

DIRECTRICES TÉCNICAS
INTERNACIONALES SOBRE
MUNICIONES

IATG
01.80

Segunda edición
2015-02-01
Modificación 1
2016-11-03

Fórmulas para la gestión de municiones

Advertencia

Las Directrices Técnicas Internacionales sobre Municiones (IATG) están sujetas a evaluación y revisión periódicas. Este documento se encuentra actualizado y vigente desde la fecha indicada en la portada. Para verificar su estado, los usuarios deberán consultar el sitio web del programa SaferGuard del proyecto IATG de las Naciones Unidas a través de la Oficina para Asuntos de Desarme de las Naciones Unidas (UNODA) en:

www.un.org/disarmament/un-safeguard.

Aviso sobre derechos de autor

Este documento constituye las Directrices Técnicas Internacionales sobre Municiones y está protegido por los derechos de autor de las Naciones Unidas. Queda prohibida la reproducción, almacenamiento o distribución de este documento o de cualquier extracto del mismo en cualquier forma, por cualquier medio o para cualquier otro propósito sin el consentimiento previo por escrito de la UNODA, que actúa a nombre y en representación de la ONU.

Este documento no está autorizado para su venta.

Oficina para Asuntos de Desarme de las Naciones Unidas (UNODA)
Sede de las Naciones Unidas, Nueva York, NY 10017, USA

Correo electrónico: conventionalarms-unoda@un.org

Teléfono: +1 917 367 2904

Fax: +1 917 367 1757

Índice

Índice	ii
Prólogo.....	iv
Introducción.....	v
Fórmulas para la gestión de municiones	1
1 Alcance	1
2 Referencias Normativas	1
3 Términos y Definiciones	1
4 Antecedentes	2
5 Ley de escala de la raíz cúbica	2
6 Voladura (onda expansiva).....	3
6.1 Rankine-Hugoniot (parámetros del frente de choque)	3
6.1.1. Velocidad del frente de choque.....	3
6.1.2. Velocidad de partículas.....	4
6.1.3. Densidad del aire detrás del frente de choque	4
6.1.4. Presión dinámica	4
6.1.5. Presión refleja.....	4
6.2 Sobrepresión e impulso de voladura.....	4
6.2.1. Presión del incidente	5
6.2.2. Impulso del incidente	5
6.2.3. Presión refleja.....	6
6.2.4. Impulso reflejo	7
6.3 Ley de escala.....	7
6.4 Coeficiente de reflexión	8
6.5 Impulso	8
6.5.1. Impulso general	8
6.5.2. Impulso a escala.....	8
7 Parámetros de explosivos	8
7.1 Presión de detonación	8
7.2 Equivalencia en TNT.....	9
8 Balística	9
8.1 Velocidad de fragmentación	9
8.2 Estimación simple del alcance de fragmentos	10
9 Estimación simple para las distancias de seguridad del área de peligro	11
9.1 Ecuaciones básicas	11
9.2 Ecuaciones básicas (alternativas).....	11
9.3 Áreas verticales de peligro.....	12
9.4 Predicción simple del ruido	12
10 Efectos en las estructuras	12
10.1 Voladura (onda expansiva)	12
10.2 Fragmentación.....	14

10.3	Impacto en el terreno (Choque de tierra)	14
11	Efectos en las personas	15
11.1	Riesgo individual.....	15
11.2	Niveles de lesión primaria por voladura (onda expansiva).....	15
11.3	Niveles de lesión secundaria por voladura (onda expansiva)	16
12	Almacenamiento subterráneo.....	16
Anexo A (Normativas) Referencias		18
Anexo B (Informativas) Referencias		19
Registro de Modificaciones.....		20

Prólogo

Las existencias de municiones obsoletas, inestables y excedentes presentan un doble riesgo: por un lado, la proliferación ilegal y, por otro, las explosiones accidentales. Estos riesgos han provocado desestabilización y desastres humanitarios en todas las regiones del mundo.

Para una adecuada gestión de existencias es crucial proceder a la identificación de excedentes – es decir, la porción de armas y municiones que no constituye una necesidad operativa. Cuando no se identifican los excedentes, se considera que todo el contenido de la existencia conserva su valor operativo. A pesar de que ya no se utilizan, los excedentes de armas y municiones continúan llenando los almacenes y pueden, por lo tanto, presentar un serio riesgo para la protección y seguridad.

En muchos países, la gestión deficiente de existencias es más bien la regla que la excepción. En muchas instancias, no se presta la debida atención ni a las existencias con excedentes ni a la ausencia de una política adecuada para la gestión de existencias. Los gobiernos no están conscientes de los excedentes. Además, sus existencias nacionales representan un riesgo para la seguridad pública y el desvío desde los almacenes contribuye a incrementar el crimen y la violencia armada.

En el año 2011, las Naciones Unidas elaboró las Directrices Técnicas Internacionales sobre Municiones (IATG, por sus siglas en inglés) para garantizar que las Naciones Unidas en conjunto brinda en forma consistente asesoría de alta calidad y apoyo en la gestión de municiones. Estas directrices son utilizadas por numerosos actores, incluyendo organismos internacionales, entidades no gubernamentales y autoridades nacionales.

El programa SaferGuard de las Naciones Unidas se encarga de administrar las IATG, así como los demás temas sobre municiones convencionales.

Teniendo en cuenta la diversidad de capacidades de los Estados, las IATG contemplan tres niveles de exhaustividad en orden ascendente, referidos como «niveles del proceso de reducción de riesgos» (RRPL, por sus siglas en inglés). Estos niveles están indicados en cada IATG como NIVEL 1 (básico), NIVEL 2 (intermedio) o NIVEL 3 (avanzado).

El objetivo de las contrapartes ejecutoras debería ser mantener los procesos de gestión de existencias por lo menos en el nivel RRPL 1. En general, esto contribuirá a reducir el riesgo de manera significativa. Luego, se pueden incorporar mejoras permanente y gradualmente a la infraestructura y los procesos de gestión de existencias a medida que el personal mejore sus capacidades y se cuente con mayores recursos. Estas acciones serían equivalentes a los niveles RRPL 2 y RRPL 3.

Los RRPL se determinan calculando la puntuación ponderada de un cuestionario sobre una existencia de municiones específico. Se puede contar con una lista de control en: <https://www.un.org/disarmament/un-saferguard/risk-reduction-process-levels/>.

Las IATG son revisadas regularmente para reflejar las normas y prácticas que se vienen desarrollando sobre gestión de existencias de municiones, así como para incorporar los cambios resultantes de modificaciones en los reglamentos y requisitos internacionales. Las IATG también están disponibles en diversos idiomas.

Para consultar la última versión de cada directriz, junto con herramientas prácticas en apoyo a la implementación de las IATG, ingrese al siguiente enlace <https://www.un.org/disarmament/un-saferguard/>.

Introducción

El carácter de municiones y explosivos incluyendo el potencial que tienen de generar una reacción imprevista y violenta hacen necesario el desarrollar recomendaciones y lineamientos que permiten una gestión segura de existencias de municiones convencionales. Para tal fin, es necesario aplicar un enfoque basado en riesgos¹, que a su vez debe estar fundamentado en conceptos técnicos y científicos sólidos sobre explosivos.

Solo será posible tomar decisiones bien informadas sobre la gestión de riesgos si se tiene en cuenta la probabilidad de que ocurra un accidente con explosivos y sus consecuencias. Para esto es necesario conocer la gama de fórmulas científicamente aceptadas que pueden emplearse para respaldar la toma de decisiones y la gestión de riesgos durante la gestión de existencias de municiones convencionales.

