipos de munición y con fines de desmilitarización.

En Bosnia, el PNUD está utilizando un Sistema de Destrucción de Munición Transportable (TADS) con contenedores. Este sistema puede instalarse en cualquier lugar y sus costos representan el 25% de los de un horno rotatorio a escala completa. Sistemas móviles de ese tipo pueden utilizarse para destruir grandes cantidades de munición de pequeño calibre.



Imagen 4.2: Sistema de Destrucción de Munición Transportable con contenedores usado por el PNUD en Bosnia

2. Incinerador de lecho fluidizado

Los residuos explosivos se bombean en el lecho (área roja de la imagen) en forma de lodo no explosivo. El lecho consta de partículas de arena (principalmente de óxido de silicio) cuyo tamaño está perfectamente definido. El flujo de aire caliente provoca que las partículas de arena entren en suspensión y actúen como si se tratara de un líquido. Éste es un concepto muy seguro para incinerar residuos explosivos.

El lecho fluidizado puede ser de cualquier tamaño. La imagen 4.3 muestra una instalación industrial de grandes dimensiones. Para la incineración de residuos explosivos bastará una instalación pequeña con un diámetro de 0,5 metros.

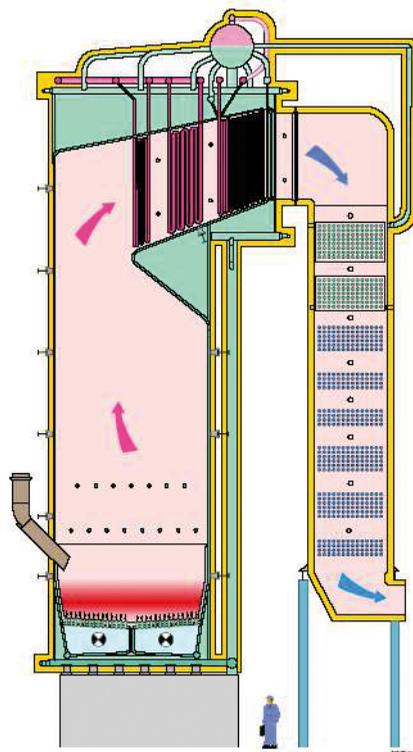


Imagen 4.3: Incinerador de lecho fluidizado

La mayor ventaja de los hornos de lecho fluidizado es su bajo consumo de energía. Ello hace posible la extracción del calor excesivo del horno para calentar una cabina u horno independiente, que se usará para el tratamiento térmico de pequeñas cantidades de munición de tamaño medio (véase también el Capítulo IV.3: “Horno de solera móvil”).

El incinerador de lecho fluidizado está especialmente indicado para la destrucción de explosivos y propulsores a granel en forma de lodo, que estará compuesto por materiales energéticos y agua.

No siempre será posible la destrucción de compuestos pirotécnicos por medio de incineradores de lecho fluidizado, debido a que se forman productos que reaccionan con las partículas del propio lecho. Ello puede desembo-

car en la formación de grumos que impedirán el correcto funcionamiento del lecho fluidizado.

3. Horno de solera móvil

Este tipo de hornos se usa para el tratamiento térmico de munición de pequeño calibre (sus componentes), tales como dispositivos de ignición, detonadores y espoletas. Estos hornos se emplean habitualmente para destruir pequeñas cantidades de munición ya que cuando se trate de grandes cantidades será más indicado usar el horno rotatorio. El horno de solera móvil también se utiliza para el tratamiento térmico de piezas metálicas contaminadas por pequeñas cantidades de explosivo. En la práctica se acostumbra a combinar este horno con otro tipo de instalaciones, por ejemplo, como complemento de otro horno. El calor necesario para conseguir la temperatura adecuada del horno procede en estos casos del exceso de calor generado por el horno más grande.



