



# DESARROLLO DE MATERIAL COMPUESTO PARA BLINDAJE



**FoDAMI**  
FORO DOCENTE DEL AREA MECANICA DE LAS INGENIERIAS

Dr. Ing. ELVIO HEIDENREICH

Ing. CARLOS SCALA

# TEMARIO

- INTRODUCCIÓN
- HISTORIA DE LOS BLINDAJES
- KEVLAR
- BLINDAJE EN DESARROLLO
  - VENTAJAS Y DESVENTAJAS
  - APLICACIONES
- DISTINTOS TIPOS DE BLINDAJES
- CAÑÓN DE AIRE COMPRIMIDO
- CONCLUSIONES





## 1. Ensayos estáticos

$$\varepsilon < 10^{-1} \frac{1}{\text{seg}}$$

## 2. Ensayos velocidad media

$$10^{-1} \frac{1}{\text{seg}} < \varepsilon < 10^2 \frac{1}{\text{seg}}$$

- Péndulo Charpy
- Torre de caída de peso

## 3. Ensayos de alta velocidad

$$10^2 \frac{1}{\text{seg}} < \varepsilon < 10^4 \frac{1}{\text{seg}}$$

- Barra de Hopkinson
- Cañon de gas comprimido

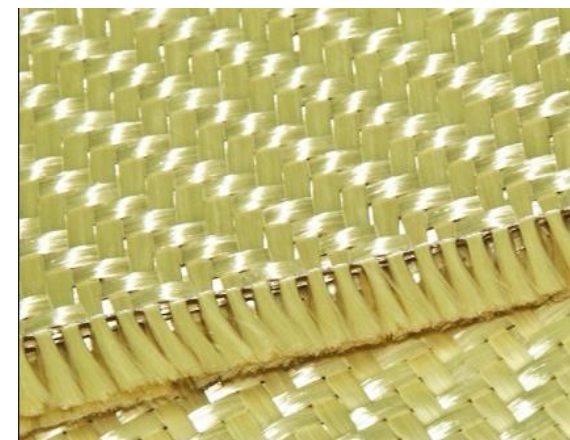
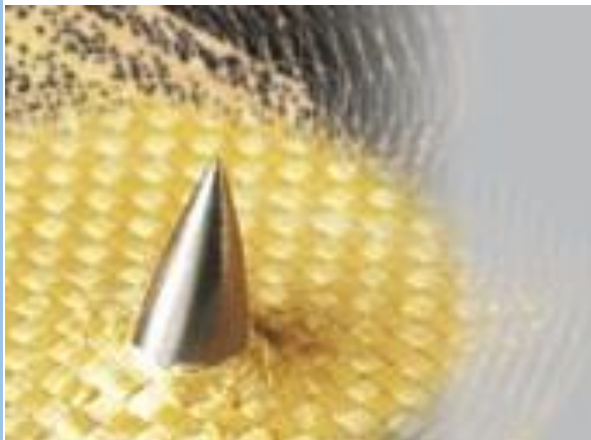
## 4. Ensayos de muy alta velocidad

- Cañon de gas comprimido

# HISTORIA DE LOS BLINDAJES

## Los Inicios de los Vehículos de Combate

La Primera Guerra Mundial fue el primer escenario donde los vehículos de combate empezaron a ser usados. Los primeros diseños eran toscos, muy ligeramente protegidos y luego había dos vertientes de fabricación, los pequeños como el FT-17 francés o los grandes como la serie Mark británica.





El blindaje se usaba para proteger a la tripulación del fuego de ametralladora y algunos explosivos menores.

Los tripulantes solían llevar protectores en los ojos debido a las esquirlas que se desprendían al ser impactado el blindaje de su propio vehículo de combate, el cual a pesar de no haber penetración, se le desprendían algunas partículas que podían herir a los tripulantes.





Renault FT -17

En el caso del FT-17, estamos hablando de un blindaje de entre 8 y 22 milímetros de acero inclinado en algunas partes. Esto ofrecía una mejora de la protección.

El diseño podía haber optado por un blindaje más recto, pero el blindaje frontal servía como método de escape al tener 2 puertas, por lo que inclinar, mejoraba la protección y facilitaba la huida en caso de necesidad, a pesar de que salir por delante no es la mejor forma de escapar.

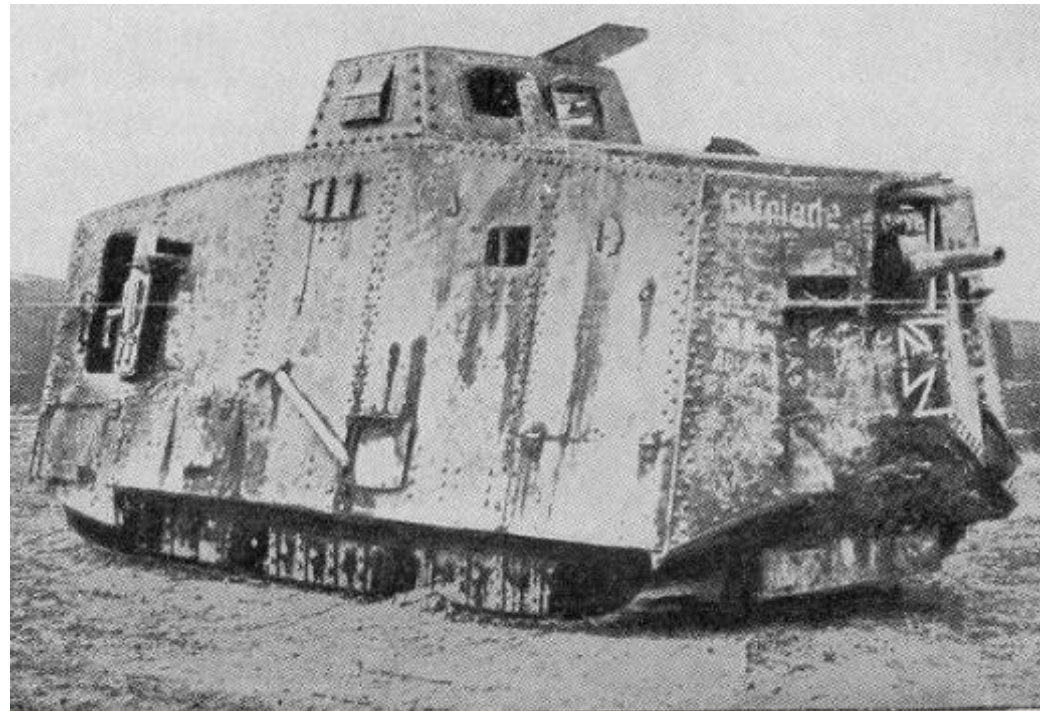
El blindaje no era suficiente para protegerse de cañones de 37mm, pero sí del fuego de ametralladoras y fusiles ligeros, que eran muy habituales.



Mark IV británico



En la imagen tenemos a un Mark IV que estaba protegido con un espesor de acero que rondaba entre los 6,1 y 12 milímetros, mientras que los Mark V estaban protegidos con 8mm en la parte trasera, 12mm en los laterales y 16mm frontales. Como podemos ver, la protección tampoco era suficiente contra pequeños cañones y su gran tamaño lo hacía un blanco fácil, además de su escasa movilidad.

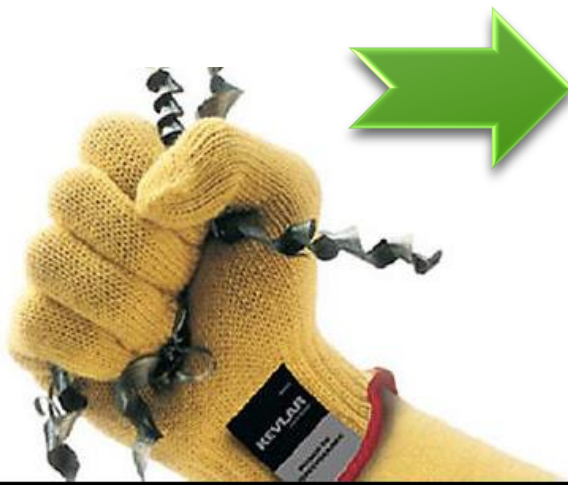
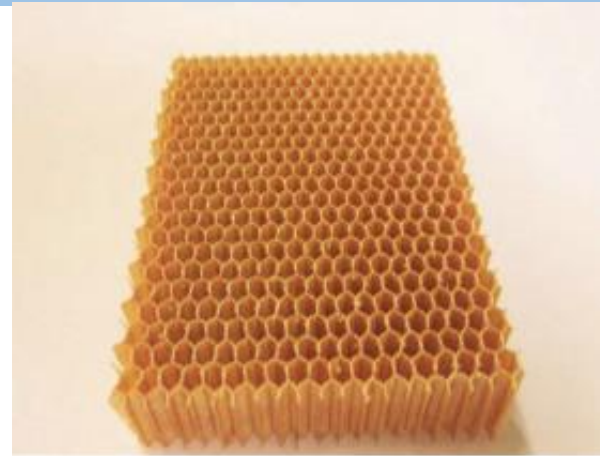


A7V Alemán

Fortalezas blindadas con aceros, altísimo peso, escasa movilidad, gran consumo de combustible y desgaste de mecanismos

## KEVLAR

El Kevlar es un polímero altamente cristalino. Llevó mucho tiempo encontrar alguna aplicación útil para el Kevlar, dado que no era soluble en ningún disolvente. Por lo tanto, su procesado en solución estaba descartado. No se derretía por debajo de los 500°C, de modo que también se descartaba el hecho de procesarlo en su estado fundido.



Fue entonces cuando una científica llamada **Stephanie Kwolek** apareció con una idea brillante. Stephanie trabajaba en un laboratorio, donde todos los días experimentaba con nuevos materiales.

Descubrió el Kevlar cuando se dio cuenta de que una solución plástica que ella estudiaba a menudo estaba actuando de manera “diferente”. Este material era súper resistente y a la vez muy ligero. Así fue como descubrió el Kevlar, una fibra química famosa por su uso en los chalecos antibalas. DuPont es una compañía científica.



Fundada en 1802, DuPont pone a trabajar a la ciencia en la resolución de problemas y creación de soluciones que hacen que la vida de la gente sea mejor, más segura y fácil.

Con operaciones en más de 70 países, la compañía ofrece una amplia gama de productos y servicios a los mercados, incluyendo el de agricultura, nutrición, electrónica, comunicaciones, seguridad y protección, casa y construcción, transporte y vestido.



Kwolek entró a trabajar en DuPont en 1946 como química de laboratorio en Buffalo, Nueva York. Recién graduada de lo que ahora es la Universidad Carnegie Mellon de Pennsylvania, dijo que su intención originalmente era trabajar para DuPont unos cuantos años, los suficientes para ahorrar dinero y entrar a la facultad de medicina.



Al ofrecer resistencia al calor, Kevlar protege contra riesgos térmicos de hasta 800 grados F.

