



Innovation in research and engineering education:  
key factors for global competitiveness  
*Innovación en investigación y educación en ingeniería:  
factores claves para la competitividad global*

# SISTEMAS DE PROTECCIÓN BALÍSTICA BASADOS EN MECANISMOS DE AMARRE DE FIBRA DE VIDRIO

**Julián Portocarrero Hermann, Jorge Maldonado Villa**

**Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”  
Cali, Colombia**

**St. Camilo Adolfo Serrano Lemos, St Didier Julián Novoa González, St. César Humberto Yela Acosta**

**Fuerza Aérea Colombiana**

## Resumen

La seguridad es un tema central para la Fuerza Aérea Colombiana y, con el fin de lograr esto, es necesario un sistema de protección balística, que es un elemento esencial en el contexto del conflicto armado que se vive en Colombia.

Este documento presenta los sistemas de blindaje desarrollados que se basan en el principio de la zona dura y blanda, en la que el primero está formado por una matriz de polímero en partículas de material compuesto reforzado con polvos de alta dureza como polvos cerámicos y por la industria del acero y la zona blanda es compuesto de fibra de vidrio de fibras unidireccionales que actúan como un mecanismo de sujeción de la cabeza nuclear y una posteriores capas de fibra de aramida.

Se han encontrado que una zona duro del sistema de capas múltiples aumenta la capacidad de absorción de energía de más del 15%, para obtener una cabeza de combate con una mayor área de contacto al entrar en la zona blanda. En la zona blanda, el uso de fibra de aramida se redujo en más de 20%, utilizando una fibra unidireccional actuado como un mecanismo de amarre o enredo sin afectar la protección balística nivel III de acuerdo con las normas y requisitos de grosor y peso, solicitada por el FAC NIJ. El artículo presenta el proceso de fabricación, caracterización de materiales, balística de evaluación, donde las especificaciones técnicas de las placas extremas densidades presentaron rangos de protección balística 40 - 46Kg/m<sup>2</sup> con un grosor de unos 3 cm de profundidad de penetración de menos de 5 cm y una protección balística a nivel III según la norma NIJ.

**Palabras clave:** sistema de protección balística; materiales compuestos; materiales multilaminares; Norma NTMD-0225-A3; Norma NIJ

### **Abstract**

*Security is a main topic for Colombian Air Force and, in order to accomplish that, is necessary a ballistic protection system, which is an essential element in the context of the armed conflict that exists in Colombia. This paper presents the shielding systems developed which are based on the principle of hard and soft zone area, in which the first is formed by a particulate composite polymer matrix reinforced with high hardness powders as ceramic powders and by the steel industry and the soft zone is comprised of unidirectional fiber glass fiber which act as a clamping mechanism of the warhead and a subsequent layers of aramid fiber.*

*Found that a multilayered system hard area increases energy absorption capacity over 15%, to obtain a warhead with greater contact area upon entering the soft zone. In the soft zone, the aramid fiber use fell by more than 20%, using a unidirectional fiber acted as a mooring or entanglement mechanism without affecting the level III ballistic protection according to NIJ standards and requirements of thickness and weight, requested by the FAC. The paper presents the manufacturing process, materials characterization, evaluation ballistics, where the technical specifications of the end plates densities presented ranges ballistic protection 40 - 46Kg/m<sup>2</sup> with thickness of about 3cm deep penetration less than 5 cm and ballistic protection level III according to standard NIJ.*

**Keywords:** *ballistic protection system; composite materials; multilayered materials; NTMD-0225-A3 standard; NIJ standard*

## **1. Introducción**

La tasa de homicidios en Colombia para el año 2010 llego a 38,36 por cada 100.000 habitantes, y actualmente en la ciudad de Cali se registra que el 90% de los asesinatos ocurridos son cometidos con armas de fuego. Estos altos índices de inseguridad que afronta el país han hecho que las Fuerzas Miliars y de Policía tomen medidas para evitar que grupos al margen de la ley logren su actuar delictivo. Actualmente es imperativo preservar la vida del personal militar que presta servicios de seguridad, ahora en el caso de la Fuerza Aérea Colombiana “FAC” sus miembros se exponen a sufrir impactos de tipo balístico no solo en sus misiones en contra de la insurgencia y la delincuencia, también están expuestos cuando realizan patrullaje tanto alrededor como al interior sus instalaciones. Por esta razón la FAC se ve en la necesidad de dotar a su personal con sistemas de protección balística persona, con el fin de garantizarle una seguridad para que así pueda darle cumplimiento a la misión encomendada.