Imagen 4.4: Horno de solera móvil con la compuerta entreabierta

La munición se deposita sobre la solera (que está montada sobre raíles para poder introducirla en el horno). Por lo general, la munición o la chatarra se mantendrá en el horno durante un tiempo de residencia de 30 minutos. Los gases producidos por el horno pueden reconducirse hacia el sistema de control de contaminación de otras instalaciones (p.ej. el del incinerador de lecho fluidiza-

do). Tras el tratamiento térmico, las piezas mecánicas que permanezcan en la solera podrán recibir la certificación FFE (“libre de explosivos”), ser embaladas y transportadas a chatarrerías comerciales.

4. Instalación de descontaminación mediante gas caliente

Las instalaciones de descontaminación mediante gas caliente (de hecho, una versión ampliada de los hornos de solera móvil) pueden emplearse para el tratamiento de elementos que contengan restos de materiales energéticos, y procesarlos de tal manera que el contenido final de ese material sea prácticamente insignificante (Capítulo V). Los elementos que se someten a este tratamiento se depositan en cestos metálicos, se fijan en paletas metálicas o directamente sobre la superficie de una vagoneta especialmente diseñada a tal efecto. Dicha vagoneta se introduce después en una cámara de descontaminación, de manera que la vagoneta y la cámara se unan formando una pieza hermética. A continuación, se le suministra aire caliente para mantener la cámara a una temperatura de 300 °C durante una o dos horas.



Imagen 4.5: Instalación de descontaminación mediante gas caliente. La vagoneta ha sido cargada con cestas metálicas que contienen munición que ya fue sometida previamente a otro tratamiento.

Este tipo de instalación es muy recomendable para descontaminar grandes cantidades de chatarra.

5. Cámara de detonación controlada o contenida

Este tipo de equipo se usa para la destrucción de munición induciendo una detonación en cadena. El principio se basa en la detonación por resonancia de una pequeña carga de explosivos, principalmente explosivos plásticos, colocados junto a la munición que vaya a destruirse. La cámara ha sido diseñada para contener la sobrepresión generada por el estallido de los explosivos, pero no puede resistir la explosividad de detonaciones en las proximidades. La carga máxima de explosivos que puedan detonarse simultáneamente dependerá del diseño y el tamaño de la cámara de detonación. Este método es ideal para la destrucción de pequeñas cantidades de munición de tamaño medio, incluidas las granadas de mano y las minas antipersonal. La munición de mayor calibre (proyectiles > 105 mm) tendrá que ser desmenuzada antes de proceder a su destrucción en la cámara de detonación.



Imagen 4.6: Versión móvil de una cámara de detonación dotada de cámara de expansión así como de una unidad de control de contaminación atmosférica

Las medidas de protección que deben seguirse a fin de evitar la contaminación del personal son más sencillas que las indicadas para la incineración y detonación a cielo abierto.

V. Técnicas adicionales para la destrucción de munición

En el Capítulo IV se han analizado algunas de las técnicas de incineración y detonación en instalaciones cerradas. En la mayoría de estas técnicas será obligatorio limitar la cantidad de municiones o atenuar previamente los efectos más perjudiciales de las mismas. En cuanto a las municiones de mayor tamaño puede que sea necesario desmontarlas antes de destruirlas. El proceso de ensamblaje inverso proporciona:

- elementos explosivos completos y separados, aptos para ser eliminados subsiguientemente;
- elementos explosivos que requieren una reducción mecánica de su tamaño.

1. Ensamblaje inverso

Este proceso puede llevarse a cabo en las mismas fábricas que produjeron la munición. En el ensamblaje inverso se separan los componentes de la munición usando en ocasiones el mismo equipo que se utilizó para la fabricación de la munición. Dicho equipo debe adaptarse para poder realizar el proceso inverso y debe ser manejado por personal cualificado. El proceso puede incluir diversas fases, tales como:

- extracción de dispositivos de ignición (mechas y detonadores) de los cartuchos;
- extracción de espoletas de los proyectiles;

- separación de cargas multiplicadoras de las espoletas;
- extracción de deflagradores y estopines del núcleo del cartucho;
- separación de cargas de propulsante de los proyectiles y extracción del propulsante.



