

OpenCourseWare

Protección Ligera de Sistema Móviles (PLSM)

Tema 1: Las estructuras ante impacto: Concepción, interés y materiales

Jesús Pernas Sánchez
José Alfonso Artero Guerrero
Fernando Naya Montáns

Universidad Carlos III de Madrid



uc3m

Universidad
Carlos III
de Madrid

Índice

Aspectos diferenciales de la mecánica de sólidos en condiciones de cargas impulsivas

Revisión de aspectos generales de la protección y blindaje

Metales y aleaciones

Materiales cerámicos

Materiales compuestos

Hormigón

Blindajes reactivos

uc3m

Universidad
Carlos III
de Madrid

Aspectos diferenciales de la mecánica de sólidos en condiciones de cargas impulsivas

Mecánica de Sólidos: Estudio del comportamiento de los cuerpos sólidos deformables ante la aplicación de diversas cargas (fuerzas) o efectos térmicos. El comportamiento del sólido fundamentalmente se caracteriza por su estado de tensiones y deformaciones. En función de la velocidad de aplicación de las cargas podemos diferenciar:

Cargas quasiestáticas: Pesos (propio o externo), acciones cíclicas, fuerzas aerodinámicas... De orden de $\dot{\epsilon} < 1 \text{ s}^{-1}$

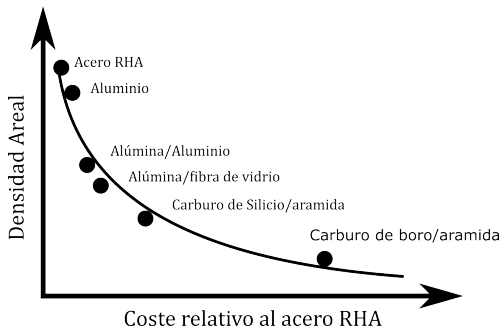
1. Elasticidad, plasticidad, mecánica del daño y la fractura (**Tema 2**)
2. Resistencia de materiales
3. Fatiga
4. Viscoelasticidad

Cargas dinámicas: Impacto, explosiones... De orden de $\dot{\epsilon} > 1 \text{ s}^{-1}$

1. Propagación de ondas elásticas y plásticas (**Tema 3**)
2. Influencia de la velocidad de deformación ($\dot{\epsilon}$). Viscoplasticidad, mecánica del daño y fractura ante cargas dinámicas (**Tema 4**).
3. Mecánica de la penetración (**Tema 5**)

Revisión de aspectos generales de la protección y blindaje

La protección y el blindaje se centran en la necesidad de proteger y salvaguardar a los humanos de un daño debido a una amenaza externa. Además los blindajes deben poseer un bajo peso de tal manera que no comprometa la movilidad de las personas o sistemas protegidos (Protecciones **Ligeras** de Sistemas **Móviles**). En los últimos 40 años las protecciones han mejorado enormemente debido a la introducción de los materiales avanzados (aleaciones metal, cerámicos, compuestos...).



El concepto **densidad por unidad de superficie** o densidad areal será comúnmente empleado a lo largo de la asignatura.

Masa
area

uc3m
Universidad
Carlos III
de Madrid

Figura: Densidad por unidad de superficie vs. coste en distintos blindajes

Evaluación de la protección

Penetración: Cuando el proyectil se introduce en el blindaje (**penetra**), pero es frenado (**no perfora**). No suele ocurrir en blindajes ligeros. Se evalúa con el DOP (Depth Of Penetration)

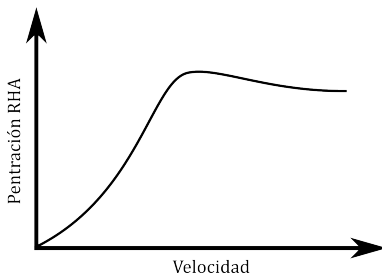


Figura: Penetración vs velocidad de un proyectil de carburo de tungsteno

Evaluación de la protección

Perforación: Cuando el proyectil atraviesa completamente el blindaje. Se evalúa con velocidad límite. Si incorporamos el concepto de probabilidad se denomina V_{50} .