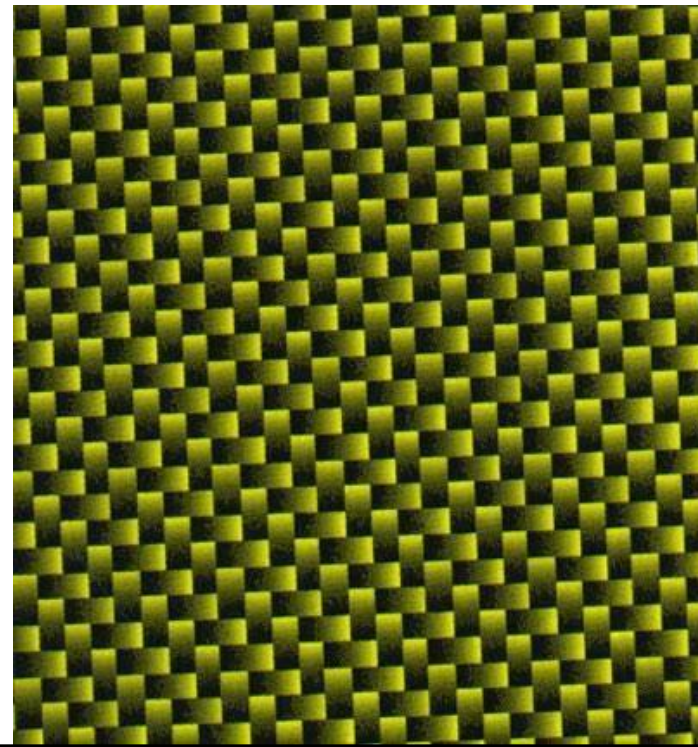


Nomex: Las características intrínsecamente ignífugas proporcionadas por NOMEX hacen que las personas que trabajan con este polímero estén seguras y protegidas contra los peligros del trabajo de cada día.



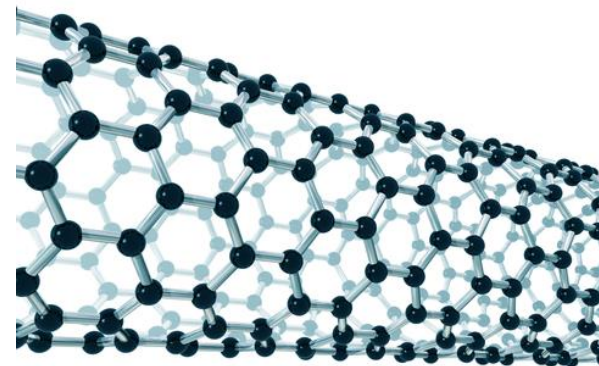
Es ese conocimiento y sentido de la seguridad el que les permite concentrarse en su tarea actual, y contribuir así a elevar la productividad. NOMEX es una molécula con cadena larga.

Esta fibra es muy resistente incluso a temperaturas extremas y se ha utilizado para múltiples usos después que DuPont lo comercializase a partir de 1972. Se utiliza en la criogenia, para fabricación de objetos defensivos como en los vehículos de combate, en cascos de combate o en trajes antibalas, o para prendas de equipos deportivos entre muchos otros usos.





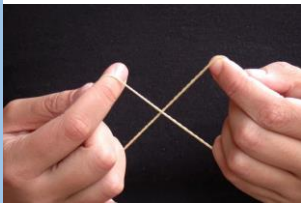
El Kevlar 29 es una fibra que se usa típicamente como refuerzo en tiras por sus buenas propiedades mecánicas, o para tejidos. Entre sus aplicaciones está la fabricación de cables, ropa resistente (de protección) o chalecos antibalas.





## RIGIDEZ

El Kevlar posee una excepcional rigidez para tratarse de una fibra polimérica.



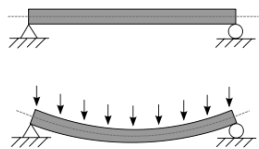
## ELASTICIDAD

El valor del módulo de elasticidad a temperatura ambiente es de entorno a 80 GPa (Kevlar29)



## ENLONGACION

El Kevlar posee una elongación a rotura de entorno al 3,6% (Kevlar 29)

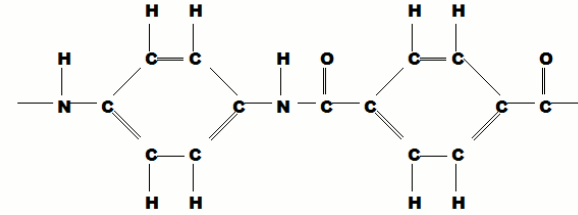


## RESISTENCIA

Kevlar 29 - de alta resistencia (520 000 psi/3600 MPa), de baja densidad (90 lb / pie<sup>3</sup> / 1440 kg / m<sup>3</sup>)

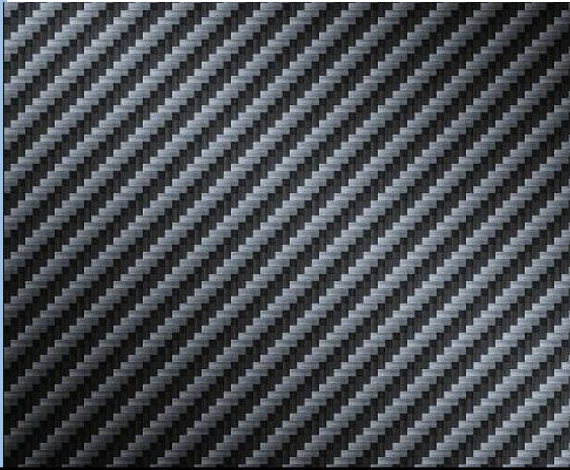
## KEBLAR 49

El Kevlar 49 se emplea cuando las fibras se van a embeber en una resina para formar un [material compuesto](#). Las fibras de Kevlar 49 están tratadas superficialmente para favorecer la unión con la resina.



## USOS KEVLAR 49

El Kevlar 49 se emplea como equipamiento para [deportes](#) extremos, para [altavoces](#) y para la industria [aeronáutica](#), aviones y satélites de comunicaciones y cascos para motos. El Kevlar 49, de baja densidad, alta resistencia y módulo elástico, se utiliza para reforzar plásticos de materiales compuestos para aplicaciones aeroespaciales, marina, automoción y otras aplicaciones industriales.



## **PROPIEDADES KEVLAR 49**

### **ELASTICIDAD**

El valor del módulo de elasticidad a temperatura ambiente es de entorno 120 Gpa (Kevlar49) . El valor de un acero típico es de 200 GPa.



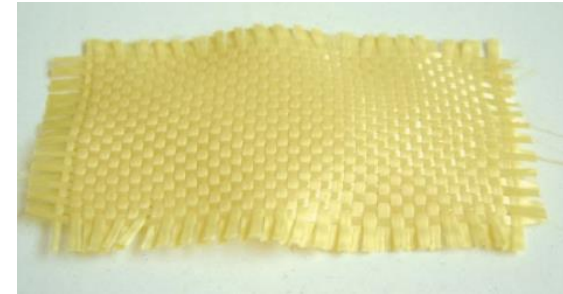
### **ENLONGACIÓN**

El Kevlar posee una elongación a rotura de entorno al 2,4% (Kevlar 49), mientras que el acero rompe entorno al 1% de su deformación. Esto hace que el Kevlar sea un material más tenaz y absorba mucha mayor cantidad de energía que el acero antes de su rotura.



## RESISTENCIA

Alto módulo (19000 ksi/131 GPa), de alta resistencia (550 000 psi/3800 MPa), baja densidad (90 lb / ft  $\text{m}^3$  / 1440 kg /  $\text{m}^3$ ) fibras usadas en aplicaciones aeroespaciales, automoción y marina.



- ✓ Buena resistencia a la tracción.
- ✓ Menor densidad que la fibra de vidrio y carbono.
- ✓ Baja resistencia a compresión.
- ✓ Buena resistencia a disolvente y aceites.
- ✓ Fácilmente atacables por ácidos y bases fuertes.
- ✓ A diferencia de la fibra de carbono y vidrio, presentan una gran absorción de humedad en condiciones ambientales, en detrimento de sus propiedades mecánicas.



Las especificaciones físicas típicas del Kevlar 49 son:

- **Densidad:**  $1.44 \text{ g/cm}^3$
- **Resistencia a la Tracción:** 3400 Mpa
- **Módulo Elástico:** 125 Gpa
- **Diámetro de la Fibra:**  $12 \mu\text{m}$
- **Absorción de Humedad:** 12%

## KEVLAR 149

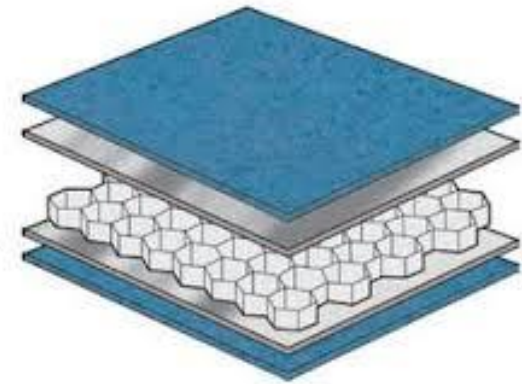
### USOS

Tipo ligero, de alto rendimiento y de alta tenacidad de los hilos utilizados en marcha de carreras de motos, accesorios de protección de la vida, cuerdas y cordajes, y mangueras de alta presión utilizados en la industria de petróleo y gas.

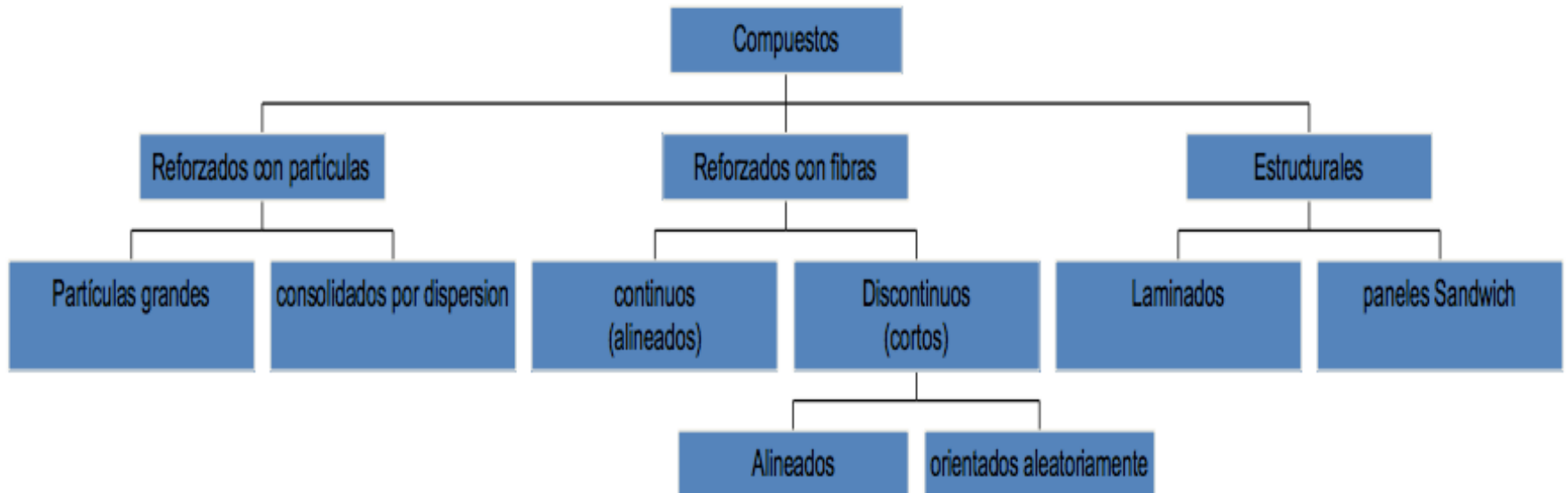
Ultra alto módulo (186 GPa), de alta resistencia (3400MPa), baja densidad (1470 kg / m<sup>3</sup>) de fibras altamente cristalinos utilizados como refuerzo fase dispersa de los componentes de material compuesto para aviones.