Esta IATG presenta un compendio de las fórmulas científicas que se consideran útiles y/o esenciales para una gestión de existencias segura, efectiva y eficiente. La aplicación detallada de estas fórmulas está desarrollada en otros módulos específicos de las IATG o en el software de IATG complementario.

¹ IATG 02.10 *Introducción a los Principios y Procesos de la Gestión de Riesgos*, contiene información adicional sobre los enfoques basados en riesgos para la gestión de existencias de municiones convencionales.

Fórmulas para la gestión de municiones

1 Alcance

Esta IATG presenta un compendio de fórmulas válidas y científicamente comprobadas que pueden utilizarse para respaldar los procesos de toma de decisiones y gestión de riesgos que son fundamentales para la gestión segura y efectiva de existencias de municiones convencionales.² Las directrices sobre su uso adecuado están contenidas dentro de esta IATG, en el software de IATG suplementario o en otras IATG técnicas más específicas. En este módulo se presenta un resumen de las fórmulas para facilitar su referencia y uso posterior.

2 Referencias Normativas

Los siguientes documentos de referencia son indispensables para la aplicación de este documento. Para referencias con fecha únicamente se aplica la edición citada. Para referencias sin fecha se aplica la última edición del documento de referencia (incluida cualquier versión modificada).

El Anexo A contiene una lista de referencias normativas. Las referencias normativas son documentos importantes a los que se hace referencia en esta directriz y que forman parte de las disposiciones de esta directriz.

Asimismo, el Anexo B contiene una lista adicional de referencias informativas en forma de bibliografía, que incluye documentos adicionales con información útil complementaria sobre las fórmulas para la gestión de existencias de municiones convencionales.

3 Términos y Definiciones

Para efectos de la presente directriz, se emplearán los siguientes términos y definiciones, así como la lista más exhaustiva que figura en el documento IATG 01.40:2015[E] *Términos, definiciones y abreviaturas*.

El término «capacidad rompedora (*brisance*)» se refiere al *efecto o poder demolidor de un explosivo o una explosión*.

El término «peligro» se refiere a *una posible fuente de daño*.

El término «cantidad-distancia» se refiere a *la distancia segura designada entre un sitio de explosión potencial y un sitio expuesto*.

El término «riesgo» se refiere a *una combinación de la probabilidad de ocurrencia de un daño y la gravedad de ese daño*.

El término «gestión de riesgos» se refiere al *proceso completo de toma de decisiones basada en riesgos*.

En todos los módulos de las Directrices Técnicas Internacionales sobre Municiones, las palabras «deberá», «debería», «puede» (en el sentido de permiso) y «puede» (en el sentido de capacidad) se utilizan para expresar las disposiciones de conformidad con su uso en las normas ISO.

- a) **«deberá» indica un requisito:** se utiliza para indicar los requisitos que es preciso seguir rigurosamente para ajustarse al documento y de los cuales no se permite ninguna desviación.

² El uso detallado de las fórmulas está explicado en alguna otra IATG específica sobre el tema en las demás normas.

- b) **«debería» indica una recomendación:** se utiliza para indicar que, entre varias posibilidades, una es la que más se ajusta, sin mencionar ni excluir a otras; que es preferible llevar a cabo una acción determinada, pero no indispensable; o que (en su forma negativa «no debería») una posibilidad determinada o curso de acción está desaconsejado, pero no prohibido.
- c) **«puede» indica permiso:** se utiliza para indicar un curso de acción permitido dentro de los límites del documento.
- d) **«puede» indica posibilidad y capacidad:** se utiliza para expresar declaraciones de posibilidad y capacidad, ya sean materiales, físicas o casuales.

4 Antecedentes

Las municiones y los explosivos, por su propio carácter, representan un riesgo inherente durante el almacenamiento y, si no se gestionan correctamente, constituyen un riesgo latente para las comunidades locales circundantes. Con frecuencia, ocurren incidentes no deseados con explosivos en áreas de almacenamiento para municiones en algún lugar del mundo; sin embargo, se podría haber prevenido una parte importante del impacto negativo en las comunicaciones locales si se hubiera desarrollado e implementado sistemas de gestión de riesgos efectivos.

Por ello, el uso de conceptos técnicos y científicos sólidos y bien fundamentados sobre explosivos es fundamental para respaldar los procesos de gestión de riesgos que se requieren para lograr una gestión segura y eficiente de las existencias de municiones convencionales.

Esta IATG contiene fórmulas que debieran utilizarse para respaldar los procesos de gestión de riesgos como parte de la gestión de existencias de municiones convencionales, y presenta un resumen de cuándo podrían usarse. Para información más detallada sobre el uso de cada fórmula revisar la IATG específica sobre el tema.

5 Ley de escala de la raíz cúbica

Varios Estados aplican las reglas en función de los explosivos, la cantidad y la distancia entre el explosivo y las personas que estarían en riesgo. Estas reglas se conocen como criterios de Cantidad-Distancia (Q-D), y se basan en el enfoque derivado de la *Ley de Escala de Hopkinson y Cranz*^{3 4}, que adicionalmente es modificada por un rango de coeficientes. Esto constituye la base de una parte importante del trabajo sobre el cálculo de cantidad y distancias de separación.

NOTA 1. No siempre es posible proporcionar las distancias de separación que necesita Q-D, que representan el peor de los casos, y se puede emplear un sistema alternativo de análisis de riesgos que comprende una evaluación cuantitativa de riesgos (QRA, por sus siglas en inglés). (Para mayor información véase IATG 02.20 *Cantidad y distancias de separación*).

$(R_1/R_2) = (W_1/W_2)^{1/3}$ $R = Z \cdot W^{1/3}$	R = Distancia (m) Z = Constante de proporcionalidad (dependiente de una sobrepresión de voladura aceptable) W = Peso del explosivo (kg)
---	---

Tabla 1: Ley de escala de Hopkinson y Cranz

La Tabla 2 muestra ejemplos de la constante 'Z' que se utiliza para la seguridad del almacenamiento de explosivos⁵:

³ *Hopkinson B*, Actas de la Junta de Artillería del Reino Unido (UK Ordnance Board) 13565, 1915.

⁴ *Cranz C*, Lehrbuch der Ballistik, Springer-Verlag, Berlín, 1916.

⁵ Estas son las configuraciones de 'Z' por defecto en el Software de IATG, a pesar de que el programa permite al usuario ingresar valores alternativos de 'Z'.

Z	Objetivo	Observaciones
8.0	Se utiliza para predecir las distancias de separación entre los edificios procesamiento de municiones (APB, por sus siglas en inglés) dentro de una zona de almacenamiento de explosivos (ESA, por sus siglas en inglés).	<ul style="list-style-type: none"> Si R está por debajo de un determinado nivel, que difiere para cada función de 'Z', se aplicarán distancias de seguridad mínimas adicionales.
14.8	Se utiliza para predecir las distancias de separación entre un almacén de explosivos (ESH, por sus siglas en inglés) y una ruta de tránsito público con acceso para la población civil.	
22.2	Se utiliza para predecir las distancias de separación entre un almacén de explosivos (ESH) y una edificación habitada por población civil.	
44.4	Se utiliza para predecir las distancias de separación entre un almacén de explosivos (ESH) y un edificio vulnerable habitado por población civil (por ejemplo, una escuela).	