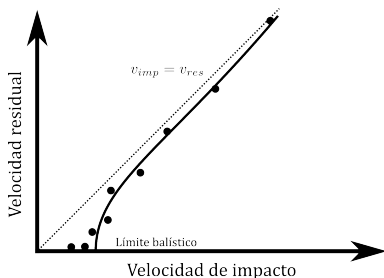


Figura: Definición de velocidad límite mediante la gráfica velocidad residual vs. velocidad impacto

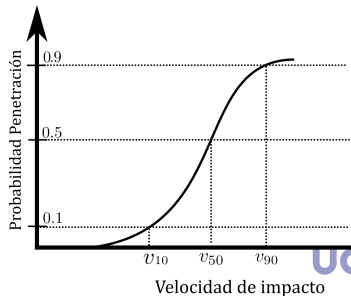


Figura: Definición de V_{50} mediante la gráfica probabilidad de perforación vs. velocidad impacto

Tipos de blindaje

Se pueden distinguir dos tipos de blindajes: pasivos y reactivos

Blindajes pasivos: Detienen al proyectil únicamente mediante las propiedades del materiales. Blindajes únicamente de metal o los más eficientes (cerámica+metal o cerámica+metal+composite).

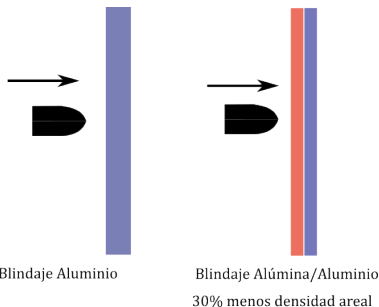


Figura: Comparación de blindajes metal o cerámica+metal

Blindajes reactivos: Se centran en el proyectil, intentando desviarlo o alterarlo de tal manera que disminuya su letalidad. Ejemplos: ERA (Explosively Reactive Armour) y NERA (non-energetic reactive armour).

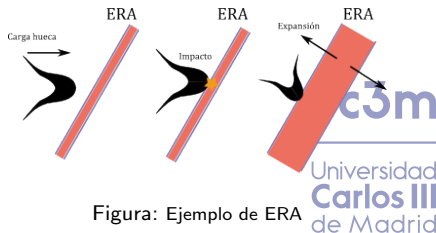


Figura: Ejemplo de ERA

Historia de los blindajes

Protecciones vehículos terrestres

- El material principal es acero de alta resistencia
- Espesores desde 8 *mm* a 240 *mm* (¡!)
- Blindajes excesivamente pesados

Protecciones aviones

- Problema de no aumentar peso
- 5,1 *mm* de acero (demasiado delgado). Aleaciones de magnesio.
- Protección de personas más que estructuras. Uso de cerámica.

Historia de los blindajes

Protecciones barcos

- S.XIX. Hierro forjado (114 *mm*) o roble (900 *mm*)
- Se empezó a usar material duro cara impacto, material dúctil detrás. Proporción 1/3 - 2/3.
- Aleaciones Níquel-Cromo

Protecciones en infraestructuras

- No hay problemas de peso y espacio
- Uso de roca y más modernamente hormigón
- Uso mejorado de hormigón reforzado por fibras

Protecciones personales

- Uso de metal. Cota de malla o armaduras
- Revolución años 60 por uso de Kevlar, cerámica, polímeros técnicos/fibras.

Amenazas

Munición de pequeñas armas

- Penetrabilidad ($KE_d = \frac{mv_0^2}{2A}$)
- Revestimiento. Sirve para proteger el cañón, que sea útil el estriado y proveer una forma aerodinámica al proyectil
- El revestimiento puede mejorar la penetración

Explosivos

- Generan una onda explosiva que puede causar importantes daños
- Hay ecuaciones empíricas (CONWEP) que analizan la sobrepresión y el impulso en una estructura situado a una determinada distancia.
- Pueden acelerar fragmentos que funcionan como proyectiles

Carga hueca

- Una lámina de material se deforma en un chorro (jet) con gran poder de penetración. Esto es debido al efecto del explosivo
- Su amenaza disminuye con la distancia al objetivo
- El material más usado es el cobre

EFP Explosive formed projectile

- Es similar a la carga hueca, pero no se forma un chorro (jet), sino un proyectil
- Su amenaza no depende de la distancia al objetivo

Aceros y aluminio para blindajes

Características Acero

1. Coste (> 420€)
2. Densidad (7850 kg/m^3)
3. Fabricabilidad (Diseños Curvos...)

Blindaje tradicional **RHA** (Rolled Homogeneous Armour) utilizado profusamente presenta una una tensión de rotura del orden de 600-900 MPa y dureza Brinell 240-400. Nuevos materiales **HHA** (high hardness armours), se producen de manera similar al RHA, pero con temperaturas menores. Los **DHA** (Dual hardness armours) producidos por laminación de chapa de elevada dureza con chapa de menor, para lograr la unión de ambos y tener un acero de gran dureza en su cara frontal y mayor ductilidad en la cara posterior. En los últimos años han surgido nuevos aceros denominados UHH (Ultra High Hardness) con dureza superior a 600 BHN.