# MATERIALES COMPUESTOS



## Clasificación de Materiales compuestos





## MATERIALES REFORZADOS CON FIBRAS

Son muy importantes tecnológicamente

Resistencia elevada y rigidez a baja densidad

Estas características se expresan mediante los parámetros

Resistencia específica – resistencia a la tracción/peso específico

Módulo específico – Módulo elástico/peso específico

Ej: fibra de vidrio

- Filamentos continuos de vidrio en una matriz polimérica
- Resistencia debido a las fibras
- El polímero únicamente las mantiene unidas.



- Longitud crítica de la fibra para un fortalecimiento y endurecimiento efectivo.

$$L_c = \frac{\sigma_f \cdot d}{\tau_c}$$

Para asegurarse la transmisión del esfuerzo por ejemplo en la fibra de vidrio.

Tenemos:

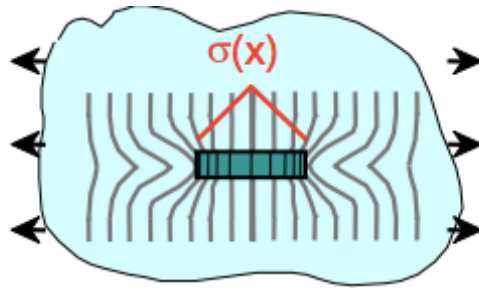
$$\text{Largo de la fibra} > 15 \frac{\sigma_f \cdot d}{\tau_c}$$

$\sigma_f$ : resistencia a la tracción

$d$ : diámetro de la fibra

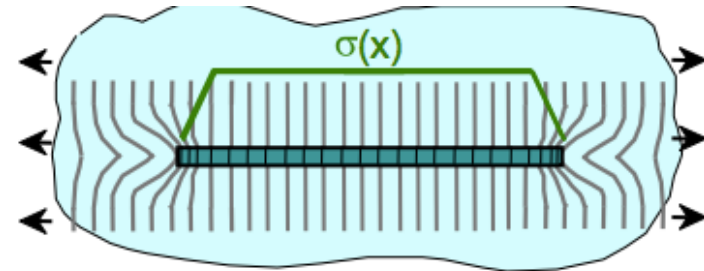
$\tau_c$ : resistencia al corte de la matriz + fibra

Largo de la fibra  $< 15 \frac{\sigma_f \cdot d}{\tau_c}$

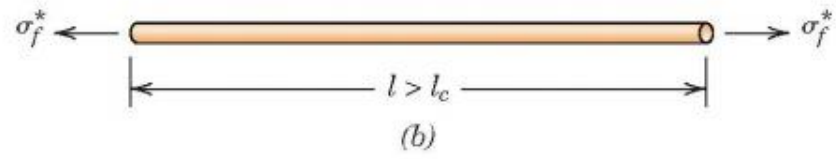
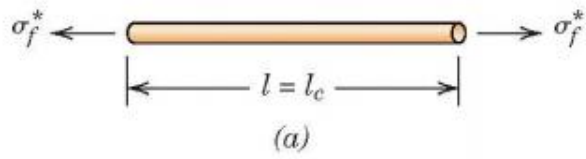
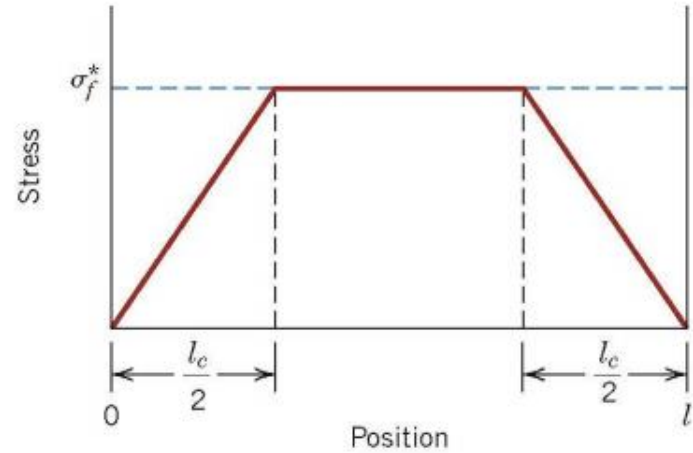
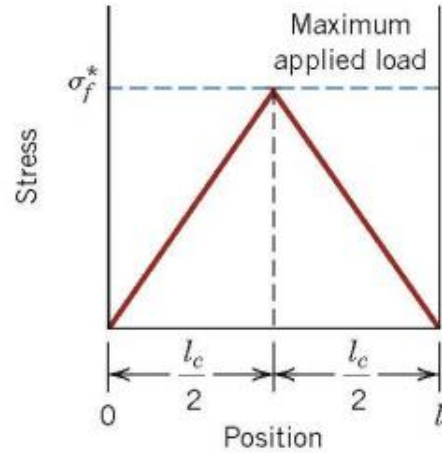


Eficiencia pobre de la fibra

Largo de la fibra  $> 15 \frac{\sigma_f \cdot d}{\tau_c}$



Eficiencia grande de la fibra



# CARGA LONGITUDINAL

## Fibras continuas

La resistencia para un material compuesto reforzado con fibras continuas largas en una matriz.

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot V_m + \sigma_f \cdot V_f$$

$$\epsilon_f = \epsilon_c = \epsilon_m$$

$$E_{ce} = E_m \cdot V_m + E_f \cdot V_f$$

$$\frac{f_f}{f_m} = \frac{E_f}{E_m} \cdot \frac{V_f}{V_m}$$

**f:** fibra

**m:** matriz



## CARGA TRANSVERSAL

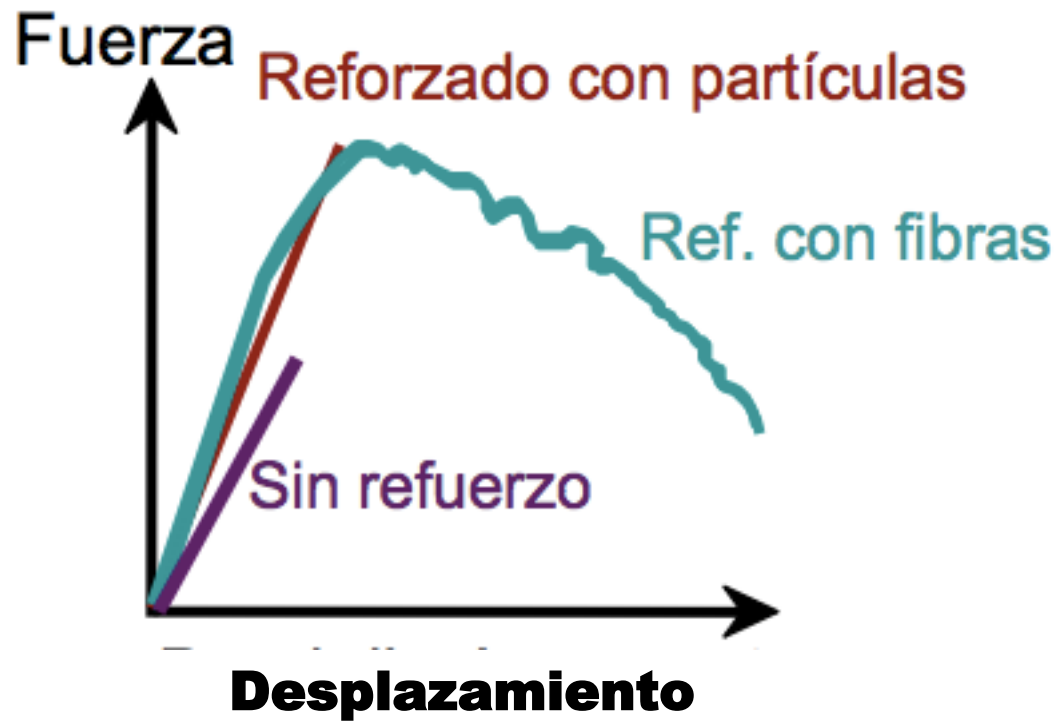
En carga transversal las fibras cargan menos – iguales esfuerzos

$$\sigma_f = \sigma_c = \sigma_m = \sigma$$

$$\epsilon_c = \epsilon_m V_m + \epsilon_f V_f$$

$$\frac{1}{E_{ct}} = \frac{V_m}{E_m} + \frac{V_f}{E_f}$$

Módulo transversal





## BLINDAJE EN DESARROLLO

El blindaje opaco de los vehículos tanto particulares como los utilizados en las distintas fuerzas de seguridad, hasta hace poco tiempo, eran realizados mediante la utilización de aceros inoxidables tipo AR 500 de alto impacto, lo cual daba como producto final, un vehículo blindado pesado y poco ágil, aumentando el consumo de combustible y la contaminación ambiental en un 30 por ciento aproximadamente. Además de estas desventajas ofrecidas por el acero, los rodados que debían tener una duración útil de servicio de diez años, se reducía prácticamente a cinco o seis años como mucho, debido al desgaste excesivo de todos sus componentes mecánicos.

Asimismo, la seguridad para terceras personas, era reducida en un 40% aproximadamente, puesto que el frenado del rodado blindado era mucho menor que un vehículo de peso estándar, ya que sus frenos estaban diseñados para ser eficientes en dichos pesos. Al mismo tiempo, el impacto producido por un rodado que ha aumentado un 50 % su masa, no es la misma que un vehículo diseñado de manera estándar, puesto que la inercia del primero, es mucho mayor que la del segundo.





En 1996 nace en México la empresas “BLINDAJES ALEMANES”, con asistencia técnica de Wendler GmbH Alemania, como respuesta a la necesidad del mercado mexicano de un blindaje de la más alta calidad e integridad balística. Cinco años más tarde en el 2001, Blindajes Alemanes, Wendler México y Wendler GmbH, se integran en el grupo Wendler Blindajes Alemanes (WBA), combinando así toda su experiencia e ingeniería en una de las empresas de blindaje más prestigiosas e importantes del mundo. Con el apoyo de esta gran empresa nace “Auto Safe S.A” Colombia, la cual cumple con todas las certificaciones requeridas ofrece al mercado blindajes de la más alta calidad.



Con el avance tecnológico de los últimos cinco años, casi todos los aceros balísticos, se fueron reemplazando por telas aramídicas unidas mediante la sumatoria de capas cosidas entre sí. Aquí aparecen las fibras aramídicas como un nuevo concepto de impedir los daños producidos por armas de fuego. Las uniones y los intersticios que presentaban estos paquetes balísticos, ocasionaron fallas graves en mucho de los casos.