Cuadro 2: Ejemplos de la Constante 'Z'

Para mayores detalles sobre el uso práctico de esta fórmula véase IATG 02.20 *Cantidad y distancias de separación*.

6 Voladura (onda expansiva)

A continuación, se muestran los parámetros característicos de una voladura con una repentina discontinuidad de presión en el frente de choque:

- sobrepresión;
- presión dinámica;
- presión refleja;
- densidad;
- velocidad del frente de choque; y
- velocidad de partículas.

Estos parámetros pueden obtenerse empleando las ecuaciones de *Rankine-Hugoniot*.⁶

6.1 Rankine-Hugoniot (parámetros del frente de choque)⁷

6.1.1. Velocidad del frente de choque

$V_{sf} = c \cdot (1 + (6P_s/7P_0))^{1/2}$	V_{sf} = Velocidad del Frente de Choque (m/s) c = Velocidad del Sonido (m/s) P_s = Presión Lateral Máxima (kPa) P_0 = Presión Ambiental (kPa)
--	--

Tabla 3: Velocidad del frente de choque

⁶ Rankine W J H. The Dynamics of Explosion and its Use. Elsevier. Ámsterdam. 1979.,

⁷ Las ecuaciones de *Rankine-Hugoniot* solo pueden aplicarse cuando la condición de velocidad de partículas delante del frente de choque sea cero y que el aire se comporte como un gas ideal (con un ratio de calor específico de 1.4)

6.1.2. Velocidad de partículas

$V_p = (5P_s/7P_0) \cdot (c/(1 + (6 P_s \cdot 7P_0))^{1/2})$	V_p = Velocidad de Partículas (m/s) P_s = Presión Lateral Máxima (kPa) P_0 = Presión Ambiental (kPa) c = Velocidad del Sonido (m/s)
--	--

Cuadro 4: Velocidad de partículas

6.1.3. Densidad del aire detrás del frente de choque

$D_{sf} = (7 + (6 P_s/7P_0))/(7 + P_s/7P_0) \cdot D_{air}$	D_{sf} = Densidad del Aire Detrás del Frente de Choque (kg/m ³) P_s = Presión Lateral Máxima (kPa) P_0 = Presión Ambiental (kPa) D_{air} = Densidad del Aire
--	---

Cuadro 5: Densidad del aire detrás del frente de choque

6.1.4. Presión dinámica

La presión dinámica durante la carga de voladura de una estructura es una función de la presión en el tiempo, en contraposición a la carga de voladura cuasi-estática en un momento determinado de tiempo:

$P_d = 5P_s^2 + 2(P_s + 7P_0)$	P_d = Presión Dinámica Máxima (kPa) P_s = Presión Lateral Máxima (kPa) P_0 = Presión Ambiental (kPa)
--------------------------------	--

Cuadro 6: Presión dinámica

6.1.5. Presión refleja⁸

$P_r = 2P_s \cdot ((7P_0 + 4P_s)/(7P_0 + P_s))$	P_r = Presión Refleja Máxima (kPa) P_0 = Presión Ambiental (kPa) P_s = Presión Lateral Máxima (kPa)
---	---

Cuadro 7: Presión refleja

Para mayores detalles sobre el uso práctico de estas fórmulas véase IATG 02.20 *Cantidad y distancias de separación* o el concepto del Análisis de las Consecuencias de una Explosión en IATG 02.10 *Introducción a los procesos de gestión de riesgos* y el Software de IATG que acompaña.

6.2 Sobrepresión e impulso de voladura

Charles Kingery y *Gerald Bulmash* han desarrollado ecuaciones para calcular la sobrepresión de la voladura a distancia. Estas ecuaciones son ampliamente aceptadas como predicciones del sector para determinar las presiones y cargas de campo libre sobre las estructuras y constituyen la base del software que acompaña el Programa de Efectos de Armas Convencionales de los Estados Unidos (CONWEP, *por sus siglas en inglés*). Su informe⁹ contiene una recopilación de

⁸ Presión normalmente refleja.

⁹ Charles N Kingery y Gerald Bulmash. Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst (Parámetros de Explosión en el Aire obtenidos de Explosión Esférica al Aire Libre y Explosión Semiesférica en la Superficie de TNT), Informe Técnico de Estados Unidos ARBRL-TR-02555. Laboratorio de Investigación Balística, Aberdeen Proving Ground, Maryland, Estados Unidos. Abril 1984.

datos de pruebas con explosivos utilizando cargas explosivas con un peso que oscila desde menos de 1kg hasta más de 400,000kg. Los autores emplearon técnicas de adaptación de curvas para representar los datos con ecuaciones polinómicas de alto grado, las cuales están incluidas en el software que complementa las IATG para facilitar su aplicación.

Para mayor información las ecuaciones están resumidas en las Tablas 8 – 13, en donde se muestran funciones para representar los parámetros de voladura (onda expansiva) versus distancia en metros para una explosión esférica al aire libre y una explosión semiesférica en la superficie de 1 kg de TNT para determinar: 1) Presión del Incidente; 2) Impulso del Incidente; 3) Presión Refleja; y 4) Impulso Reflejo.

Los valores numéricos para las constantes ‘C’ y ‘K’ corresponden a los valores para una carga equivalente a 1kg de TNT. Para obtener predicciones de otros explosivos primero será necesario calcular la equivalencia en TNT (Punto 7.2).

$Y = C_0 + C_1U + C_2U^2 + C_3U^3 \dots\dots\dots C_nU^n$	Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) <i>(presión o impulso)</i> $C_{0,1,2 \text{ etc}} = \text{Constante}$ $U = K_0 + K_1T$ $K_{0,1 \text{ etc}} = \text{Constante}$ T = Logaritmo común de la distancia (m)
---	--

Cuadro 8: Fórmula general polinómica de Kingery y Bulmash

6.2.1. Presión del incidente

Estas ecuaciones tienen una distancia de aplicabilidad de 0.05 a 40m.

$U = -0.214362789151 + 1.35034249993T$ <p style="text-align: center;"><i>Después se sustituye U por</i></p> $Y = 2.611368669 - 1.69012801396U + 0.00804973591951U_2 + 0.336743114941U_3 - 0.00516226351334U_4 - 0.0809228619858U_5 - 0.00478507266747U_6 + 0.00793030472242U_7 + 0.0007684469735U_R$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logaritmo común de la distancia (m) Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) <i>(presión o impulso)</i>
--	--

Cuadro 9: Polinomio de Kingery y Bulmash para presión del incidente (Explosión esférica al aire libre)

$U = -0.214362789151 + 1.35034249993T$ <p style="text-align: center;"><i>Después se sustituye U por</i></p> $Y = 2.78076916577 - 1.6958988741U + 0.154159376846U_2 + 0.514060730593U_3 - 0.0988534365274U_4 - 0.293912623038U_5 - 0.0268112345019U_6 + 0.109097496421U_7 + 0.00162846756311U_R$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logaritmo común de la distancia (m) Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) <i>(presión o impulso)</i>
---	--

Tabla 9A: Polinomio de Kingery y Bulmash para presión del incidente (Explosión semiesférica en la superficie)

6.2.2. Impulso del incidente

La ecuación de la Tabla 10 solo aplica únicamente para la distancia de campo cercano de 000531 m, es decir, inmediatamente al lado de la carga explosiva.