Los continuos avances en los sistemas de armas han implicado el diseño de mejores sistemas de blindaje, con el objetivo de proteger a los individuos y preservar la vida de estos, es una necesidad para las Fuerzas Militares el uso de sistemas de protección balística, pero dichos elementos de seguridad poseen elevados costos.

La elaboración de sistemas de protección balística por parte de la FAC, se ha convertido en un objetivo alcanzable gracias a los estudios e investigaciones efectuadas en el área de blindajes por parte del personal de investigadores, profesores y alumnos de ingeniería mecánica del Grupo de Investigación en Estudios Aeroespaciales “GIEA”, que se han interesado en el objeto de estudio; la implementación de materiales compuestos; polvo cerámico, residuos cerámicos industriales, resinas, y fibra de vidrio, empleados para construir una zona rígida con muy buenas propiedades mecánicas, idóneas de potenciar la capacidad de deformación de la ojiva y absorción de gran parte de energía al momento del impacto, mientras que la zona

blanda fabricada con fibras de arámida y fibras de vidrio E, tejidos de fibras poliéster de alta resistencia y adherentes a base de cloropreno en conjunto con que hacen un conjunto capaz de reducir la energía cinética residual de los fragmentos, reteniendo por completo la ojiva por diferentes métodos entre los que se encontró un sistema de amarre de la ojiva sobre las fibras, generando el menor trauma posible y preservando la vida del personal que lo porta.

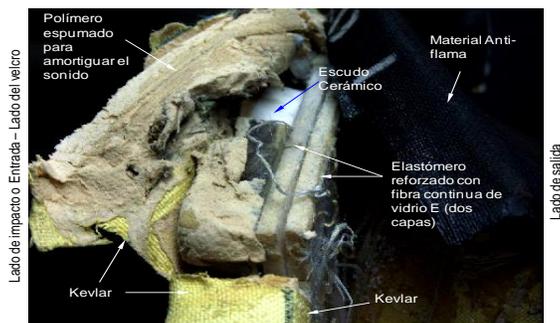
## 2. Referente teórico

**2.1. Balística.** Es la ciencia encargada de estudiar el movimiento de todo proyectil en general y en especial los lanzados por arma de fuego. La balística tiene que ver en particularmente con proyectiles disparados por cañones o armas ligeras. Esta analiza el movimiento de un proyectil desde el momento del disparo hasta su impacto en el blanco, se divide en tres fases distintas, a saber: balística interior, que estudia el movimiento del proyectil mientras se encuentra dentro del cañón; balística exterior, que considera el movimiento del proyectil desde el momento en que abandona el cañón hasta que alcanza el blanco, y balística terminal o de efecto, que analiza el efecto del proyectil sobre el blanco, cuando impacta sobre una persona a esta balística se llama balística criminalística.

El impacto balístico según Zukas, es la colisión entre un proyectil y un objetivo a una velocidad tal que debe considerarse efectos Inerciales y la propagación de ondas de tensión en el material. Se trata de un proceso en el cual no existe una situación de equilibrio, y en consecuencia distintas zonas de la estructura impactada pueden ser sometidas a estados tensionales muy diferentes.

**2.2. Sistemas de protección balística.** Los sistemas de protección balística realizados con materiales compuestos, pueden ser elaborados en una variedad de formas; modificando el tipo de configuraciones o simplemente mejorando el proceso de fabricación; las fibras compuestas ligeras y reforzadas tales como aramida y polietileno de ultra alto peso molecular, actualmente proveen productos para protección ante proyectiles de baja (0-10m/s) y alta velocidad (100-1000m/s) en diferentes campos de acción. Mientras los materiales cerámicos por si solos no representan protección efectiva, al ser combinados con metales y/o polímeros se ha encontrado que poseen inigualables propiedades mecánicas siendo empleados principalmente en sistemas de protección personal con amplias posibilidades de conformación compitiendo con el acero. Las placas de cerámica denominada (zona rígida del blindaje), combinadas con un número de capas de tejido de aramida, fibras de polietileno UHMW y otras fibras (zona de blindaje blando) pueden detener gran variedad de proyectiles, ver Figura 1.

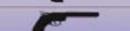
Figura 1. Componentes básicos de un blindaje.



Fuente: Grupo de Investigación en Estudios Aeroespaciales "GIEA", 2009.