La evolución de las armas de fuego, hace inevitablemente que las protecciones balísticas también tengan su avance tecnológico. Esto crea la imperiosa necesidad de cambiar la forma de armado de las protecciones balísticas.




Lo ultimo en blindajes livianos opacos que se encuentra en el mercado actual, es comercializado por la fábrica de vehículos “RENAULT”. Se trata del blindaje opaco liviano (GS 3000) de fibra de acero de última generación (diez veces más liviano que el propio acero), es utilizado en puertas y techo. Es resistente al agua, a químicos y al calor hasta 100°C. Ofrece, además, protección a disparos angulares hasta de 60°, así como protección contra fragmentos, anti fuegos y contra balas de camisa de acero (9mm), y agrega pared de fuego (en el torpedo). <http://www.sanautos.com.co/fichas-tecnicas/ficha-duster-blindada.pdf>



Una de las principales limitaciones de este blindaje, es la duración de su vida útil, la cual es de solamente dos años, aproximadamente un promedio de 100.000 km recorridos en el rodado que lo porta.



Este tipo de blindaje, sigue manteniendo inevitablemente, el uso de aceros tipo inoxidable, sobretodo en ciertas zonas del rodado como ser los parantes internos laterales, cajón de cinturones inerciales entre otras.

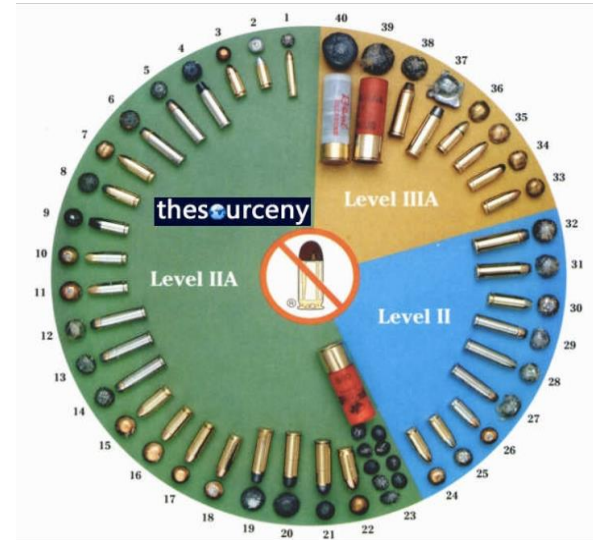
A blue arrow graphic pointing towards the text is located at the top left of the main content area.

Además de los blindajes anteriores se están implementando otros tipos de blindajes de carácter bélicos, mediante el uso de materiales compuestos con polvos cerámicos, residuos cerámicos industriales, resinas, y fibra de vidrio. Éstos, permiten construir una zona rígida, que ocasionan la deformación de la ojiva o punta del proyectil, asimismo la absorción de gran parte de energía al momento del impacto, mientras que la zona blanda fabricada con fibras de aramida, fibras de vidrio tipo E, tejidos de fibras poliéster de alta resistencia y fibras de carbono, permiten reducir la energía cinética residual de los fragmentos rápida y notablemente, reteniendo el resto de la ojiva.

El concepto de la incorporación de nanopartículas en las matrices tipo poliméricas que contendrán los refuerzos aramídicos, es muy reciente y moderno, producto de las nuevas tecnologías que se están implementando en carácter innovador.



Por lo tanto, lo que se busca es poder reemplazar en cierta forma dichas cerámicas por otros elementos que brinden protecciones similares a las de los cerámicos. Aquí se incorpora el concepto de la introducción de nanopartículas como ser carbono, vidrio o incluso nanopartículas cerámicas, las cuales ya no presentarán grandes masas, si no que estarán combinadas con otros materiales de pesos específicos mas ligeros.

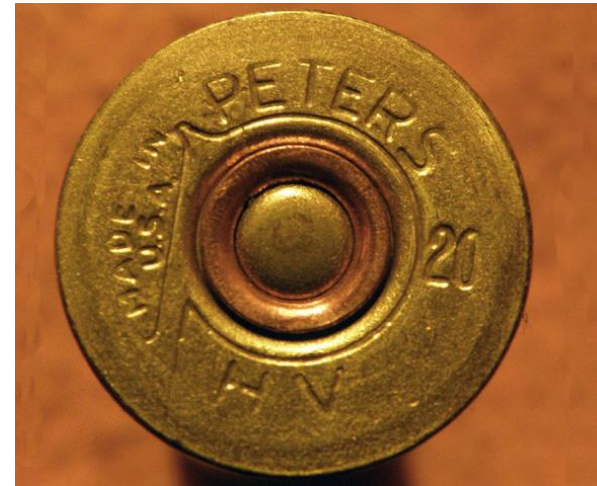


Es por ello que en la actualidad, surge el concepto de la combinación de distintos tipos de componentes llamados refuerzos, los cuales se encuentran unidos y contenidos en una matriz del tipo polimérica.



A su vez la compactación de las fibras mediante la utilización de técnicas de vacío, preformado por matrices con altas temperaturas, a su vez estos paquetes balísticos son sometidos a atmosferas controladas con presiones que oscilan en el rango de las 15 a 20 atmósferas, estos procesos hacen que dichos elementos, se unifiquen eliminando el aire acumulado entre las tramas de las distintas telas y entre las distintas capas de los diferentes materiales constituyentes del paquete, impidiendo el ingreso de las moléculas de agua lo cual, hace que el blindaje sea liviano, resistente, y de baja higroscopicidad.

Por otra parte, la detención de los proyectiles de los calibres .44 Mágnum y 9mm, ambos de alta velocidad, presentan inercias muy altas, ya que sus aceleraciones son muy altas, y en muchos casos su morfología es de carácter aerodinámico, esta combinación ocasiona daños inclusive en superficies aceradas. implica la vida o muerte de un ser humano. Esta problemática, reduce prácticamente a cero el margen de error de la protección balística.





## OBJETIVO PRINCIPAL



El objetivo principal del proyecto, es el desarrollo de un blindaje liviano para zonas opacas de automóviles, tanto particulares, como policiales, mediante la utilización de placas balísticas compuestas con refuerzos diversos tales como fibras aramídicas, fibras de carbono, fibras de vidrio y similares, en diferentes matrices como resinas epoxídicas, resinas poliéster, etc.

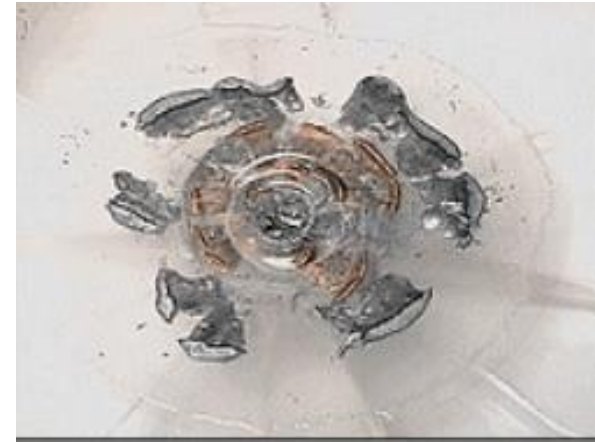


## OBJETIVOS ESPECIFICOS

Desarrollar un protocolo de fabricación de un material compuesto utilizando diferentes procesos tales como moldeo por compresión, curado por autoclave, infusión asistida por vacío.

Determinación de los elementos constitutivos del material compuesto que permita maximizar las propiedades de fractura frente al impacto, contemplando la modificación de las siguientes variables: cantidad de capas, geometría y orientación, tipo de capa (aramídica, carbono, etc) y tipo de matriz, modificando está a través de la incorporación de nanopartículas.

Obtención de las respuestas al impacto del material desarrollado, a través de ensayos de impacto convencional así como ensayos balísticos.



Comportamiento de los elementos constitutivos del blindaje en distintos ambientes climatológicos como ser húmedos, secos, temperaturas extremas etc.

### NIVELES DE RESISTENCIA BALISTICA

NIVEL	SERIE DE DISP	MUNICION	MASA gramos	Vel. Req. m/s	N° DISPAROS VALIDOS.	Longitud del cañón sugerida cm	Penetraciones permitidas.
RB0	1	.22 LRHV (SL)	2.6	320+/-12	5	15-16.5	0
	2	.38 SPL RNSL	10.2	259+/-15	5	15-16.5	0
RB1	1	.357 M g JSP	10.2	381+/-15	5	10-12	0
	2	9 mm FM J	8.0	332+/-12	5	10-12	0
RB2	1	.357 M g JSP	10.2	425+/-15	5	15-16.5	0
	2	9 mm FM J	8.0	358+/-12	5	10-12	0
RB3	1	.44 M g SWC	15.55	426+/-15	5	14-16	0
	2	9 mm FM J	8.0	426+/-15	5	24-26	0
RB4	1	.308 W FM J	9.7	838+/-15	5	56	0
	2	.223 Rem FM J	3.57	991+/-15	5	53	0
RB5	1	.308 W P	9.7	838+/-15	1	56	0
RBE	LAS EXIGENCIAS SERAN ESPECIFICADAS POR EL USUARIO						0



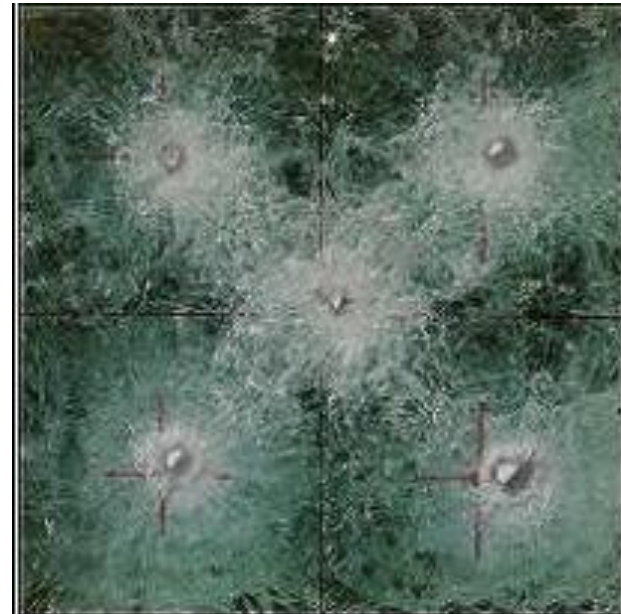
## NIVEL RB3

Estos blindajes protegen contra proyectiles calibre .44 Mg de plomo semisacabocado, con gas check (SWC-GC), con masas nominales de 15.55 gramos (240 grains), disparados por cañones de 14 cm a 16 cm que impactan a una velocidad de  $426\pm 15$  m/s ( $1400\pm 50$  pies/seg.) y calibre 9 mm encamisado (FMJ) con masas nominales de 8.0 g (124 grains), disparados por cañones de 24 cm a 26 cm que impactan a una velocidad de  $426\pm 15$  m/s ( $1400\pm 50$  pies/seg.). Asimismo proporcionan protección contra amenazas de los niveles RB1 y RB2.



## VENTAJAS Y DESVENTAJAS

La mayoría de los blindajes rígidos compuestos por materiales tipo cerámicos, siguen manteniendo un peso considerablemente alto respecto del peso que tendría un material polimérico, pero a su vez son muchos más eficientes para protecciones balísticas de niveles RB3 y RB4.