$U = 2.34723921354 + 3.24299066475T$ <p><i>Después se sustituye U por</i></p> $Y = 2.38830516757 - 0.443749377691U + 0.168825414684U_2 + 0.0348138030308U_3 - 0.010435192824U_4$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logaritmo común de la distancia (m) Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) <i>(presión o impulso)</i>
--	--

Cuadro 10: Polinomio de Kingery y Bulmash para impulso del incidente (campo muy cercano) (Explosión esférica al aire libre)

La ecuación de la Tabla 10A solo aplica para distancias a escala entre 0.0674 y 0.955.

$U = 2.06761908721 + 3.0760329666T$ <p><i>Después se sustituye U por</i></p> $Y = 2.52455620925 - 0.502992763686U + 0.171335645235U_2 + 0.0450176963051U_3 - 0.0118964626402U_4$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logaritmo común de la distancia (m) Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) <i>(presión o impulso)</i>
--	--

Tabla 10A: Polinomio de Kingery y Bulmash para impulso del incidente (campo muy cercano) (Explosión semiesférica en la superficie)

Las ecuaciones de la Tabla 11 son aplicables para las distancias de la voladura más alejada de la carga explosiva (a una distancia a escala de 0.955 a 40).

$U = -1.75305660315 + 0.30629231803T$ <p><i>Después se sustituye U por</i></p> $Y = 1.55197227115 - 0.40463292088U - 0.0142721946082U_2 + 0.00912366316617U_3 - 0.0006750681404U_4 - 0.0080086371901U_5 - 0.00314819515931U_6 + 0.00152044783382U_7$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logaritmo común de la distancia (m) Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) <i>(presión o impulso)</i>
--	--

Tabla 11: Polinomio de Kingery y Bulmash para impulso del incidente (Explosión esférica al aire libre)

$U = -1.94708846747 + 2.40697745406T$ <p><i>Después se sustituye U por</i></p> $Y = 1.67281645863 - 0.384519026965U - 0.0260816706301U_2 + 0.00595798753822U_3 - 0.014544526107U_4 - 0.00663289334734U_5 - 0.00284189327204U_6 + 0.0013644816277U_7$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logaritmo común de la distancia (m) Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) <i>(presión o impulso)</i>
--	--

Tabla 11A: Polinomio de Kingery y Bulmash para impulso del incidente (Explosión semiesférica en la superficie)

6.2.3. Presión refleja

Esta ecuación tiene una distancia de aplicabilidad de 0.05 a 40m.

$U = -0.214362789151 + 1.35034249993T$ <p><i>Después se sustituye U por</i></p> $Y = 3.22958031387 - 2.21400538997U + 0.035119031446U_2 + 0.657599992109U_3 + 0.0141818951887U_4 - 0.243076636231U_5 - 0.0158699803158U_6 + 0.0492741184234U_7 + 0.00227639644004U_8 - 0.00397126276058U_9$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logaritmo común de la distancia (m) Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) <i>(presión o impulso)</i>
---	--

Tabla 12: Polinomio de Kingery y Bulmash para presión refleja (Explosión esférica al aire libre)

<p>U = -0.240657322658 + 1.36637719229T <i>Después se sustituye U por</i> Y = 3.40283217581 - 2.21030870597U + 0.218536586295U₂ + 0.895319589372U₃ + 0.24989009775U₄ - 0.569249436807U₅ - 0.11791682383U₆ + 0.224131161411U₇ + 0.0245620259375U₈ - 0.455116002694U₉</p>	<p>U = K₀ + K₁T T = Logaritmo común de la distancia (m) Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) (presión o impulso)</p>
---	---

Tabla 12A: Polinomio de Kingery y Bulmash para presión refleja (Explosión semiesférica en la superficie)

6.2.4. Impulso reflejo

Estas ecuaciones tienen una distancia de aplicabilidad de 0.05 a 40m.

<p>U = 0.204004553231 + 1.37882996018T <i>Después se sustituye U por</i> Y = 2.55875660396 - 0.903118886091U + 0.101771877942U₂ - 0.0242139751146U₃</p>	<p>U = K₀ + K₁T T = Logaritmo común de la distancia (m) Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) (presión o impulso)</p>
---	---

Tabla 13: Polinomio de Kingery y Bulmash para impulso reflejo (Explosión esférica al aire libre)

<p>U = -0.246208804814 + 1.33422049854T <i>Después se sustituye U por</i> Y = 2.70588058103 - 0.949516092853U + 0.112136118689U₂ - 0.0250659183287U₃</p>	<p>U = K₀ + K₁T T = Logaritmo común de la distancia (m) Y = Logaritmo común del parámetro de la voladura (onda expansiva) (métrico) (presión o impulso)</p>
--	---

Tabla 13A: Polinomio de Kingery y Bulmash para impulso reflejo (Explosión semiesférica en la superficie)

Para mayores detalles sobre el uso práctico de estas fórmulas véase el concepto del Análisis de Consecuencias de una Explosión en IATG 02.10 *Introducción a los procesos de gestión de riesgos* y el Software que acompaña las IATG.

6.3 Ley de escala

En el caso de las voladuras de explosiones producidas en altitud, donde las condiciones ambientales pueden ser muy diferentes a las condiciones ambientales al nivel del mar, la ley de escala más utilizada es la de Sachs.¹⁰ La aplicación de la ley de escala de Sachs lleva a la formulación de factores de escala de altitud.

<p><i>Distancia a escala en altitud 'z'</i> S_{dz} = (P₀/P_z)^{1/3}</p> <p><i>Presión a escala en altitud 'z'</i> S_{pz} = (P_z/P₀)</p> <p><i>Impulso a escala en altitud 'z'</i> S_{iz} = (P_z/P₀)^{2/3} · (T₀/T_z)^{1/2}</p> <p><i>Impulso a escala en altitud 'z'</i> S_t = (P₀/P_z)^{1/3} · (T₀/T_z)^{1/2}</p>	<p>S_{dz} = Distancia a escala en altitud 'z' (m) P₀ = Presión ambiental (kPa) (101.33kPa) P_z = Presión en altitud 'z' (kPa) S_{pz} = Presión a escala en altitud 'z' (kPa) S_{iz} = Impulso a escala en altitud 'z' (kg.m/s) T₀ = Temperatura ambiente (K) (288.16°K) T_z = Temperatura en altitud 'z' (K) S_t = Tiempos a escala en altitud 'z' (s)</p>
--	--

¹⁰ Sachs R G. The dependence of Blast on Ambient Pressure and Temperature. (La Dependencia de la Explosión en Presión y Temperatura Ambiente), Informe Técnico 466. Laboratorio de Investigación Balística, Aberdeen Proving Ground, Maryland, Estados Unidos. Mayo 1944.

Tabla 14: Factores de escala de Sachs

6.4 Coeficiente de reflexión

El *Coeficiente de reflexión* se utiliza durante el análisis de las consecuencias de una explosión (ECA) para comparar la Presión refleja máxima con la Presión lateral máxima:

$C_r = P_r / P_s$	C_r = Coeficiente de reflexión P_r = Presión Refleja Máxima (kPa) P_s = Presión Lateral Máxima (kPa)
-------------------	--

Tabla 15: Coeficiente de reflexión

6.5 Impulso

6.5.1. Impulso general

El parámetro decisivo para los daños causados por la voladura (onda expansiva) es el impulso de sobrepresión positiva. Debe determinarse mediante la integración de la fase de sobrepresión positiva (es decir, definida por el área total por debajo de la curva presión-tiempo).