**2.3. Niveles de protección balística.** Para realizar la clasificación de los niveles de blindaje se toma como referencia la Norma NTMD-0225-A3 que a su vez toma como antecedente lo establecido en la norma técnica del Instituto Nacional de Justicia de los Estados Unidos de América “NIJ Standard-0101.06 Ballistic Resistance Of Body Armor, y que por necesidades institucionales la presente norma se aparta en algunos aspectos de lo exigido en la norma citada. La norma NIJ 0108.01 la cual se utiliza para materiales protectores resistentes a impactos balísticos determina el tipo de amenaza (nivel) a la que debe ser resistente cada material y especifica además los parámetros de las municiones y armas que deben ser empleadas para las pruebas. Según las normas técnica del Instituto Nacional de Justicia de los Estados Unidos para Chalecos Blindados, NIJ Standard 0101.03 y NIJ Standard 0101.04. Revisión “A”, los blindajes personales se clasifican en siete niveles de acuerdo con su resistencia balística así: nivel I, II A, II, III A, III, IV y especial, ver figura 2.

Figura 2. Clasificación de los tipos de blindaje según el Instituto Nacional de Justicia de EEUU Norma NIJ Standard 0101.04.

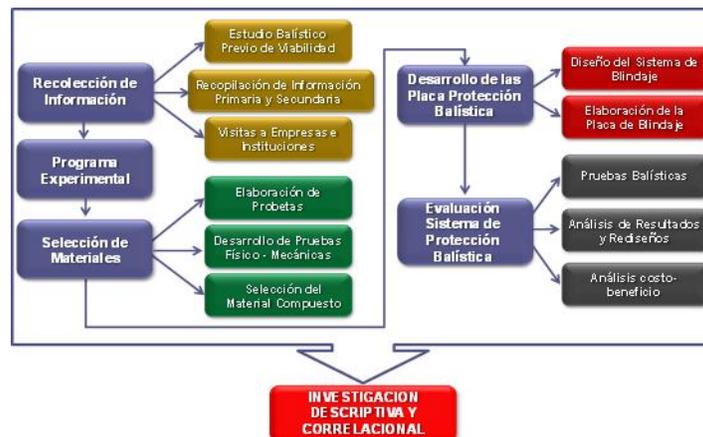
Nivel	Tipo de arma	Calibre	Munición	Masa (grains)(gramos)		Velocidad (ft/s)		Distancia (m)	No. de Impactos
I		22 LRHV	.38 Special	Lead	40 gr	2.6 g	1050+/-50	320+/-12	5
					158 gr	10.2 g	850+/-50	259+/-15	
IIA		.357 Magnum	JSP	FMJ	158 gr	10.2 g	1250+/-50	332+/-12	5
					124 gr	8.0 g	1090+/-40	381+/-15	
II		.357 Magnum	JSP	FMJ	158 gr	10.2 g	1395+/-50	425+/-15	5
					124 gr	8.0 g	1175+/-40	358+/-12	
IIIA		44 Magnum	Lead SWC gas Checked	FMJ	240 gr	15.55 g	1400+/-50	426+/-15	5
					124 gr	8.0 g	1400+/-50	426+/-15	
III		7.62 x 51	.308FMJ	FMJ	150 gr	9.7 g	2750+/-50	838+/-15	5
					166 gr	10.8 g	2750+/-50	838+/-15	
IV		7.62 x 63	.30-06AP					15	1

Fuente: Niveles de Protección Balística. [Sitio de Internet] ENGARDESPAIN. Disponible en: <http://www.engardespain.com/en/faq.htm> Acceso el 23 mayo de 2009.

### 3. Metodología

Con el fin de alcanzar los objetivos ideados para el proyecto, se propone un desarrollo metodológico con un proceso de avance secuencial dividido en etapas de investigación, el cual se aprecia en la figura 3, esto hace que el proyecto se realice como una investigación de tipo descriptivo en la cual se especifican las características más relevantes para caracterizar el material.

Figura 3. Metodología.



#### 4. Desarrollo y resultados

**4.1. Desarrollo de pruebas preliminares.** Para la selección del proceso de fabricación placa dura, se elaboraron una serie de probetas para ensayo de impacto, como se aprecia en la tabla 1; estas probetas fueron sometidas a un proceso de curado durante 6 horas en horno a una temperatura controlada de 60°C, de igual forma se realizaron 10 ensayos de tracción, probetas con diferentes configuraciones para definir la mejor opción a utilizar en la zona dura del sistema de protección balística. En la tabla 2 se observa las configuraciones que se utilizaron para realizar los ensayos de tracción para la elaboración de estas también se realizó un curado durante 6 horas en horno a una temperatura controlada de 60°C; en las figuras 2 a 4.