Imagen 5.1: Desmontaje manual de minas antipersonal (Donetsk, Ucrania)

El desmenuzamiento de la munición se puede realizar combinando adecuadamente equipo y personal cualificado. Para el desmontaje mecánico se utiliza maquinaria diseñada para el desmantelamiento de la munición. En comparación con el desmontaje manual, el desmontaje mecánico ofrece ventajas tales como: tener una alta productividad, ser un sistema de trabajo eficiente y requerir poco personal. Se necesitará una amplia gama de equipo para hacer frente a todos los requisitos que implica el desmenuzamiento de la munición.

2. Desmenuzamiento mecánico

El desmenuzamiento mecánico se sirve de maquinaria diversa, como tornos, sierras (sobre todo sierras de cinta) y dispositivos de corte hidroabrasivo. Las herramientas de corte se usan para abrir la munición, separar la espoleta del proyectil, separar los cartuchos de los proyectiles, etc., sin necesidad de recurrir a la amplia gama

de equipo especializado que se precisa para el método de ensamblaje inverso. Sin embargo, la cantidad de trabajo y de munición que puede destruirse es equiparable a la del proceso de ensamblaje inverso.



Imagen 5.2: Torno usado para el corte de un mortero de 81 mm

Aparte del uso del torno, el desmenuzamiento se puede conseguir serrando o cortando la munición en partes más pequeñas, siempre que se tomen las medidas de precaución pertinentes. Estas técnicas se pueden aplicar en todo el mundo. Su utilización con fines de ensamblaje inverso de munición puede provocar situaciones peligrosas, ya que la mayoría de cargas explosivas pueden reaccionar a los efectos producidos por la fricción.

El método basado en el desmenuzamiento de munición es una opción viable siempre y cuando se garantice la seguridad del personal operario. En la mayoría de los casos, el uso de procesos basados en el control remoto de la maquinaria bastará y será preceptivo para velar por la seguridad del personal.

La munición también puede ser seccionada mediante la tecnología de corte hidroabrasivo de alta presión siempre que la presión del agua no supere el límite de 2000 bar. En la práctica se trabaja normalmente a una presión de 200 bar.

Esa tecnología procede de la industria petrolífera marina y se utilizaba para seccionar gasoductos o abrir depósitos de almacenamiento que contenían vapores de hidrocarburos.



Imagen 5.3: Equipo de corte hidroabrasivo; imagen inferior izquierda: resultado del corte de una munición de 155 mm

La ventaja de la tecnología de corte hidroabrasivo (HAC) radica en su flexibilidad, que permite el corte de cualquier tipo de munición, desde un calibre de 40 mm hasta municiones de grandes dimensiones, como bombas de aeronaves y torpedos. Otra ventaja de esta técnica es la probada seguridad de la misma, siempre que se observen los límites de presión del chorro de agua. El sistema HAC está especialmente recomendado para el corte de munición que contenga explosivos encolados con plástico (PBX).

En conclusión, se puede afirmar que la reducción mecánica es un proceso apropiado, si se realiza por control remoto.

3. Fracturación criogénica

Esta técnica se desarrolló para la desmilitarización de municiones químicas [10]. La munición se enfría en el interior de un contenedor lleno de nitrógeno líquido. El acero de los proyectiles se vuelve quebradizo a causa de las bajas temperaturas. Subsiguientemente, se transportan los proyectiles a una prensa hidráulica donde son fracturados a fin de recuperar el material explosivo o el agente químico, mientras que las vainas son divididas en fragmentos metálicos de menor tamaño.