Características Aluminio

1. Coste mayor que el acero
2. Densidad (2750 kg/m^3)
3. Facilidad de fabricación (Diseños curvos...)
4. Combate de infantería, transporte de tropas...

uc3m

Universidad
Carlos III
de Madrid

Aleaciones Titanio y Magnesio

Características Titanio

1. Coste elevado
2. Densidad (4510 kg/m^3)
3. Facilidad de fabricación (Diseños curvos...)
4. Ti6Al4V

Mejores resultados con blindajes compuesto
Titanio+metal más dúctil.

Características Magnesio

1. Coste elevado
2. Densidad (1740 kg/m^3)
3. Facilidad de fabricación (Diseños curvos...)
4. AZ31B

Materiales cerámicos

Características

1. Módulo elástico elevado
2. Muy elevada resistencia a la compresión
3. Elevadas temperaturas
4. Peso específico relativamente bajo
5. Reducida resistencia a tracción y a flexión
6. Alúmina, Carburo de boro

Diseño de blindajes cerámicas/metal

1. Resistentes al impacto de proyectiles de gran capacidad penetración (tipo APFSDS)
2. Erosionar y desestabilizar proyectiles
3. Eficiencia: Alúmina < Carburo de Silicio < Carburo de Boro

uc3m

Universidad
Carlos III
de Madrid

Materiales compuestos

Características

1. Material compuesto de generalmente dos componentes, uno aporta resistencia y rigidez y el otro aporta la cohesión. Más usado fibras largas en una matriz.
2. FRP vs FRM vs FRC
3. Reducido peso específico (Protecciones Ligeras)
4. Absorción energía de la bala

Ejemplo aplicación: Casco

1. Acero desde griegos
2. Pesado, poco eficiente ante AP (Núcleo duro)
3. Similar evolución al chaleco antibalas
4. Revolución: Fibras de aramida (Kevlar-DuPont o Twaron).

uc3m

Universidad
Carlos III
de Madrid

Materiales compuestos como blindaje

Empleo como uso principal:

- Baja protección
- Reducido peso específico (cascos y chalecos)

Empleo como uso secundario:

- Retención de fragmentos (cerámicos)
- Revestimiento para la metralla de placa principal

Fibras de aramida

1. Kevlar o Twaron

Polietileno cristalino

1. Dyneema o Spectra

Ambas fibras:

1. Empleo como tejido (Excesiva deformación, trauma)
2. Empleo como refuerzo de materiales poliméricos (poliéster o viniléster). Sustancial reducción de la deformación por tanto del trauma

Hormigón

Características

1. Coste bajo
 2. Protección de edificios
 3. Comportamiento mecánico más variable que en los metales (datos obtenidos con un determinado hormigón no puede ser trasladado sin más a otros hormigones)
1. El tipo de armado y la cuantía de armadura presentan notables diferencias en la capacidad de protección debido a la reducción del “scabbing” (cara posterior) y el “spalling” (cara frontal)

Blindajes reactivos

- Se centran en el proyectil, intentando desviarlo o alterarlo de tal manera que disminuya su letalidad.
- Ejemplos: ERA (Explosively Reactive Armour) y NERA (non-energetic reactive armour).
- Se usa para cargas huecas y explosivos anti-tanque.

- **ERA:** Dos láminas de acero con explosivo dentro.
- Desventajas: Daños colaterales.
- Se colocan en un determinado ángulo para que al desplazarse las placas de acero siempre haya material de acero “nuevo”
- **NERA:** Dos láminas de acero con material inerte , pero que se expanda rápidamente dentro.
- Ningún daño colateral.
- Incluso se pueden unir ambos tipos de blindajes.

uc3m

Universidad
Carlos III
de Madrid

Bibliografía



Vicente Sánchez Gálvez.
Materiales para la defensa: Cuaderno 10.
Cátedra ISDEFE-UPM, 2012.



P J Hazell.
Armour:materials, theory and design.
CRC Press, 2016.

OpenCourseWare

Protección Ligera de Sistema Móviles (PLSM)

Salvo indicación expresa, todas las imágenes son de la autoría de los autores del curso. Contenido distribuido bajo la licencia “Creative Commons **Attribution - Non-commercial - Non Derivatives**”.



uc3m

Universidad
Carlos III
de Madrid