$I_s = \int P_s \cdot t \cdot dt$	I_s = Impulso lateral (kg.m/s) P_s = Presión Lateral Máxima (kPa) t = Tiempo (s)
-----------------------------------	--

Tabla 16: Impulso General

6.5.2. Impulso a escala

El impulso a escala se utiliza a menudo para predecir los efectos de la voladura (onda expansiva) en seres humanos:

$I_{si} = I_s / P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}$	I_{si} = Impulso a escala (kg.m/s) I_s = Impulso lateral (kg.m/s) P_0 = Presión Ambiental (kPa) M = Masa de la persona (kg)
--	--

Tabla 17: Impulso a escala en las personas

7 Parámetros de explosivos

7.1 Presión de detonación

La *Presión de detonación* de un explosivo proporciona un indicador de su capacidad para detonar y determina si es un explosivo de alta o baja potencia explosiva. Ver cálculo en la Tabla 18:

$P_{det} = 2.5 \cdot V_d \cdot (D/0.0000001)$	P_{det} = Presión de detonación (GPa) V_d = Velocidad de detonación de explosivo (m/s) D = Densidad (g/cm ³)
---	--

Tabla 18: Presión de detonación

7.2 Equivalencia en TNT

La mayoría de las ecuaciones de voladura (onda expansiva) e impulso predicen valores para TNT y; por lo tanto, se recomienda convertir la masa del explosivo en una masa de carga equivalente en TNT.

$M_{TNTe} = (E_{exp}^d / E_{TNT}^d) \cdot M_{exp}$	M_{TNTe} = Masa equivalente de TNT (kg) E_{exp}^d = Energía específica de detonación del explosivo (J/kg) E_{TNT}^d = Energía específica de detonación de TNT (J/kg) M_{exp} = Masa del explosivo (kg)
--	---

Tabla 19: Equivalencia en TNT

La Tabla 20 contiene factores de equivalencia en TNT previamente calculados para un conjunto de explosivos de alta potencia. Estos son bastante exactos para fines de diseño.

Explosivo	Masa Equivalente de TNT		Rango de presión (MPa)
	Presión máxima	Impulso	
Amatol	0.99	0.98	
Composición B	1.11	0.98	0.035 - 0.350
Composición C3	1.08	1.01	0.035 - 0.350
Composición C4	1.37	1.19	0.070 - 0.700
HMX	1.02	1.03	Calcular
Octol 75/25	1.06	1.06	Calcular
PETN	1.27	1.11	0.035 - 0.700
RDX	1.14	1.09	Calcular
RDX / TNT 60/40 (Ciclotol)	1.14	1.09	0.035 - 0.350
Tetrilo	1.07	1.05	0.021 - 0.140
TNT	1.00	1.00	Estándar
Tritonal	1.07	0.96	0.035 - 0.700

Tabla 20: Equivalencia en TNT

8 Balística

8.1 Velocidad de fragmentación

Las *Ecuaciones de Gurney*¹¹ son un conjunto de fórmulas utilizadas en la ingeniería de explosivos para predecir cuán rápido un explosivo acelerará una capa circundante de metal u otro material cuando el explosivo detona. Esto determina la rapidez con la que se liberan los fragmentos al detonar un elemento de munición. Esta velocidad inicial de los fragmentos se puede utilizar con otras ecuaciones balísticas para predecir las áreas de peligro o el grado de penetración de los fragmentos.

¹¹ Gurney, R. W. The Initial Velocities of Fragments from Bombs, Shells, and Grenades, BRL-405. Ballistic Research Laboratory, Aberdeen, Maryland. Estados Unidos. 1943.

<p><i>Ecuación de carga explosiva cilíndrica</i>¹² $(V/\sqrt{2E}) = ((M/C_{exp}) + 1/2)^{-1/2}$</p> <p><i>Ecuación de carga explosiva esférica</i>¹³ $(V/\sqrt{2E}) = ((M/C_{exp}) + 3/5)^{-1/2}$</p>	<p>V = Velocidad inicial del fragmento (m/s) $\sqrt{2E}$ = Constante de Gurney para un explosivo dado (m/s) M = Masa del fragmento (kg)¹⁴ C_{exp} = Masa de carga explosiva (kg)</p>
---	---

Tabla 21: Ecuaciones de Gurney¹⁵

La Constante de Gurney $\sqrt{2E}$ suele estar muy cerca de 1/3 de la Velocidad de Detonación del explosivo. La Tabla 22 contiene las Constantes de Gurney para una serie de explosivos de alta potencia:¹⁶

Explosivo ¹⁷	Densidad (kg/m ³)	Velocidad de Detonación ¹⁸ (m/s)	Constante de Gurney $\sqrt{2E}$ (m/s)
Composición B	1.61	7,620	2,774
Composición C4	1.71	8,200	2,530
HMX	1.91	9,100	2,972
Octol 75/25	1.81	8.640	2,896
PETN	1.78	8,260	2,926
RDX	1.81	8,700	2,926
RDX / TNT 60/40 (Ciclotol)	1.68	7,800	2,402
Tetrilo	1.71	7,570	2,499
TNT	1.61	6,900	2,438
Tritonal	1.70	5,480	2,316

Tabla 22: Constantes de Gurney

8.2 Estimación simple del alcance de fragmentos¹⁹

La Tabla 23 muestra una ecuación simple para predecir el alcance de un fragmento, pero debe usarse con mucha precaución porque no refleja ninguna de las características de la munición ni tiene en cuenta la resistencia.

$R = (V_0^2/g) \cdot \text{Sin } 2\theta$	<p>R = Distancia (m) V₀ = Velocidad inicial del fragmento (m/s) g = Gravedad (m/s²) θ = Ángulo de lanzamiento (Radianes)</p>
---	---

¹² Aproximación de primer orden para la mayoría de los proyectiles de artillería de altos explosivos, proyectiles de mortero y ojivas de misiles.

¹³ Uso para granadas militares y algunas bombas de racimo.

¹⁴ En el caso de un proyectil de artillería, este suele ser la base de cálculo de la masa a partir de la masa total del cuerpo.

¹⁵ Existen otras ecuaciones de Gurney para configuración entre capas simétricas, asimétricas, de cara abierta, y apisonadas ilimitadamente. Dichas ecuaciones están fuera del alcance de estas IATG y; por lo tanto, no se han incluido.

¹⁶ Las densidades y velocidades de detonación son aproximadas ya que las mezclas explosivas varían.

¹⁷ Se puede encontrar información de una amplia gama de explosivos en la Aplicación "eXdata".

¹⁸ La velocidad de detonación variará en función de la metodología utilizada para medirla. Esta columna incluye ejemplos.

¹⁹ Véase Nota Técnica sobre Acción contra Minas Antipersonal (TNMA, por sus siglas inglés) 10.20/01 *Evaluación de Zonas con Riesgos de Explosión* (Versión 2.0). Ginebra. GICHD. Para mayores detalles sobre su uso en este documento.

Tabla 23: Predicción simple de alcance

Las predicciones más precisas usan una serie de ecuaciones balísticas²⁰ complejas debido al gran número de variables implicadas.²¹ Por lo tanto, los análisis de alcance más detallados sólo deben ser utilizados por personal capacitado, por ello, no se desarrollan en esta IATG.

9 Estimación simple para las distancias de seguridad del área de peligro²²

9.1 Ecuaciones básicas

Las siguientes distancias de seguridad simples pueden utilizarse para calcular las zonas de peligro del área de destrucción cuando se planifica una destrucción de munición por detonación abierta. Pueden utilizarse para realizar una 'planificación rápida' del área de alcance de la demolición cuando esta tenga zonas de peligro determinadas. Si se utiliza en áreas de alcance de la demolición que no tiene zonas de peligro formalmente determinadas, el usuario debe tomar en cuenta que la distancia resultante de estas ecuaciones es la distancia más allá de la cual se espera que vuele como mucho un fragmento. Estas ecuaciones NO son totalmente confiables.