La baja temperatura impedía que se evaporara el agente químico de los proyectiles, con lo que a continuación se procedía al tratamiento de los fragmentos metálicos y del agente químico en hornos especiales dotados de instalaciones de tratamiento de gases de escape.



Imagen. 5.4: Planta de criofractura en Alsetex, Francia (imagen cedida por NAMSA)

La criofractura es una técnica muy extendida en Europa para la desmilitarización comercial de unidades y componentes explosivos cerrados, de pequeño tamaño. La congelación del dispositivo neutraliza los explosivos y posibilita su aplastamiento a fin de poder procesarlos posteriormente en un horno. Gracias a esta técnica se han destruido decenas de miles de submuniciones procedentes de bombas de racimo.

VI. Técnicas de separación

Las técnicas basadas en separar el contenido explosivo de su envoltura metálica usadas más comúnmente son las siguientes:

- técnicas de fusión;
- vaciado con agua a alta presión;
- vaciado con disolventes.

1. Técnicas de fusión

El uso de las técnicas de fusión está muy extendido en el campo de la extracción de explosivos y cargas de municiones, cuyo relleno se realizó también en estado fundido. El ejemplo más común lo constituyen el TNT y los derivados del TNT (tales como el TNT/RDX) que son colados a una temperatura de 80,35 °C o superior.

Las técnicas de fusión son apropiadas para todo tipo de municiones cuya base sea el TNT. Debido a su alto punto de fusión (205,5 °C), no es viable la fundición de munición cargada con RDX.

La munición se calienta por medio de agua/vapor caliente o en hornos de inducción. Los materiales explosivos se funden a temperaturas superiores a los 80,35 °C, y se derraman saliendo de su carcasa. A continuación, se puede proceder a la recogida del material explosivo fundido para su tratamiento o destrucción posterior. Dicho material se reutiliza frecuentemente en la producción industrial de explosivos para voladuras.

- El vapor procedente del TNT deberá ser extraído mediante el correspondiente extractor de gases de escape;
- Capas residuales del material explosivo harán necesario someter la munición a un tratamiento térmico adicional (horno de solera móvil o descontaminación térmica mediante gas caliente (Capítulo IV)).



Imagen 6.1: Fusión de TNT con autoclaves en una factoría de destrucción de munición (Ankara) (imagen cedida por NAMSA)

La técnica de fusión también se usa para la desmilitarización de municiones que contengan fósforo blanco (WP por sus siglas en inglés). La munición se sumerge en un baño de agua caliente (a 50 °C). El fósforo se funde a 42 °C y puede ser recogido bajo el agua. Este procedimiento es necesario debido a la violenta reacción del fósforo cuando entra en contacto con el oxígeno del aire.



Imagen 6.2: Recuperación de fósforo blanco por fusión

El WP recuperado conserva su valor comercial. Se pueden destruir pequeñas cantidades de artefactos explosivos cargados con WP mediante el método de detonación

a cielo abierto, aunque sería necesario el asesoramiento de expertos debido a los problemas derivados de la contaminación ambiental.

2. Vaciado con chorro de agua a presión

El principio del vaciado con chorro de agua a presión de cargas explosivas se basa en el uso de un inyector de agua a alta presión. El chorro del inyector se dirige hacia la carga explosiva mediante una boquilla rotativa. El vaciado con chorro de agua a presión permite extraer cualquier tipo de carga explosiva de su carcasa metálica. El vaciado es especialmente apto para la extracción de explosivos plásticos (PBX) y de otros tipos de explosivos no fundidos.

La instalación mostrada en la imagen 6.3 es capaz de vaciar dos artefactos simultáneamente. El vaciado de los ocho artefactos de la fotografía se realiza en media hora.