Tabla 1. Resultados Prueba de Impacto en probetas curadas 6 horas a 60°.

FACTOR DE ESTUDIO				VARIABLES DE RESPUESTA	
Matriz	Refuerzo	Método de mezcla	Porcentaje de refuerzo (%)	Impacto (J)	Promedio (J)
Poliéster	Nulo	Manual	0	0,248	0,23
				0,198	
				0,234	
	Polvo cerámico	Manual	60	0,782	0,72
				0,718	
				0,651	
		Taladro	60	0,915	0,95
				0,94	
				0,981	
	Polvo cerámico y fibra vidrio corta	Taladro	62	0,915	0,97
				1,025	
				0,97	
	Polvo cerámico	Taladro	70	1,234	1,32
				1,411	
				1,325	
	Polvo cerámico y fibra corta	Taladro	70	1,456	1,44
				1,42	
				1,432	

Tabla 2. Configuraciones de las probetas para prueba de tensión.

Fibra de Vidrio	F.V.
Resina poliéster	R.P
Resina poliéster + polvo cerámico	R.P.P
Resina poliéster + polvo cerámico + fibra de vidrio corta 5mm	R.P.P.F

Figura 4. Resultados ensayo R.P.

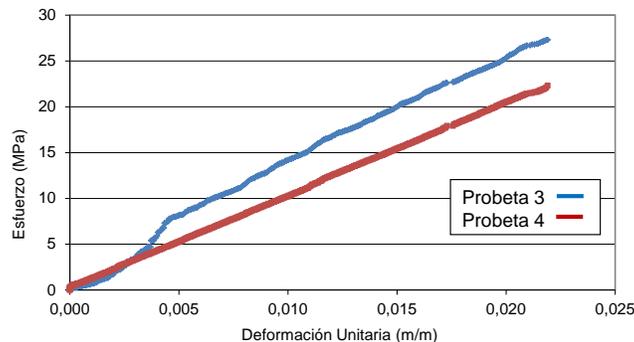


Figura 5. Resultados ensayo R.P.P.

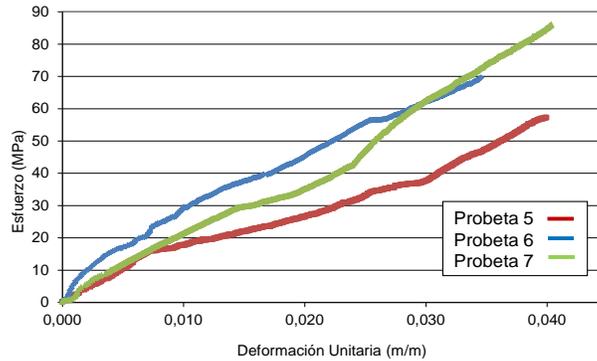


Figura 6. Resultados ensayo R.P.P.F.

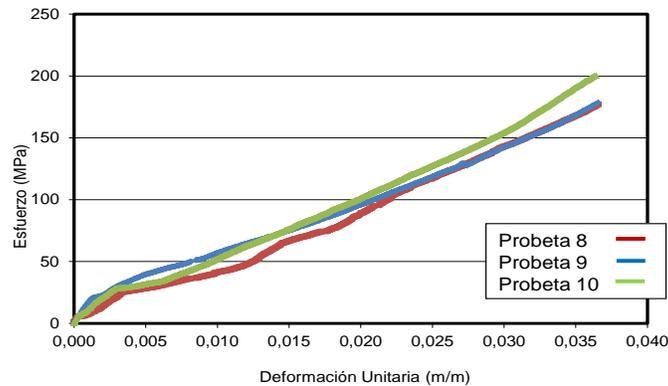


Tabla 3. Resultados Promedios del Módulo de elasticidad (E), Esfuerzo último ( $\sigma_{ut}$ ), Deformación unitaria con el promedio ( $\epsilon$ ), Coeficiente de correlación (R).

PROBETA	E	$\sigma_{ut}$	$\epsilon$	R
F.V.	10390,8	87,85	0,0086	0,99
R.P.	1139,3	24,6	0,02175	0,99
R.P.P.	1980,3	86,44	0,0416	0,99
R.P.P.F	4714,7	183,67	0,0363	0,99

Como se puede apreciar en la tabla 1 el proceso de mezcla por mecanizado da mejores resultados en la absorción de energía de impacto y que adicionalmente el adicionar un pequeño porcentaje de fibra de vidrio mejora la absorción de energía (8,59%), adicionalmente en la tabla 3 se aprecia que esta fibra también mejora el módulo de elasticidad (238%) y la resistencia mecánica (212%), con respecto a la misma condición sin el refuerzo. Ahora la utilización de fibra de refuerzo dificulta bastante el proceso de fabricación.