<p><i>Para municiones de fragmentación cuando el acceso del público al área de alcance de la demolición está permitido.</i></p> <p style="text-align: center;">$D = 634(AUW)^{1/6}$</p> <p><i>Para municiones de fragmentación cuando el acceso del público al área de alcance de la demolición es denegado.</i></p> <p style="text-align: center;">$D = 444(AUW)^{1/6}$</p> <p><i>Únicamente para explosivos expuestos al descubierto</i></p> <p style="text-align: center;">$D = 130(AUW)^{1/3}$</p>	<p>D = Distancia (m) AUW = Peso total de municiones o de explosivos al descubierto (kg)</p>
--	---

Tabla 24: Distancias de seguridad del área de peligro

9.2 Ecuaciones básicas (alternativas)

En marzo de 1997, la Organización Australiana de Ciencia y Tecnología para la Defensa (DSTO, por sus siglas en inglés) realizó una investigación sobre la demolición de varios elementos de municiones y explosivos. La investigación concluyó que las zonas con riesgo de explosión por fragmentación para demoliciones de múltiples elementos se pueden reducir a la zona de municiones de un solo elemento con una mayor Cantidad Neta de Explosivos en la demolición prevista. Los resultados de la ecuación de la Tabla 25 se comparan favorablemente con los de la ecuación usada cuando no se permite el acceso del público de la Tabla 24:

- a) el artefacto está dispuesto en una matriz lineal y NO en una pila;
- b) el artefacto se detona simultáneamente; y
- c) los elementos son MÁS GRANDES que la separación de un diámetro de carga.

²⁰ Resistencia al Flujo del Aire, Desaceleración de Fragmentos, Fragmentación de Mott, etc.

²¹ Por ejemplo: 1) tamaño del fragmento; 2) forma del fragmento; 3) densidad del material; 4) velocidad inicial; 5) coeficiente de resistencia; 6) efectos de la gravedad; 7) estabilidad de vuelo en balística; 8) composición del objetivo, etc.

²² Estas ecuaciones se basan en el trabajo realizado por el Sr. Pilgrim, AWE Foulness, Reino Unido. QInetiQ utiliza derivados de estas ecuaciones en sus ensayos. Esta información ha sido obtenida de un documento sobre zonas de peligro de Safety Services Organisation/UK MOD KGH de fecha 31 de julio de 1990.

$D = 370(AUW)^{1/5}$	D = Distancia (m) AUW = Peso total de municiones o de explosivos al descubierto (kg)
----------------------	---

Tabla 25: Distancias de seguridad del área de peligro (alternativas)

9.3 Áreas verticales de peligro

Las ecuaciones que se utilicen para calcular las áreas verticales de peligro necesarias para advertir al tránsito aéreo de las demoliciones que se realizan en tierra son ligeramente diferentes de las resultantes de los Puntos 9.1 y 9.2, ya que no es necesario tener en cuenta ninguna parábola balística.

<i>Únicamente para municiones de un solo elemento</i> $D = 314(AUW)^{1/3}$	D = Distancia (m) AUW = Peso total de municiones o de explosivos al descubierto (kg)
<i>Para municiones de fragmentación de múltiples elementos.</i> $D = 470(AUW)^{1/5}$	

Tabla 26: Áreas verticales de peligro

9.4 Predicción simple del ruido

La siguiente ecuación²³ puede usarse para predecir la distancia a la cual puede esperarse que se alcancen los 140dB²⁴ de sonido:

$D = 215 (M_{exp})^{1/3}$	D = Distancia (m) M_{exp} = Masa del explosivo (kg)
---------------------------	--

Tabla 27: Predicción simple del ruido

10 Efectos en las estructuras

Predecir los efectos que las armas tienen en las estructuras es una tarea compleja debido al gran número de variables involucradas²⁵ y al impacto que estas variables tienen en la forma cómo responden estas estructuras ante la masa de carga en una voladura.

10.1 Voladura (onda expansiva)

Es posible obtener cálculos aproximados de los daños estructurales causados por una voladura (onda expansiva) a partir de modelos empíricamente derivados en base a un análisis de accidentes, pruebas y datos de daños de guerra. Este análisis correlaciona el daño estructural con la distancia de la explosión y la masa de carga involucrada.

Existen datos más completos para las estructuras de ladrillo gracias a los estudios realizados en la Segunda Guerra Mundial. Se han desarrollado categorías de daños inducidos por explosión en

²³ Fuente: QinetiQ Shoeburyness, Reino Unido. 1999.

²⁴ El nivel máximo de ruido admisible por la UE para un único evento.

²⁵ Por ejemplo: 1) tipo de estructura; 2) resistencia, elasticidad y ductilidad del material de la estructura; 3) respuesta estructural a la carga de voladura; 4) efectos de la carga de difracción; 5) efectos de la carga de arrastre; 6) orientación de la construcción a la carga de voladura; 7) topografía local, etc.

viviendas construidas con ladrillos²⁶ que pueden utilizarse en el análisis de las consecuencias de una explosión para ilustrar la gravedad potencial de los efectos de una explosión no deseada:

Categoría	Definición	Observaciones
A	Casas totalmente demolidas.	▪
B	Casas tan seriamente dañadas que no pueden repararse y deben ser demolidas.	▪ 50% a 75% de la mampostería exterior destruida. ▪ Las paredes restantes tienen grietas que no se pueden reparar.
C _B	Casas consideradas inhabitables pero que pueden repararse con mucho trabajo.	▪ Colapso parcial o total de la estructura del techo. ▪ Demolición parcial de las paredes hasta un 25% de su totalidad. ▪ Daños graves en los tabiques de carga que requieren demolición y reemplazo.
C _A	Casas consideradas inhabitables pero que pueden repararse razonablemente rápido.	▪ Apenas daños menores en las estructuras. ▪ Tabiques y ensamblajes arrancados de los empalmes.
D	Casas que requieren reparaciones para solucionar serios inconvenientes pero que siguen siendo habitables.	▪ Daños en techos y azulejos. ▪ Efectos menores de fragmentación en muros y cristales.

Tabla 28: Categorías de daños en viviendas construidas con ladrillos

El análisis de los datos utilizados para elaborar la Tabla 28 permitió desarrollar una fórmula empíricamente derivada para calcular el rango de daños.

$R_x = (K_x \cdot M_{exp}^{1/3}) / (1 + (3175/M_{exp})^2)^{1/6}$	R_x = Distancia del nivel de daños 'x' (m) K_x = Constante del nivel de daños 'x' (Véase Tabla 29) M_{exp} = Masa del explosivo (kg)
--	--

Tabla 29: Estimación de rango de daños a edificaciones

Los valores para K_x fueron inicialmente derivados por *Jarrett* y posteriormente revisados por *Gilbert, Lees y Scilly*.²⁷ Los valores revisados toman en cuenta el factor del casquillo de la munición, la cual es el grado de energía impartida a los fragmentos primarios del casquillo, reduciendo así la energía de la voladura (onda expansiva) disponible.