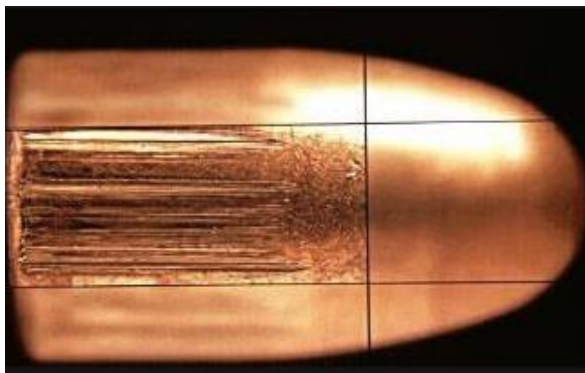
Considerando que los blindajes de por sí, ya son bastantes caros en el mercado mundial, y considerando todo el desarme y armado del rodado que se está blindando, esta protección balística de por sí, no sería del todo rentable, sin considerar la degradación sustancial de la vida útil del rodado, las sumatorias de las fallas humanas en el armado del mismo, y los ruidos que adquiere el vehículo como producto de esta actividad.





**Impacto en el Medioambiente : El proyecto presenta un impacto positivo para el medio ambiente, puesto que al ser un blindaje liviano, esto reducirá un 30% aproximadamente el consumo de combustible con respecto al mismo rodado blindado con aceros balísticos. Por lo tanto, además de los beneficios del desarrollo para la Defensa Nacional en cuanto a las mejores prestaciones del nuevo blindaje BLOC, existirá un beneficio adicional económico y social por la disminución en el consumo de energía y la consiguiente reducción de la contaminación ambiental.**

**Impacto psicológico:** un blindaje seguro, brindara una sensación de seguridad y confiabilidad a los integrantes de la tripulación del rodado, ya sean personas civiles, como personas funcionarias publicas, tales como personal integrante de fuerzas de seguridad, o inclusive funcionarios públicos de otra índole.



Las condiciones hostiles en las que se puede ver involucrado un policía, a veces son de altísimo riesgo, es por ello que el vehículo blindado, debe ser el parapeto y la protección correspondiente y eficiente en la que dicho sujeto debe confiar su vida.

Esto hace que dicho personal sienta el apoyo y el cuidado de sus pares, haciendo valer su propia vida.

## APLICACIONES

**VEHÍCULOS INSTITUCIONALES**

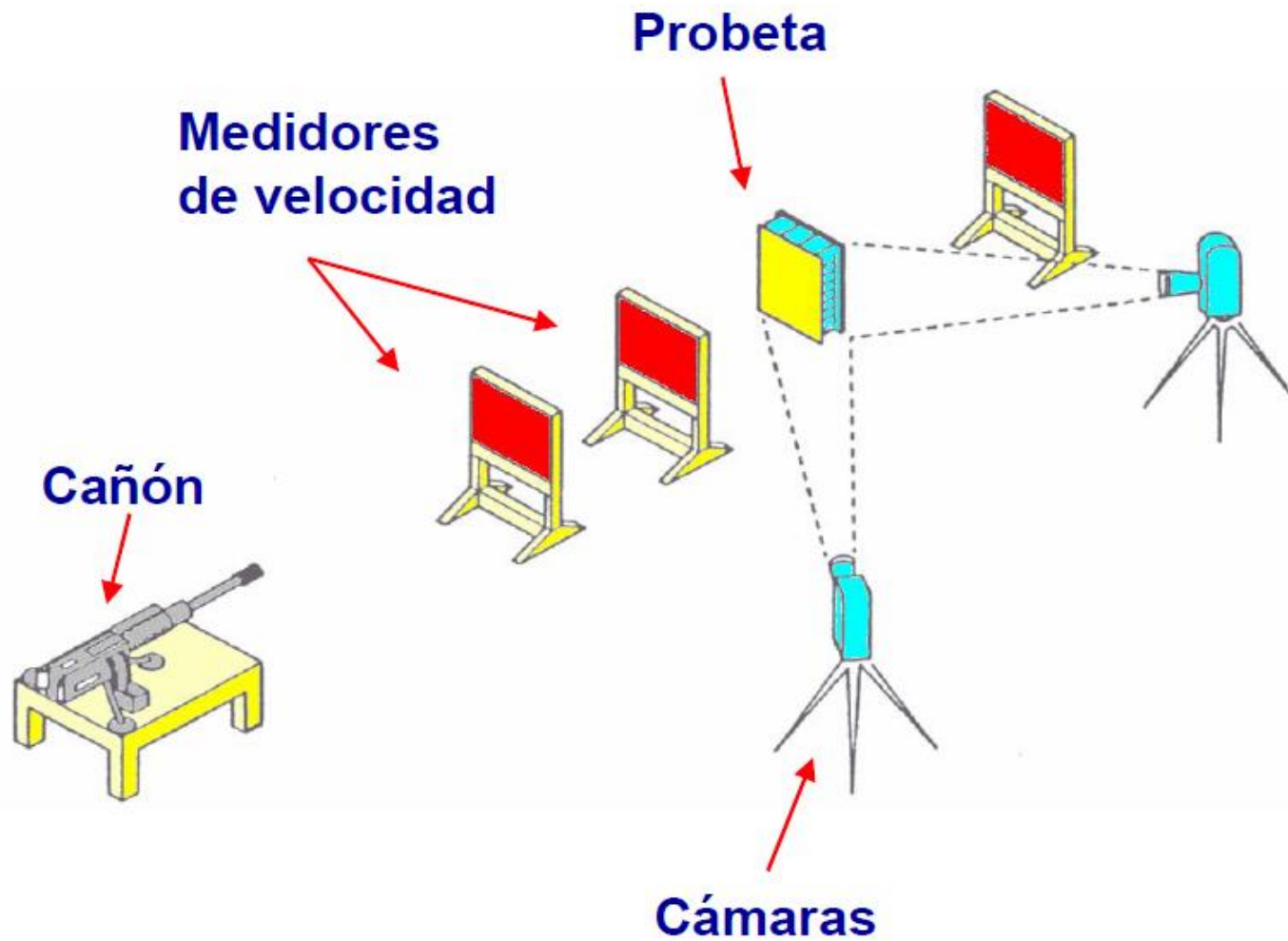
**VEHICULOS PRIVADOS**

**VEHICULOS POLICIALES**

**VEHICULOS MILITARES**

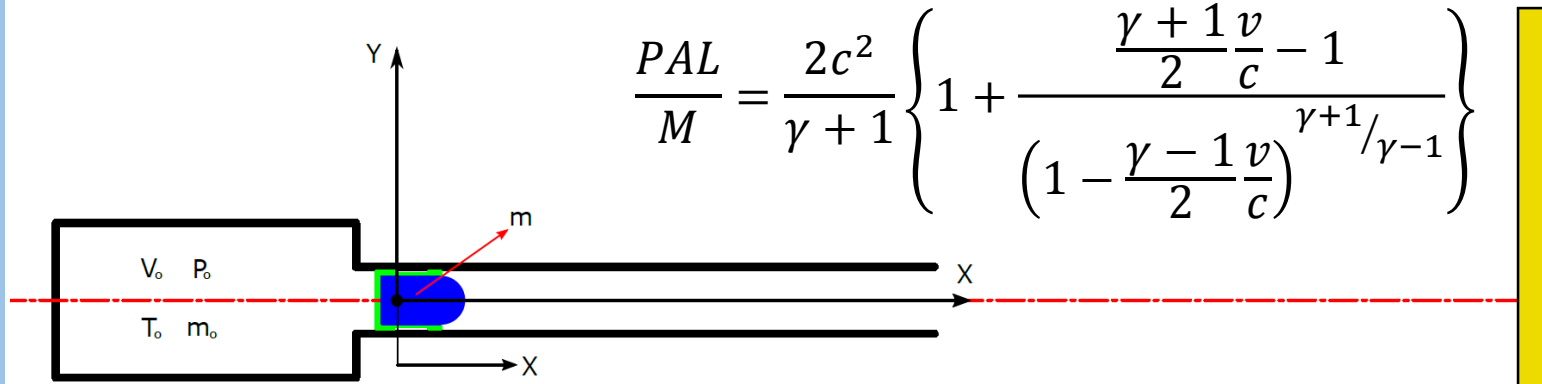
**ESTRUCTURAS METALICAS DE EDIFICIOS, TALES COMO GARITAS  
PUESTOS DE GUARDIAS, NEGOCIOS CIVILES ETC**





# CAÑÓN DE AIRE COMPRIMIDO





$$\frac{PAL}{M} = \frac{2c^2}{\gamma + 1} \left\{ 1 + \frac{\frac{\gamma + 1}{2} \frac{v}{c} - 1}{\left(1 - \frac{\gamma - 1}{2} \frac{v}{c}\right)^{\gamma+1/\gamma-1}} \right\}$$

$$P_0 V_0 = m_0 R_g T_0 \Rightarrow m_0 = \frac{P_0 V_0}{R_g T_0} \quad V = V_0 + A_t x$$

$$T = T_0 \left(\frac{V_0}{V}\right)^{\gamma-1} \quad P = \frac{m_0 R_g T}{V}$$

$$m\ddot{x} = PA_T$$

**Dentro del cañon**

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -\frac{1}{2}\rho v^2 A_f C_d \cos(\theta) \\ m\ddot{y} = -\frac{1}{2}\rho v^2 A_f C_d \sin(\theta) - m g \end{cases}$$