Con base en los resultados anteriores y en la búsqueda de mejorar el proceso de fabricación se utilizó la siguiente relación resina al 30 % y 70% de refuerzo, variando los procesos de fabricación como se aprecia en la tabla 4, los resultados de las pruebas aparecen en las figuras 5 y 6.

Tabla 4. Matriz de Composición de las probetas para el ensayo de impacto.

PROCESOS	AGITADOR		VACÍO		VIBRACIÓN	
	MANUAL	EQUIPO	SI	NO	MANU	EQUIPO
MANUAL AGITADOR		XXXX	P1,P2	P3,P4	P1,P4	P2,P3
EQUIPO AGITADOR	XXXX		P5,P6	P7,P8	P5,P7	P6,P8
VACÍO SI	P1,P2	P5,P6		XXXX	P1,P5	P2,P6
VACÍO NO	P3,P4	P7,P8	XXXX		P4,P7	P3,P8
VIBRAMAN	P1,P4	P5,P7	P1,P5	P4,P7		XXXX
VIBRAEQU	P2,P3	P6,P8	P2,P6	P3,P8	XXXX	

Fuente: Autores.

Nota: P: Probeta

P1: MANUAL AGITADOR +VACIO+VIBRACION MANUAL

P2: MANUAL AGITADOR+VACIO+VIBRACION EQUIPO

P3: MANUAL AGITADOR+VIBRACION EQUIPO

P4: MANUAL AGITADOR+VIBRACION MANUAL

P5: EQUIPO AGITADOR+VACIO+VIBRACION MANUAL

P6: EQUIPO AGITADOR+VACIO+VIBRACION EQUIPO

P7: EQUIPO AGITADOR+VIBRACION MANUAL

P8: EQUIPO AGITADOR+VIBRACION EQUIPO

Figura 7. Comparación de probetas sometidas a tracción

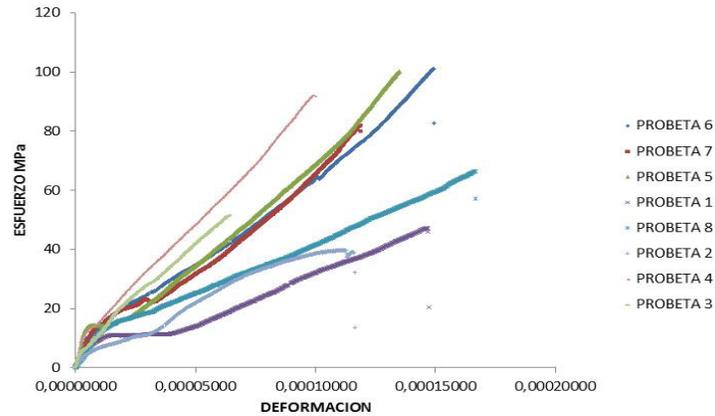
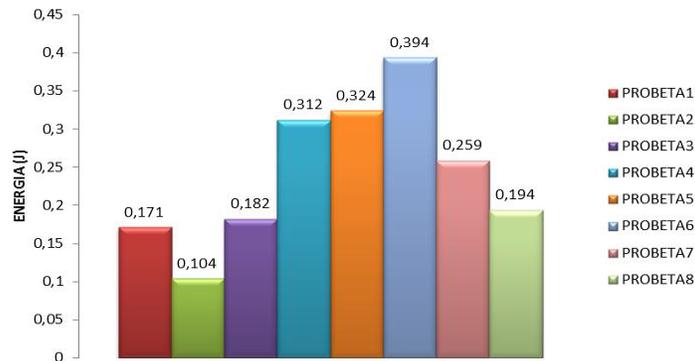


Figura 8. Resultado prueba de impacto



Los resultados anteriores muestran la ventaja de producir las placas con equipo agitador + vacío + vibración equipo.

**4.2. Análisis superficial con Elementos Finitos.** Para determinar el funcionamiento de la parte superficial del sistema de protección balística se analizó mediante elementos finitos la comparación en el comportamiento de las formas superficiales tomando como base de decisión las deformaciones sufridas al aplicar una fuerza (impacto). También se toma el criterio de deformación de Von Mises en donde brinda la información de total deformación.