K_x para Categoría de daño	Jarrett	Gilbert, Lees y Scilly
A	3.8	4.8
B	5.6	7.1
C _B	9.6	12.4
C _A	28.0	21.3
D	56.0	42.6

Tabla 30: Factores 'K' para Tabla 29

²⁶ De: 1) *Scilly N F y High W G*. The blast effect of explosions. 1986; y 2) *Jarrett D E*. Derivation of the British Explosives Safety Distances (*Derivación de las Distancias de Seguridad de Explosivos Británicas*). Anales de la Academia de Ciencias de Nueva York, 152, Artículo 1.

²⁷ *Gilbert S M, Lees F P y Scilly N F*. A Model Hazard Assessment of the Explosion of an Explosives Vehicle in a Built-Up Area. (*Un Modelo de Evaluación de Riesgos de la Explosión de un Vehículo con Explosivos en un Área de Construcción*) Actas del 26th Seminario de la Junta de Seguridad de Explosivos del Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Miami. Estados Unidos. 1994.

10.2 Fragmentación

El grado en que los fragmentos penetrarán en las estructuras al momento del impacto depende de una serie de variables,²⁸ por lo que existen expresiones muy complejas para cada caso posible. Estas expresiones se derivan empíricamente para materiales de construcción específicos y combinaciones de fragmentos. Por lo tanto, no es posible predecir fácilmente los daños estructurales causados por fragmentos en caso de una explosión hipotética salvo que se tenga acceso a una amplia variedad de datos. Estos datos suelen estar en poder de los militares y; por lo tanto, son clasificados.

El ejemplo que se presenta en la Tabla 31 representa la profundidad de penetración de fragmentos cilíndricos de cabeza plana que impactan en el concreto. Se puede utilizar en un ECA como ejemplo de los daños que podría esperarse se causen a estructuras de construcciones modernas.

$x = (2.74 \cdot 10^{-5} \left(\left(\frac{D \cdot d^{1/5}}{s} \right) \cdot V^{1.8} \cdot 4d^2 \right)^{1/2}$ <p style="text-align: center;"><i>Para $x/d < 2$</i></p> $x = 2.74 \cdot 10^{-5} \left(\left(\frac{D \cdot d^{1/5}}{s} \right) \cdot V^{1.8} \cdot d + d \right)$ <p style="text-align: center;"><i>Para $x/d > 2$</i></p>	<p>x = Profundidad de penetración del fragmento (m) d = Diámetro del fragmento (m) D = Densidad del fragmento (kg/m³) s = Esfuerzo de compresión del concreto (Pa) V = Velocidad del fragmento (m/s)</p>
---	---

Tabla 31: Penetración en Estructuras (Concreto versus Fragmentos Cilíndricos de Cabeza Plana)

10.3 Impacto en el terreno (Choque de tierra)

El choque de tierra) puede entenderse como una onda de vibración que viaja a través de la tierra. La onda adopta la forma de una senoide y por lo tanto la amplitud es un parámetro característico.

$A = x \cdot \left(\frac{K/M_{exp}^{1/2}}{D} \right)$	<p>A = Amplitud (m) x = Constante M_{exp} = Masa del explosivo (kg) K = Constante²⁹ D = Distancia (m)</p>
--	--

Tabla 32: Estimación de Impacto en el Terreno (Choque de tierra)³⁰

Es poco probable que los edificios de construcción sólida resulten dañados por amplitudes inferiores a 2×10^{-4} m, mientras que las de construcciones de otros materiales menor robustos deberían permanecer intactas si la amplitud se mantiene en 8×10^{-5} m.

Se ha desarrollado un índice de daños³¹ que relaciona la masa de explosivos y el tipo de suelo:

$\phi = M_{exp}/R^{3/2}$	<p>ϕ = Índice de Daños M_{exp} = Masa de los explosivos (kg) R = Distancia (m)</p>
--------------------------	--

Tabla 33: Índice de Daños

²⁸ Por ejemplo: 1) resistencia, ductilidad y elasticidad del material de construcción; 2) velocidad del fragmento; 3) forma del fragmento al momento del impacto; 3) masa del fragmento; 4) resistencia, ductilidad y elasticidad del material del fragmento, etc.

²⁹ El valor de K es inversamente proporcional a la dureza del suelo.

³⁰ Se pueden encontrar ejemplos de x y K en Baker W E et al, Explosion Hazards and Evaluation (*Riesgos de Explosión y Evaluación*). Elsevier. Amsterdam. 1983.

³¹ *Langefors U y Kihlstrom B. The Modern technique of Rock Blasting (La Técnica Moderna de Voladura de Roca)*. Tercera Edición. AWE/GERBERS. Suecia. 1978.

Para estructuras construidas sobre roca blanda, se puede esperar que ocurran daños graves por agrietamiento en valores ϕ de 1.0 kg.m^{3/2}, mientras que para estructuras construidas sobre roca más dura se puede esperar que el grado de daño sea de un valor ϕ más bajo de 0.25 kg.m^{3/2}.

11 Efectos en las personas

Las personas pueden sufrir uno de tres tipos de lesiones debido a una voladura (onda expansiva): 1) primaria; 2) secundaria; y 3) terciaria.

- a) Las lesiones primarias por explosión son causadas por acción directa por la onda expansiva de la voladura en el cuerpo. Las lesiones más comunes son la ruptura de tímpano y la hemorragia pulmonar;
- b) Las lesiones secundarias son causadas como consecuencia directa de daños a edificios y estructuras. Estas lesiones incluyen el traumatismo contundente, cortes, la asfixia y el aplastamiento;
- c) Las lesiones terciarias son causadas por los movimientos corporales inducidos por la voladura. Estas lesiones incluyen desplazamiento interno de órganos del cuerpo o lesiones causadas por impacto cuando el cuerpo es arrojado contra superficies duras.

11.1 Riesgo individual

El riesgo se define como la «probabilidad x las consecuencias» y, cuando se mide de manera cuantitativa, se puede emplear para respaldar las evaluaciones cuantitativas de riesgos (QRA) en donde el Riesgo de Mortalidad Individual (IR, por sus siglas en inglés) como resultado de una explosión no deseada es comparado con un «riesgo tolerable» contemplado en otras actividades o procesos industriales. Por lo tanto, el IR Anual puede calcularse de la siguiente manera:

$IR = P_e \times P_{fle} \times E_p$	P_e = Eventos por año P_{fle} = Probabilidad de muerte ³² E_p = Probabilidad de exposición al peligro
--------------------------------------	--

Tabla 34: Riesgo de Mortalidad Individual Anual (IR)

11.2 Niveles de lesión primaria por voladura (onda expansiva)

Los niveles deben calcularse a partir de:

- a) Uso de *Kingary* para calcular la sobrepresión de la voladura a una distancia apropiada; y
- b) Comparación entre los niveles de sobrepresión de la voladura y los umbrales de lesiones derivados de las curvas de *Bowen*³³, (34,5kPa para aparición de daños auditivos, 207kPa para daños pulmonares y 690kPa para muerte).

Una metodología alternativa sería utilizar el Modelo de Voladura en el Exterior ESTC³⁴, que se basa en una revisión de la literatura disponible sobre los efectos primarios y terciarios de una voladura.³⁵

³² Para una persona que está constantemente expuesta.

³³ *Bowen*. Estimate of Mans Tolerance to the Direct Effects of Air Blast (*Cálculo de Tolerancia del Hombre a los Efectos Directos de una Voladura (Onda expansiva)*). Octubre 1968.

³⁴ Comisión de Almacenamiento y Transporte de Explosivos de Reino Unido.