Imagen 6.3: Vaciado de proyectiles de 155 mm con chorro de agua

Las características del vaciado con chorro de agua a presión son:

- El chorro de agua extraerá completamente toda clase de explosivos (no sólo los que hayan sido colados / no permanecerá ninguna capa de material explosivo en la munición);

- Menor contaminación en las instalaciones; menos vapor de TNT significa mejores condiciones higiénicas de trabajo;
- El agua utilizada en el proceso de vaciado se recicla (no existen problemas de aguas residuales);
- Los explosivos pueden extraerse del agua para su reutilización;
- Los explosivos pueden ser transformados en una especie de lodo de clase 4.1 [11].

Las instalaciones de vaciado con agua a presión se pueden combinar de manera muy eficaz con equipos de corte hidroabrasivo (Capítulo V.2).

3. Vaciado con disolventes

Esta técnica se sirve de una sustancia disolvente capaz de disolver los explosivos con facilidad. Dado que la mayoría de explosivos, como el TNT y el RDX, no son solubles en agua (o sólo lo son mínimamente), deberán elegirse otro tipo de disolventes. Para disolver la mayoría de explosivos se usan disolventes tales como el cloruro de metileno, el alcohol metílico, la acetona o el tolueno. Hay que hacer hincapié en que se necesitarán grandes cantidades de disolvente, y que es imprescindible disponer de instalaciones de gran tamaño para el almacenaje y la recuperación del disolvente. El vaciado con disolventes permite el reciclaje de los explosivos. Es preferible el uso de esta técnica cuando se pretenda la reutilización de explosivos militares muy valiosos. Esta técnica sólo será aplicable para pequeñas cantidades de munición.

El vaciado con disolvente también puede aplicarse para descontaminar piezas metálicas, como por ejemplo vainas de proyectiles tras haberles sido extraído el explosivo mediante fusión. El disolvente se encargará de eliminar la fina capa de explosivo que aún permanece en los proyectiles tras haberse aplicado la técnica de fusión.

Este tipo de procedimientos debe llevarse a cabo en condiciones de seguridad apropiadas; algunos disolventes tienen una alta presión de vapor y al contacto con el aire podrían formar mezclas explosivas, mientras que otros disolventes podrían ser nocivos para la salud de las personas por su toxicidad (tolueno, cloruro de metileno).

VII. Técnicas de conversión experimentales

En los Capítulos III y IV se ha analizado la combustión de residuos explosivos considerándola como una de las técnicas de conversión. Durante los dos últimos decenios se han estado experimentando nuevas técnicas de conversión de residuos explosivos. Entre ellas figuran:

- Oxidación por agua supercrítica;
- Pirólisis por arco de plasma;
- Oxidación electroquímica;
- Reacción química;
- Degradación biológica.

Estas técnicas en pequeña escala están diseñadas y se utilizan para tipos de residuos muy específicos.

1. Oxidación por agua supercrítica

La oxidación por agua supercrítica (SCWO), también conocida como oxidación hidrotérmica, destruye residuos orgánicos tóxicos y peligrosos en un sistema compacto, totalmente hermético. Eso hace que sea una tecnología interesante para la destrucción de artificios pirotécnicos que contengan cloro (p. ej. hexacloroetano, policloruro de vinilo), pero también para las armas con agentes destinados a la guerra química o irritantes. Es un proceso de alta tecnología para la destrucción de compuestos que contengan cloro, y que evita la formación de dioxinas.

2. Pirólisis por arco de plasma

El reactor de plasma consiste en una centrifugadora interna en la cual el material de residuos peligrosos es calentado por unas antorchas que producen un arco de plasma que alcanza una temperatura de aproximadamente 20.000 °C. Las aguas residuales del sistema de lavado de gases son tratadas en una unidad de evaporación de agua. De esa manera se evita el vertido de las mismas a la canalización. Debido a su contenido tóxico (metales tóxicos) los residuos secos de la evaporadora deberán ser trasladados a un vertedero de residuos peligrosos.