La teoría de la energía de distorsión, también conocida como teoría de Von Mises, es mejor para materiales dúctiles y uniformes, cuya resistencia a compresión y a tensión son más o menos los mismos y cuya resistencia a cortante es menor que sus resistencias tensión. Se considera que estos materiales fallan por esfuerzo cortante, y la teoría de la energía de distorsión prevé mejor su falla

Figura 9. Simulación impacto balístico central mediante criterio de von Mises Esfuerzos generados en una placa de forma superficial convencional (plana).

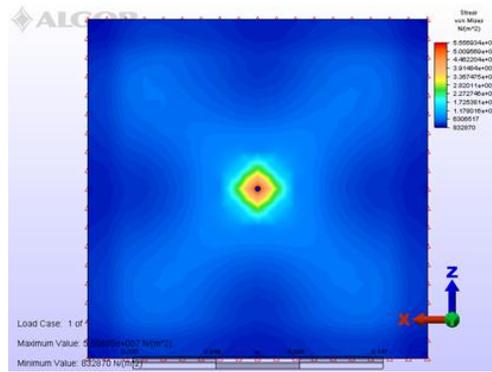


Figura 10. Deformación placa cerámica plana

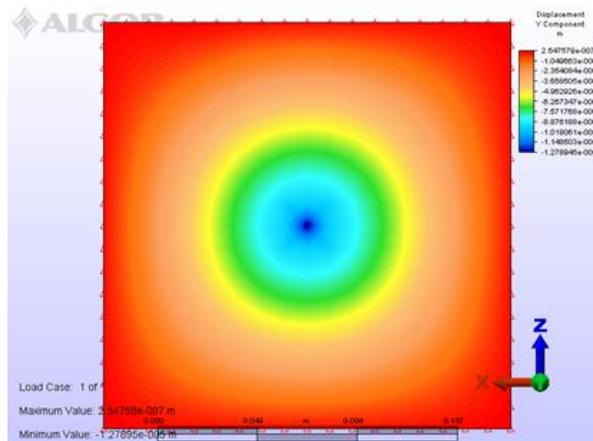


Figura 11. Simulación impacto balístico central mediante criterio de von Mises Esfuerzos generados en una placa de forma superficial curva.

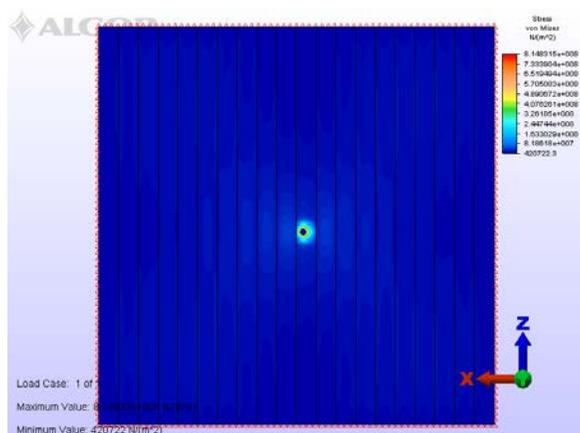
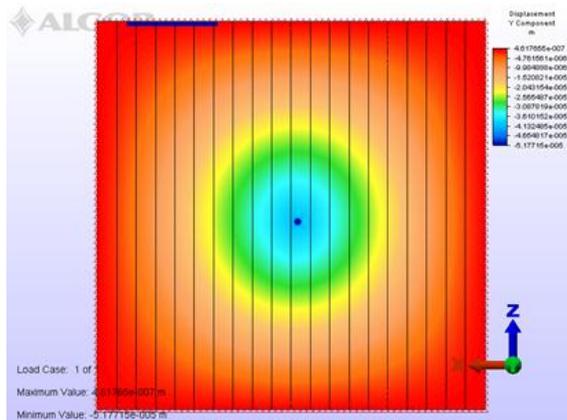


Figura 12. Deformación placa cerámica curva



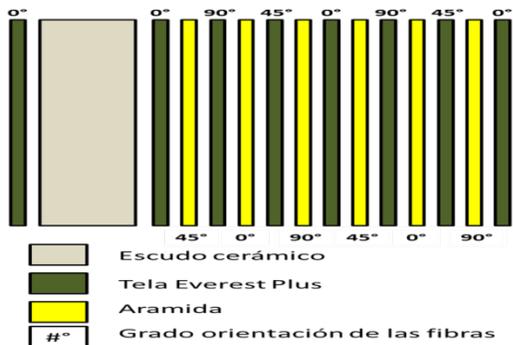
De los resultados anteriores se puede concluir que la superficie curva tiene una capacidad de absorción de energía mucho mayor que la superficie plana debido a que la forma circular disipa la energía de impacto hacia los lados y no cubre toda la superficie de la placa cerámica, cosa que no ocurre con la superficie plana ya que esta transfiere el esfuerzo por toda la placa haciendo que esta sufra en un mayor porcentaje y tenga una probabilidad más alta de que no soporte un siguiente impacto.