**Tiro oblicuo**

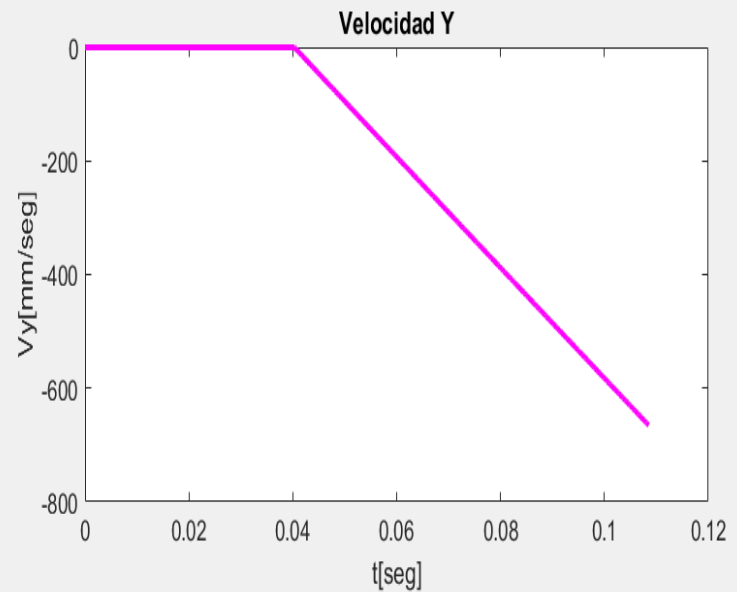
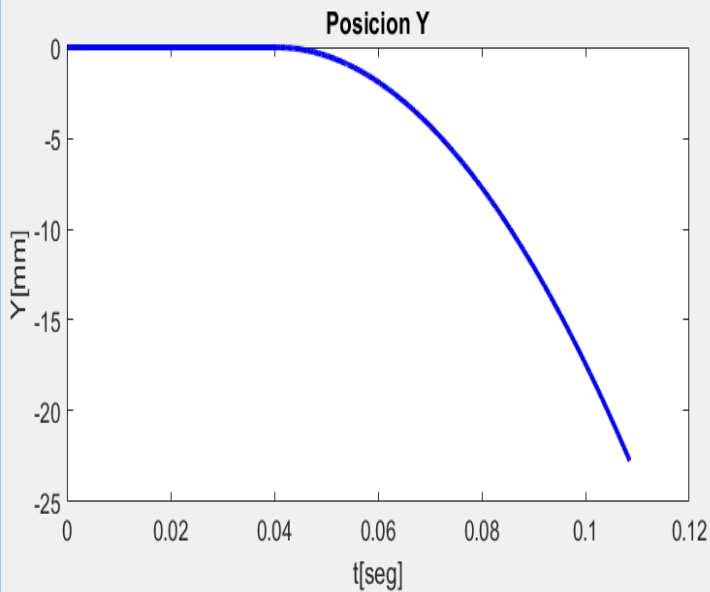
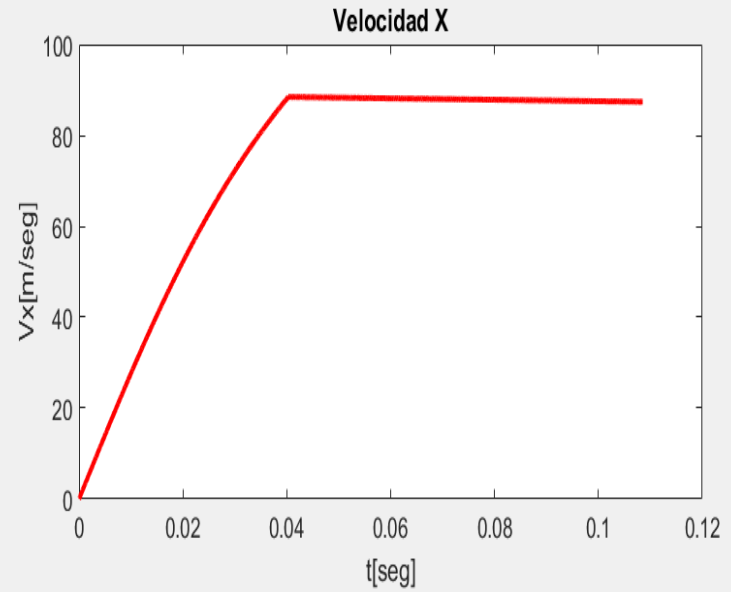
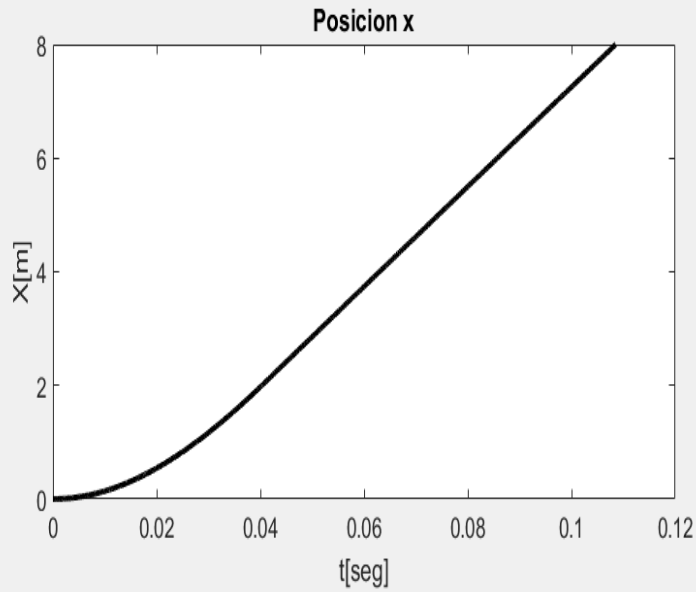


# CAÑÓN DE AIRE COMPRIMIDO

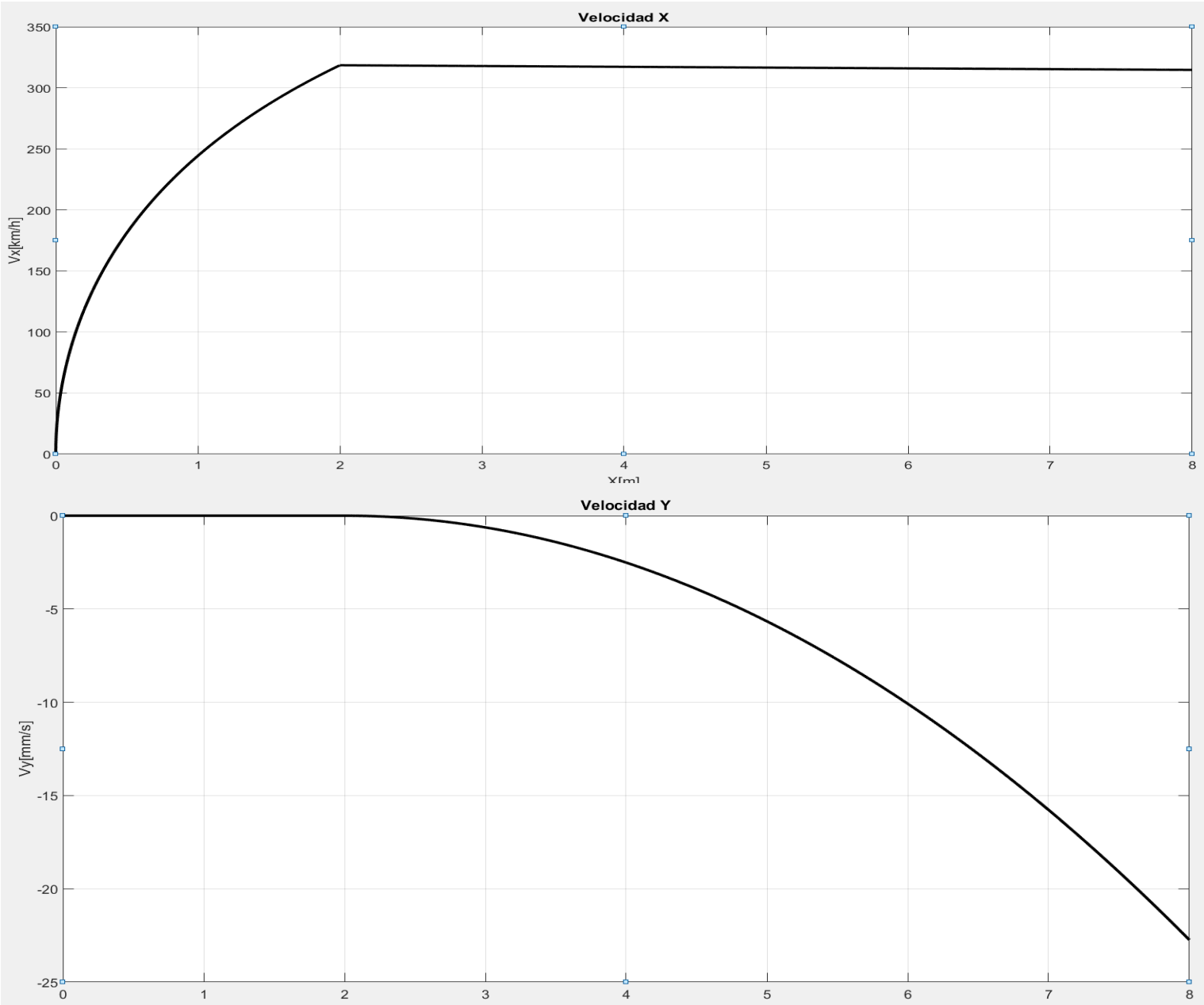


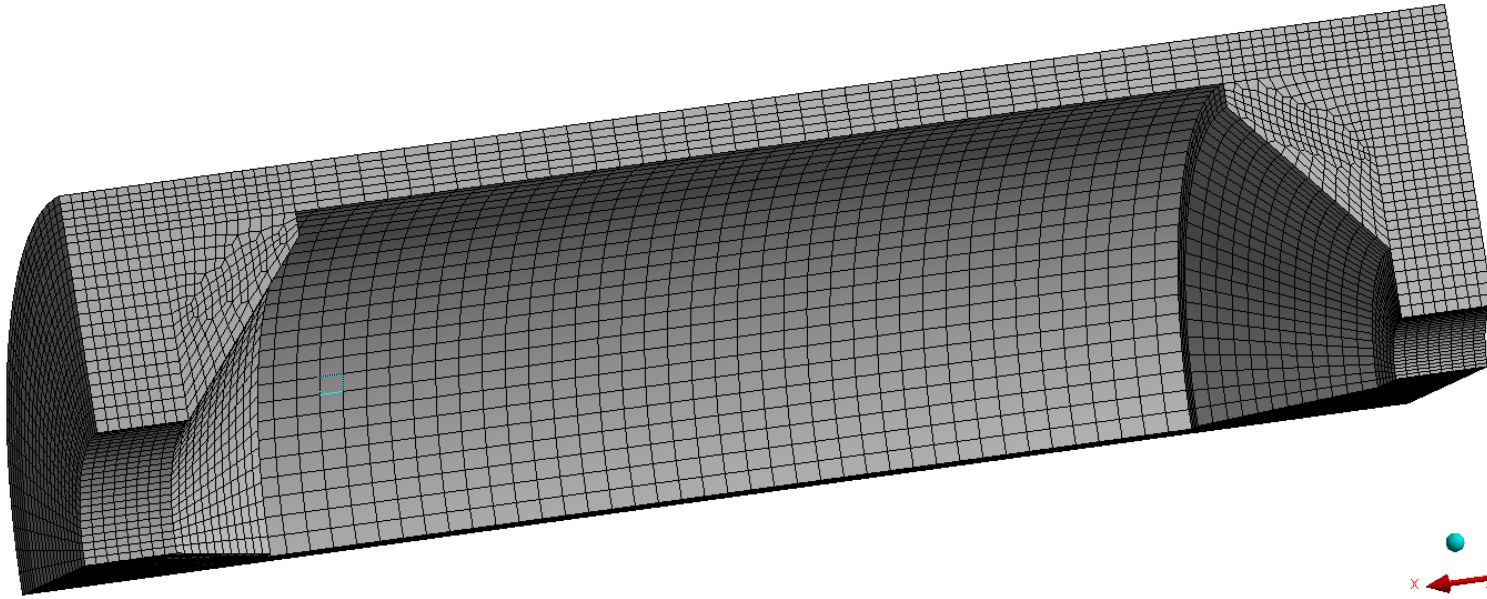
```
%Datos del reservorio;
Rt=130;           %.Radio del tanque en [mm]
Lt=500;          %.Longitud del tanque en [mm]
Vo=pi*(Rt/1000)^2*(400/1000); %.Volumen del tanque [m^3]
%
Pi = 4.0;        %.Presion en atmosferas
Po = 101325*Pi;  %.Presion en el reservorio [N/m^2]
%Vo = (20/1000); %.Volumen del tanque [m^3]
R = 286.9;       %.Constante particular del gas [J/(kg K)]
To = 293.0;      %.Temperatura en kelvin del gas [K]
mg = Po*Vo/(R*To); %.Masa del Gas contenido en el recipiente [kg]
%-----
%.Datos del tubo
rt = 95/2.0;     %.Radio del tubo en [mm]
At = pi*(rt/1000)^2; %.Area frontal del tubo[m^2]
L1 = 2.0;        %.Longitud del tubo [m]
%-----
%.Datos del Proyectoil
mp=1.0;          %.Masa del proyectil [kg]
Cd=0.47;         %.Coeficiente de arrastre de la esfera [adimensional]
rp = 95/2;       %.Radio del proyectil en [mm]
Af=pi*(rp/1000)^2; %.Area frontal del proyectil [m^2]
%-----
L2=6.0;          %.Distancia entre el tubo y la zona de impacto [m]
%-----
g=9.81;          %.Aceleracion de la gravedad [m/seg^2]
rho=1.205;       %.Densidad del aire [kg/m^3]
gamma=1.4;
%-----
opt = odeset('RelTol',1e-8,'AbsTol',1e-10,'Events','EventsOdeCanon','MaxStep',1.0E-4);
%.
Xo =[0 0 0 0];
to =[0 1];
%
[t,X]=ode45(@OdeTramo12,to,Xo,opt,mp,mg,Vo,At,R,To,Af,Cd,g,rho,gamma,L1,L2);
```