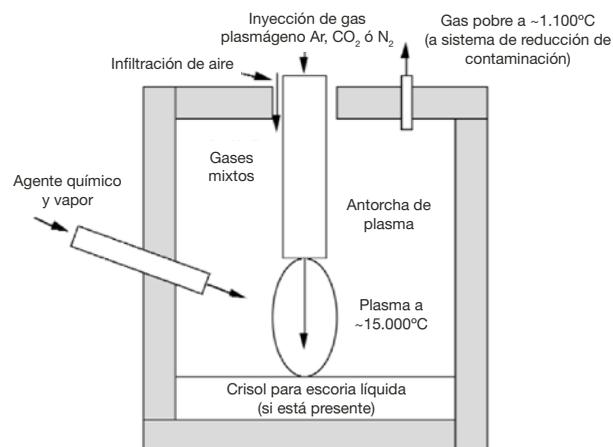


Imagen 7.1: Dibujo esquemático de un reactor de plasma

La tecnología de incineración por arco de plasma se desarrolló para destruir residuos peligrosos tales como los agentes químicos que contienen arsénico. Dado que el producto final del reactor será un compuesto vítreo en el que quedarán atrapados los componentes tóxicos, ese producto final tendrá que almacenarse en un vertedero de residuos peligrosos.

Los compuestos energéticos (explosivos, propulsantes y pirotécnicos) expuestos a una pequeña cantidad de oxígeno, se convierten en el interior del reactor de plasma en productos gaseosos por oxidación, que están compuestos principalmente de monóxido de carbono, dióxido de carbono y pequeños hidrocarburos tales como el metano, eteno y etano. Los hornos de arco de plasma tienen una fase de calentamiento muy breve (necesitan unos 5 minutos para estar plenamente operativos), así como de apagado. Este proceso requiere grandes cantidades de energía y es muy costoso, pero resulta muy indicado para la neutralización de ciertos tipos de armas químicas. Además, la pirólisis por arco de plasma es muy recomendable para la descontaminación de partes metálicas.

3. Oxidación electroquímica

La tecnología AEA, SILVER II™, se basa en la naturaleza altamente oxidante de los iones de Ag^{2+} , que se generan haciendo pasar una corriente eléctrica a través de una solución de nitrato argéntico en ácido nítrico, dentro de una cuba electroquímica, similar a las utilizadas en los procesos electroquímicos industriales. Las reacciones electroquímicas usadas en la tecnología SILVER II™ pertenecen a una clase de procesos químicos conocidos comúnmente como oxidación electroquímica mediada (MEO). Estos procesos están siendo presentados como una alternativa a la incineración convencional en lo relativo a la destrucción de residuos peligrosos. La experiencia con este tipo de procesos es limitada debido

también a que su desarrollo y aplicación son relativamente recientes.

Este proceso puede usarse para la neutralización de explosivos primarios tales como el nitrato de plomo y el trinitrorresorcinato de plomo.

4. Biodegradación

La biodegradación se sirve de la capacidad de los microorganismos de descomponer sustancias químicas relacionadas con la munición, tales como el TNT y otros componentes explosivos y propulsantes. La biodegradación se puede realizar de la misma manera que un proceso químico en equipos de tipo reactor.



Imagen 7.2: Equipo de biodegradación

Se necesitarán instalaciones de almacenamiento de gran tamaño, ya que sus tasas de reacción son lentas; por ello sería más aconsejable usar la tecnología agrícola. En la tierra ya están presentes grandes cantidades de microorganismos dispuestos a convertir sustancias químicas. Para que los microorganismos puedan convertir los componentes energéticos orgánicos, la tecnología agrícola creará las condiciones apropiadas, adecuando el suelo agrícola a los siguientes factores:

- Porcentaje de oxígeno;
- pH del suelo;
- Porcentaje de agua en el suelo;
- Nutrición adicional para los microorganismos.

La opción con reactor es más apropiada para el tratamiento de residuos explosivos con altas concentraciones, mientras que la biodegradación agrícola puede aplicarse in situ para descontaminar emplazamientos militares (con bajas concentraciones de materiales energéticos).