**4.3. Desarrollo del sistema de protección balística.** Durante el desarrollo de los Sistemas de Protección Balística fue de vital importancia recopilar información de los trabajos anteriores que han realizado estudios sobre elaboración de placas de blindaje manufacturadas a partir de materiales compuestos. Partiendo de este análisis se procedió a construir 1 placa modelo con unas características específicas, capas de retener proyectiles calibre 9 x19 mm buscando conseguir un Nivel de protección IIIA

**Placa de blindaje No.1.** Para la elaboración de la zona dura (Escudo Cerámico, ver Figura 1), se emplearon los siguientes materiales; polvo cerámico, resina poliéster P-115 y fibra de vidrio picada. Distribuyendo el peso así; 196 gramos de polvo cerámico, 96 gramos de resina poliéster y 9 gramos de fibra de vidrio, para un equivalente porcentual de; 65% polvo cerámico, 32% resina poliéster y 3% de fibra de vidrio. la placa de blindaje No. 1 está conformada por una placa monolítica de 0,6cm de espesor

- La zona blanda del blindaje es de 15 cm x 15 cm y un espesor de 0,5cm; está conformada por 6 láminas de fibra aramida y 6 láminas de tela de alta resistencia Everest Plus y tiene un peso de 135 gramos (ver Figura 2).

**Figura 13. Configuración Placa de blindaje 1**



Fuente: Autor.

- La prueba balística a la placa de blindaje No. 1 (Ver Figura 3) se realizó a una temperatura de 28 grados centígrados, una humedad relativa de 38% y viento en calma, se utiliza munición de 9x19mm encamisada de uso militar. Debido a las dimensiones que tiene la placa 15x15 cm se realizan 3 impactos ubicándolos con una tolerancia de 19 mm respecto al borde y una distancia entre impacto ubicados dentro de un círculo de 100 mm de diámetro, cumpliendo así con los requisitos de distancia mínima exigidos en la Norma NTMD-0225-A3.

**Figura 14 Pruebas balísticas Placa de blindaje 1**



Fuente: Autor.

**Figura 15 Distancia de impacto y trauma generado en la Placa de blindaje 1**

Distancia de impacto	Orden de impacto	Trauma generado	Trauma máx. resiste cuerpo humano	Trauma máx. establece Norma NTMD-0225-A3
A 15 metros de distancia	1 ro.	8.98 mm	44 mm	35 mm
A 10 metros de distancia	2 do.	7.28 mm		
A 5 metros de distancia	3 ro.	6,8 mm		

Fuente: Autor.

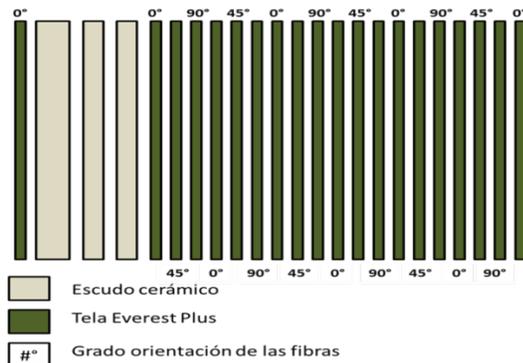
La placa detuvo los 3 impactos realizados consiguiendo un nivel de protección balística Nivel 3.

Una vez conseguido el Nivel de protección balística IIIA el cual era uno de los objetivos del presente trabajo de grado, se continuó en búsqueda de conseguir un nivel de protección más elevado (Nivel III), construyendo 3 nuevos modelos de placas con diferentes configuraciones cada una.