³⁵ Véase Capítulo 3 *UK Health and Safety Executive*, (*Agencia Ejecutiva para la Salud y Seguridad de Reino Unido*) Selection and Use of Explosion Effects and Consequence Models for Explosives (*Selección y Uso de Modelos de Efectos y Consecuencias de las Explosiones*). HSE. Reino Unido. 2000.

$P_{\text{fatality}} = (e^{(-5.785 \cdot (R / M^{1/3}) + 19.047)})/100$	P_{fatality} = Probabilidad de Muerte e = Exponencial R = Distancia (m) $M^{1/3}$ = Raíz Cúbica de la Masa del Explosivo (kg)
---	---

Tabla 35: Modelo de Voladura en el Exterior ESTC

El Modelo ESTC es válido únicamente dentro de los límites de la distancia a escala 'S' ($S = R/M^{1/3}$) en donde $2.5 \text{ m.kg}^{1/3} < S < 5.3 \text{ m.kg}^{1/3}$. Para un valor $S > 5.3 \text{ m.kg}^{1/3}$ la probabilidad de muerte es cero mientras que para un valor $S < 2.5 \text{ m.kg}^{1/3}$, se espera que la tasa de muertos sea 100%.

11.3 Niveles de lesión secundaria por voladura (onda expansiva)

Gilbert, Lees y Scilly han desarrollado valores de probabilidad para los ocupantes de un edificio que sufran lesiones letales, graves o leves. Estos valores se muestran en la Tabla 36.³⁶

Categoría de Daño	Definición de Daño	Probabilidad (Muerte)	Probabilidad (Muerte o Lesión Grave)	Probabilidad (Muerte, Lesión Grave o Lesión Leve)
		P(K)	P (K + I)	P (K + SI + LI)
A _a	Casas totalmente demolidas.	0.96	1.0	1.0
A _b	Casas demolidas casi por completo.	0.57	0.66	0.82
A	Casas demolidas.	0.62	0.71	0.84
B	Casas tan seriamente dañadas que no pueden repararse y deben ser demolidas.	0.096	0.15	0.38
C _b	Casas consideradas inhabitables pero que pueden repararse con mucho trabajo.	0.009	0.043	0.13
C _a	Casas consideradas inhabitables pero que pueden repararse razonablemente rápido.	0	0.002	0.006
D	Casas que requieren reparaciones para solucionar serios inconvenientes pero que siguen siendo habitables.	0	0	0

Tabla 36: Valores de probabilidad para lesiones secundarias por voladura (onda expansiva)

12 Almacenamiento subterráneo

El Anexo M de la IATG 02.20 *Cantidad y distancias de separación* contiene fórmulas que deben aplicarse para estimar o calcular las distancias entre cantidades y la distancia de separación para el almacenamiento subterráneo. En esta sección se repiten las fórmulas con el fin de tener un registro completo de todas las fórmulas de las IATG.

$IBD = 77 \times H_b \times LD^{1/3}$	En donde: H_b = Diámetro hidráulico de la boca del túnel $LD^{1/3}$ = Densidad de carga (kg/m ³)
---------------------------------------	--

³⁶ Estos valores equivalen a los niveles de daños que se muestran en la Tabla 29, agregándose el valor A_a para demolición completa y el valor A_b para demolición casi completa.

$H_D = 4A/C$	En donde: A = Área Transversal de la entrada del túnel (m ²) C = Circunferencia de la entrada del túnel (m)
$LD^{1/3} = \frac{NEQ}{(V_{Ch} + V_{Tunnel})}$	V _{Ch} = Volumen de la cámara (m ³) V _{Tunnel} = Volumen del túnel (m ³)

Tabla 37: Distancia a edificio deshabitado (IBD, por sus siglas en inglés) (Voladura desde la entrada del túnel) ^{37 38}

$D = 27.4 \times H_D \times LD^{1/3}$	Igual que más arriba
---------------------------------------	----------------------

Tabla 38: Distancia a edificio de procesamiento (PBD, por sus siglas en inglés) (Voladura desde la entrada del túnel)

³⁷ La distancia en dirección no-axial se puede reducir utilizando un factor de multiplicación (MF), el cual se derivará de la fórmula $MF = 1 / (1 + (\theta/56)^2)^{0.76}$, en donde θ es el ángulo desde la línea central del túnel en grados.

³⁸ Esta es una simple aproximación. Para una metodología más precisa revisar AASPT-1, Capítulo 3, Punto 3.3.4.1 (b) y (c).

Anexo A

(Normativas)

Referencias

Los siguientes documentos normativos contienen disposiciones normativas que también deberían consultarse para tener mayor información referencial sobre el contenido de estas IATG. Para referencias con fecha, no se aplican modificaciones posteriores o revisiones de ninguna de estas publicaciones. Sin embargo, se recomienda que las partes de los acuerdos utilizados para elaborar esta sección de las IATG investiguen sobre la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de los documentos normativos que se enumeran más adelante. Para referencias sin fecha, se emplea la última edición del documento normativo en cuestión. Los miembros de la ISO conservan registros de las normas ISO o EN vigentes:

- a) IATG 01.40:2015[E] *Términos, glosario y definiciones*. UNODA. 2015

Se debe utilizar la última versión/edición de estas referencias. La Oficina para Asuntos de Desarme de las Naciones Unidas (UN ODA) conserva copias de todas las referencias³⁹ utilizadas en esta directriz. La UN ODA mantiene un registro de la última versión/edición de las Directrices Técnicas Internacionales sobre Municiones y se puede revisar en la página web de las IATG: www.un.org/disarmament/un-safeguard/. Antes de iniciar sus programas de gestión de existencias de municiones convencionales, las autoridades nacionales, empleadores y otros organismos y entidades interesados deberán obtener las copias respectivas.

³⁹ En los casos en que los derechos de autor lo permitan.

Anexo B **(Informativas)** **Referencias**

Los siguientes documentos informativos incluyen disposiciones que también deberían consultarse para tener mayor información referencial respecto al contenido de estas directrices:

- a) *Explosion Hazards and Evaluation (Riesgos de Explosión y Evaluación)*. W E Baker et al. Elsevier. (ISBN 0 444 42094 0). Ámsterdam. 1983;
- b) IATG 02.10:2015[E] *Introducción a los Principios y Procesos de la Gestión de Riesgos*. UNODA. 2015;
- c) *Selection and Use of Explosion Effects and Consequence Models for Explosives (Selección y Uso de Modelos de Efectos y Consecuencias de las Explosiones)*. UK Health and Safety Executive (Agencia Ejecutiva para la Salud y Seguridad del Reino Unido). (ISBN 0 7176 1791 2). Reino Unido. 2000; y
- d) Technical Note for Mine Action (*Nota Técnica sobre Acción contra Minas Antipersonal*) (TNMA) 10.20/01 *Estimation of Explosion Danger Areas (Evaluación de Zonas con Riesgos de Explosión)* (Versión 2.0). Ginebra. GICHD.

Se debe utilizar la última versión/edición de estas referencias. La Oficina para Asuntos de Desarme de las Naciones Unidas (UN ODA) conserva copias de todas las referencias⁴⁰ utilizadas en esta directriz. La UN ODA mantiene un registro de la última versión/edición de las Directrices Técnicas Internacionales sobre Municiones y se puede revisar en la página web de las IATG: www.un.org/disarmament/un-safeguard/. Antes de iniciar sus programas de gestión de existencias de municiones convencionales, las autoridades nacionales, empleadores y otros organismos y entidades interesados deberán obtener las copias respectivas.

⁴⁰ En los casos en que los derechos de autor lo permitan.