La biodegradación no es recomendable para el tratamiento de (residuos) propulsantes que contengan metales pesados (usados como aditivos para evitar la erosión en cañones o como inhibidores del índice de combustión).

VIII. Análisis

En la actualidad se emplea un gran número de tecnologías diversas para la destrucción de munición. A fin de poder evaluar los mejores métodos en la práctica, se mencionan a continuación una serie de criterios que pueden servir como guía:

1. La tecnología aplicada debería conducir a una destrucción irreversible de la munición y de los materiales explosivos, propulsantes y pirotécnicos que contenga.
2. La tecnología aplicada debería ser respetuosa con el medio ambiente y segura para el personal operario. Deberían aplicarse principios para conseguir un análisis completo del sistema medioambiental.
3. La tecnología aplicada debería ser viable desde el punto de vista económico, con requerimientos energéticos mínimos para la destrucción y con una muy baja producción de residuos.
4. La combinación de tecnologías que se aplique debería ser apropiada para la destrucción de la mayoría de tipos de munición.

5. En algunas ocasiones la tecnología aplicada debería ser capaz de desactivar la munición en el lugar donde ésta se encuentre. Este principio es aplicable a toda munición cuyo transporte no dé garantías de seguridad.

La elección de la tecnología más apropiada para la desmilitarización de munición dependerá en gran medida de la situación local. En la práctica no se aplicará una única tecnología, sino más bien la combinación de varias tecnologías. Por ese motivo, en la lista siguiente se enuncian las tecnologías de desmilitarización usadas más frecuentemente así como sus condiciones de aplicación.

Tecnología	Condiciones para su aplicación
Detonación a cielo abierto	No hay otras tecnologías disponibles o éstas son económicamente inviables El transporte no es posible La munición supone un alto riesgo para la seguridad en la zona Munición de calibre medio y grande
Incineración a cielo abierto	No hay otras tecnologías disponibles o éstas son económicamente inviables Preferiblemente para cantidades limitadas de explosivos
Horno rotatorio	Grandes cantidades de munición de pequeño y medio calibre Indicado también para munición de gran calibre sometida previamente a desmenuzamiento
Lecho fluidizado	Grandes cantidades de explosivos y propulsantes a granel Posibilidad de recuperación de la energía en combinación con un horno de solera móvil
Horno de solera móvil	Pequeñas cantidades de dispositivos de ignición, detonadores, espoletas, artificios pirotécnicos
Instalación de descontaminación con gas caliente	Grandes cantidades de chatarra contaminada
Cámara de detonación controlada	Cantidad limitada de munición
Tecnologías de desmenuzamiento	Se usa en combinación con diversas opciones de reutilización Tratamiento previo para otras tecnologías
Tecnologías de separación	Reciclaje y reutilización
Tecnologías de conversión experimentales	Aplicaciones específicas para materiales peligrosos a fin de prevenir la formación de sustancias de alto contenido tóxico y proteger el medio ambiente

En la práctica, la desmilitarización de munición siempre se basará en una combinación de las tecnologías mencionadas en la lista anterior. Las correspondientes tecnologías tendrán que estar disponibles en la zona en cuestión. Aún más importante es la disponibilidad de personal cualificado.

En los casos en que la cantidad de municiones sea muy grande, será más efectivo económicamente construir una planta fija. Si la cantidad de municiones es moderada, será más recomendable usar un equipo móvil. Muy prometedora puede ser la transformación local de la munición en residuos de clase 4.1. Se puede conseguir separando los explosivos de las partes metálicas y obteniendo posteriormente una mezcla de los explosivos con agua

y aditivos [10]. Sin embargo, esa conversión requiere la aplicación de tecnologías sofisticadas, y el acceso a instalaciones de destrucción de residuos peligrosos, incluidos los residuos peligrosos procedentes de la incineración de residuos explosivos.