# CAÑÓN DE AIRE COMPRIMIDO

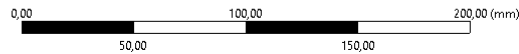
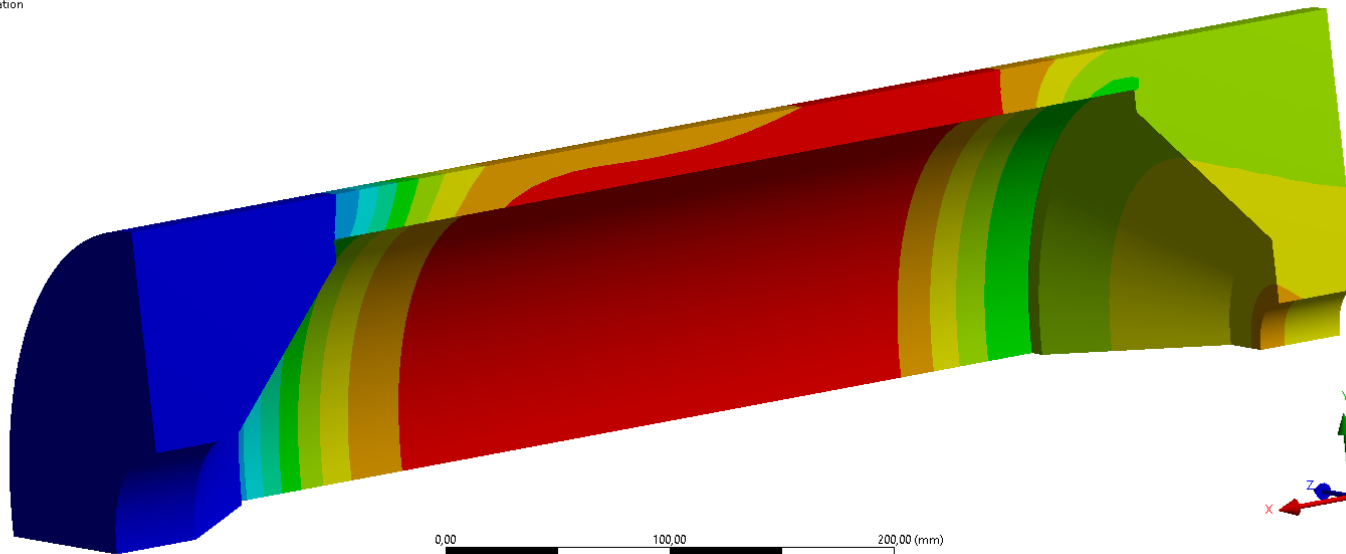
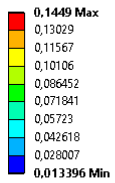


# CAÑÓN DE AIRE COMPRIMIDO





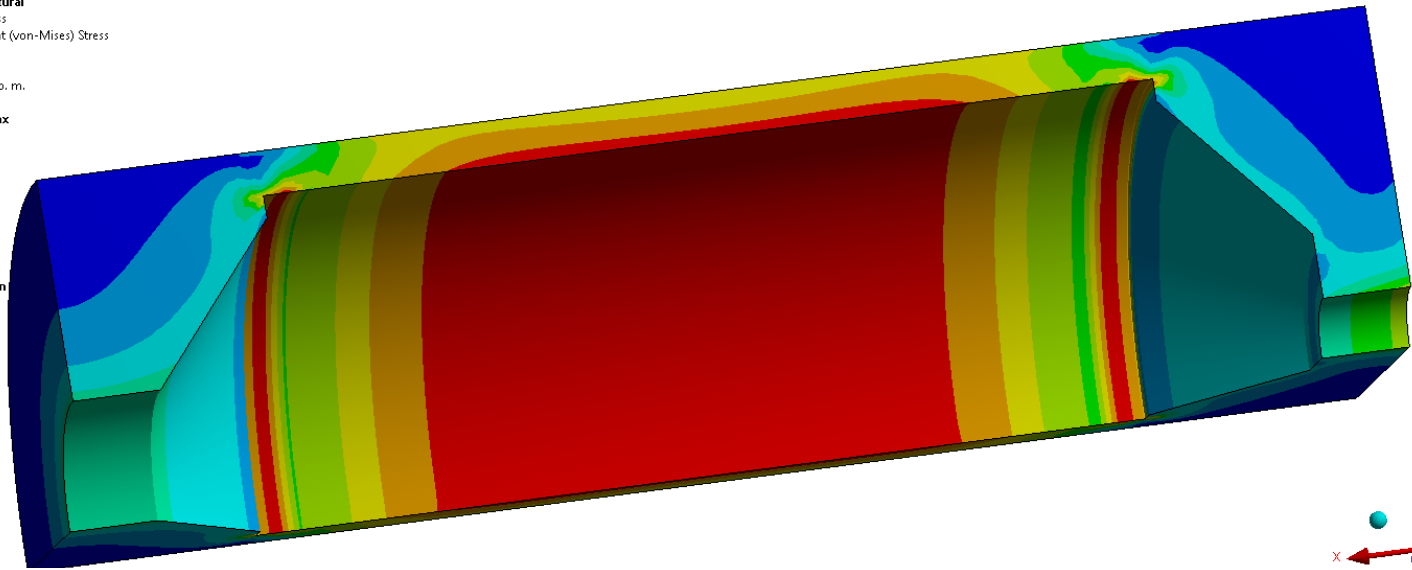
**B: Static Structural**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
15/5/2017 6:46 p. m.



# CAÑÓN DE AIRE COMPRIMIDO

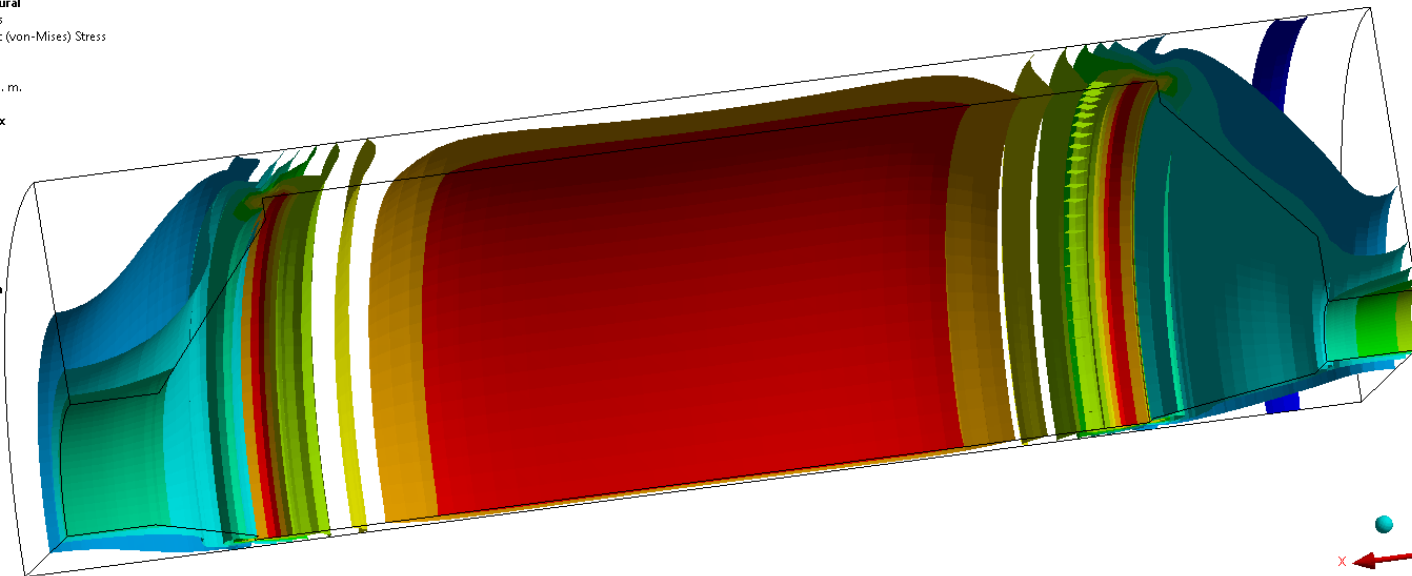
**B: Static Structural**  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: MPa  
 Time: 1  
 15/5/2017 6:25 p. m.