Para procedimientos especiales se recomienda el uso de tecnologías experimentales. Eso sucede cuando se usan tecnologías de incineración convencionales que podrían producir sustancias tóxicas muy contaminantes, como las dioxinas.

IX. Conclusiones

Los métodos basados en las mejores prácticas pueden mitigar los riesgos de la desmilitarización de munición con unos costos y un impacto medioambiental mínimos. La posibilidad de aplicación de cada una de las técnicas dependerá en gran medida de la situación local y de la economía de escala.

Cuando no es posible el reciclaje, los explosivos deben ser destruidos. Una tecnología muy prometedora será la transformación de explosivos en productos residuales de la clase 4.1. Eso se consigue mezclando el material energético con agua y aditivos; los residuos de clase 4.1 podrán ser incinerados con garantías de seguridad en cualquier instalación comercial.

Una cantidad limitada de componentes de munición debería tratarse con los métodos específicos descritos en el Capítulo VI, concretamente, la munición con agentes químicos y fumígenos que contengan hexacloroetano o fósforo blanco. Ese tipo de municiones debería tratarse por separado y con la aplicación de medidas de seguridad adicionales.

X. Lista de abreviaturas

CN	Cloroacetofenona	RDX	Ciclotrimetilenotrinitramina (Research Department X)
CS	Clorobenzolmalonotrilo	SCWO	Oxidación por agua supercrítica (Super Critical Water Oxidation)
CW	Arma química	TNT	2,4,6-trinitrotolueno
DBP	Dibutilftalato	UXO	Munición y artefactos explosivos sin estallar
DNT	Dinitrotolueno		
DPA	Difenilamina		
NG	Nitroglicerina		
OB	Incineración a cielo abierto		
OD	Detonación a cielo abierto		

XI. Referencias

- [1] *International Mine Action Standards (IMAS) (Normas Internacionales para las Actividades relativas a las Minas)*, 2ª edición, 2003, Servicio de Actividades Relativas a las Minas de las Naciones Unidas (UNMAS) DC2 0650, Naciones Unidas, Nueva York, NY 10017, EE.UU., 2003
- [2] Mitchell, A. R., Coburn, M. D., Schmidt, R. D., Pagoria, P. F. & Lee, G. S., *Resource Recovery and Reuse (R3) of Explosives by Conversion to Higher Value Products*, Lawrence Livermore National Laboratory, Energetic Materials Center, Livermore, California 94550, EE.UU.
- [3] *Convenio de Londres (1972), Organización Marítima Internacional*, Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias (1972) y su Protocolo (1996)
- [4] Convenio OSPAR (París), *Convenio sobre la protección del medio marino del Nordeste Atlántico, Anexo II*, 22 de septiembre de 1992
- [5] *Development of a Protocol for Contaminated sites Characterisation*, KTA 4-28, Informe Final, septiembre de 2003
- [6] N. H. A. Van Ham; F. R. Groeneveld, *ARBO onderzoek EOCKL* (en neerlandés), Informe TNO 1999 A89, 1999
- [7] Teir, S., *Modern Boiler Types and Applications*, Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering, Energy Engineering and Environmental Protection, Publications Steam Boiler Technology eBook Espoo, 2002
- [8] *A Destruction Handbook*, Departamento de Asuntos de Desarme de las Naciones Unidas (Subdivisión de Armas Convencionales), S-3170 United Nations, Nueva York, EE.UU.
- [9] Directiva 2000/76/CE de la Unión Europea (diciembre de 2006)
- [10] *Cryofracture process, General Atomics. Cryofracture technology for the destruction of AP mines*, International Demil Conference St. Petersburg 2004.
- [11] Van Ham, N. H. A., *Safety Aspects of Slurry Explosives*, in Application of demilitarized gun and rocket propellants in commercial explosives, NATO Science Series II- Volume 3.

NOTA