223,38 Max  
 199,97  
 176,56  
 153,15  
 129,74  
 106,33  
 82,925  
 59,515  
 36,105  
 12,696 Min

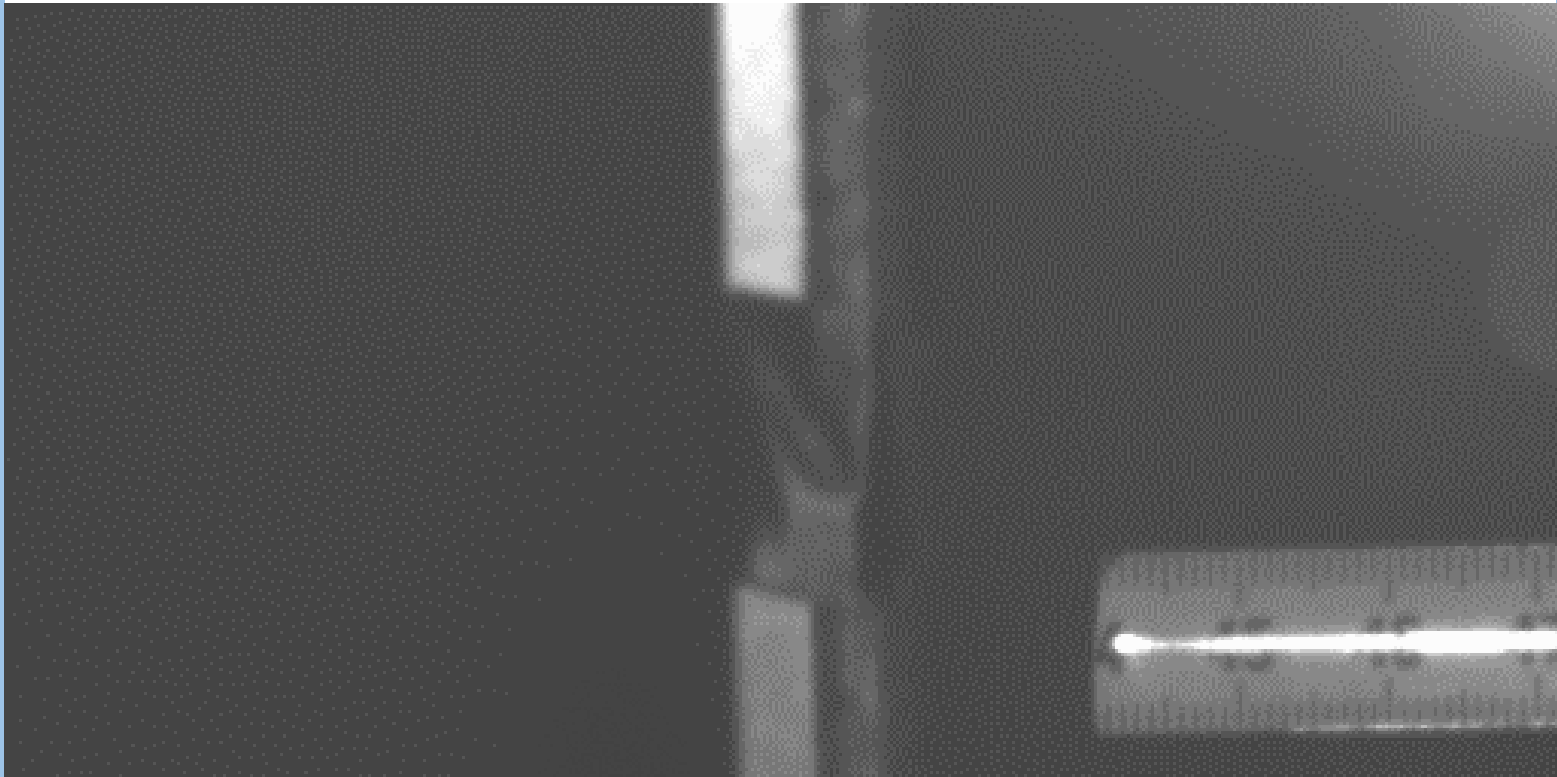


**B: Static Structural**  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: MPa  
 Time: 1  
 15/5/2017 6:29 p. m.

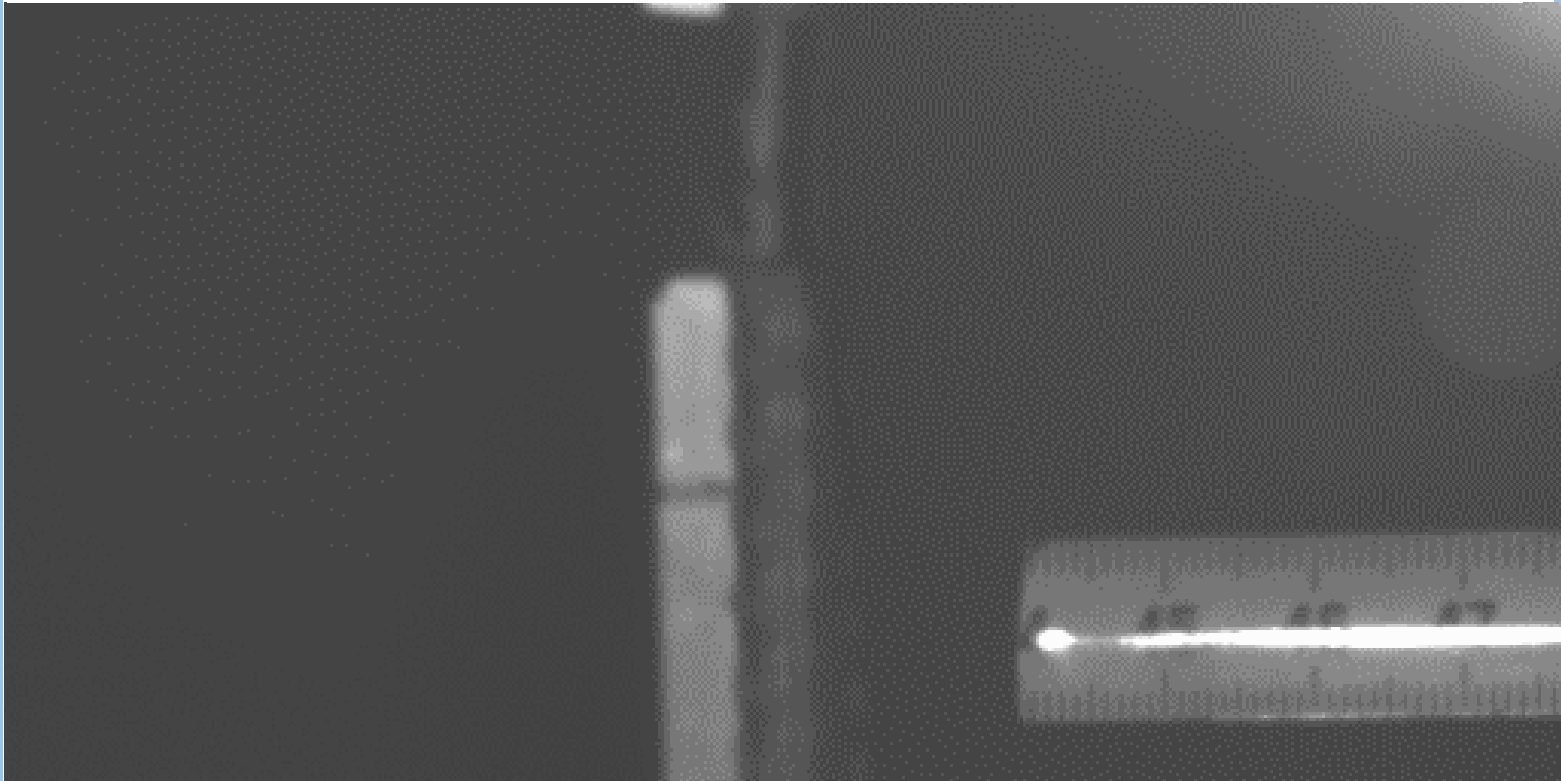
223,38 Max  
 199,97  
 176,56  
 153,15  
 129,74  
 106,33  
 82,925  
 59,515  
 36,105  
 12,696 Min



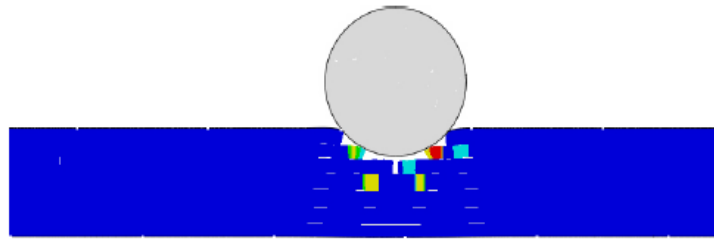
- Ensayos de la UPM



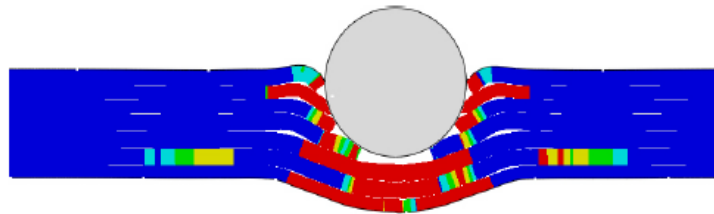
- Ensayos de la UPM



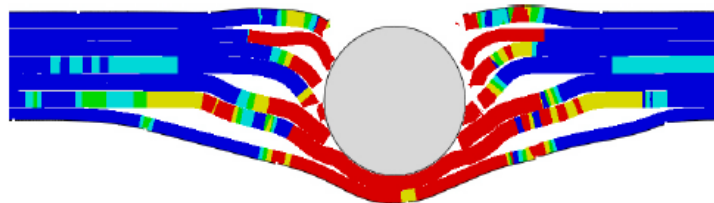
# CAÑÓN DE AIRE COMPRIMIDO



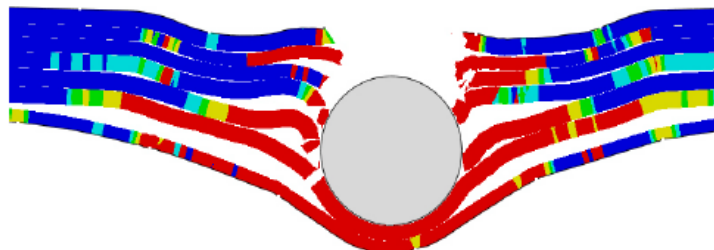
(a)  $t=0.004$  ms



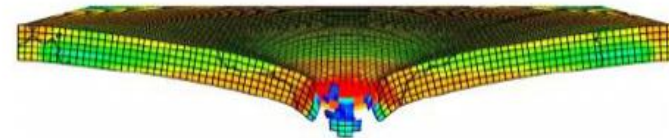
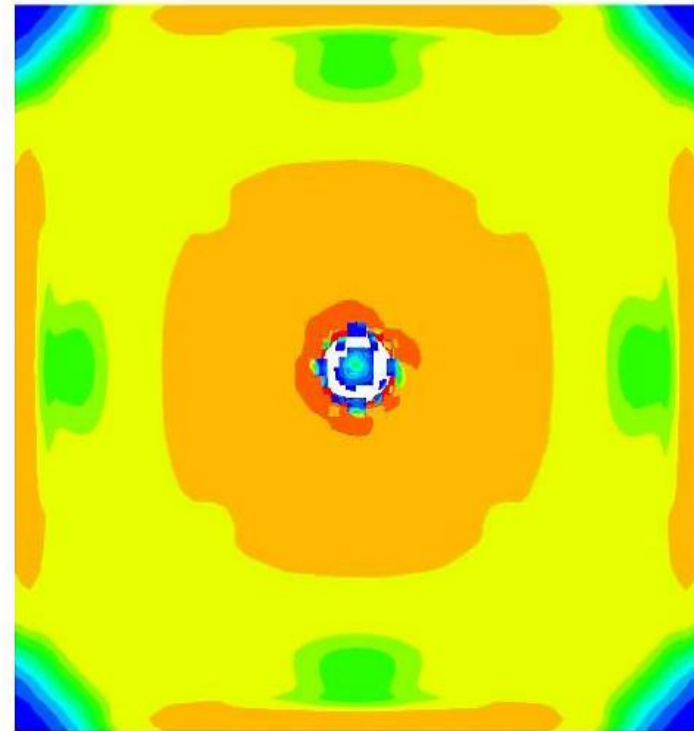
(b)  $t=0.01$  ms



(c)  $t=0.02$  ms



(d)  $t=0.04$  ms





GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN

**PREGUNTAS???**