### 3.1.2 Placa de blindaje No.2.

- Para la elaboración de la zona dura se emplearon los siguientes materiales; polvo cerámico, resina poliéster P-115 y fibra de vidrio picada. Distribuyendo el peso así; 508 gramos de polvo cerámico, 250 gramos de resina poliéster y 24 gramos de fibra de vidrio, para un equivalente porcentual de; 65% polvo cerámico, 32% resina poliéster y 3% de fibra de vidrio. la placa de blindaje No. 2 tiene 1,6 cm de espesor; compuesta por 1 capa de 0,6 cm y 2 capas de 0,4 cm cada una, unidas para formar una multicapa (Ver Figura 4)
- Se modificó la configuración de la zona blanda del blindaje No. 2 implementando únicamente tela de alta resistencia Everest Plus con el objetivo de buscar mejora en los procesos de retención de esquirlas a un costo mucho más bajo que el conseguido empleando aramidias. En esta zona del blindaje se llevó a cabo un proceso de laminado con orientación de fibras: 0°, ±45°, 90°. (Ver Figura 4)

Figura 16. Configuración Placa de blindaje 2

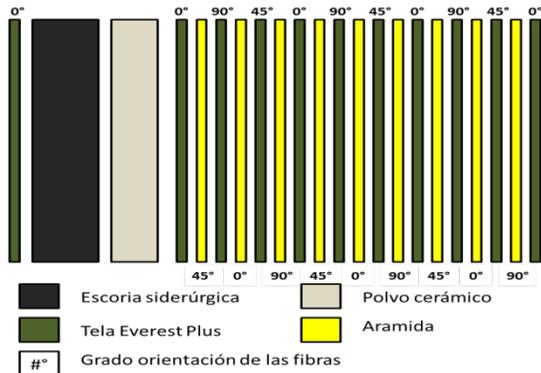


Fuente: Autor.

### 3.1.3 Placa de blindaje No.3.

- Para la elaboración de la zona dura de la placa de blindaje No.3 se optó por elaborar una capa con residuos cerámicos industriales; para analizar el comportamiento que tenía este material sobre el proyectil al momento del impacto, pero sin dejar de lado el polvo cerámico con el cual se elaboró la segunda capa de la zona dura de esta placa de blindaje (Ver Figura 5).
- Para la elaboración de la zona blanda de esta placa se volvió a implementar las aramidias debido a que en los resultados obtenidos en la placa anterior se observó que el proyectil quemaba la tela de alta resistencia si se empleaba sola. (Ver Figura 5)

Figura 17. Configuración Placa de blindaje 3

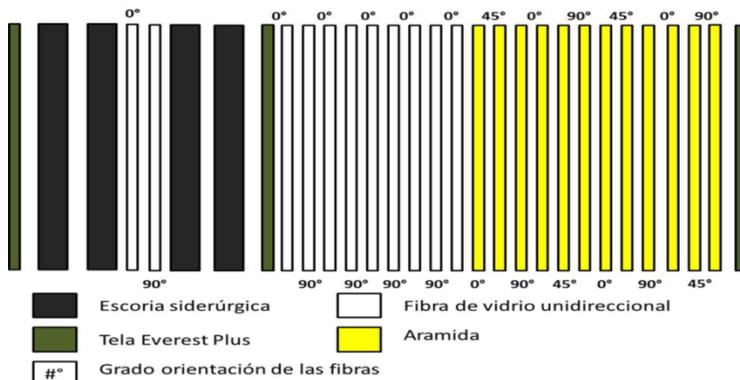


Fuente: Autor.

### 3.1.4 Placa de blindaje No.4.

- Para la elaboración de la zona dura de esta placa de blindaje únicamente se utilizó residuos cerámicos industriales pero manteniendo el característico multicapa (Ver Figura 6).
- En la configuración de la zona blanda de esta placa se implementó fibra de vidrio unidireccional, basado en resultados obtenidos en el trabajo de grado de las St. Sanjuán y Urrea donde se observó un mecanismo de enmarañamiento de la ojiva (Ver Figura 6).

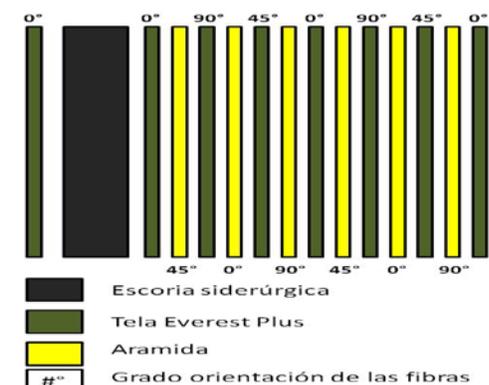
Figura 18. Configuración Placa de blindaje 4



Fuente: Autor.

Se realizaron las pruebas balísticas para las pacas de blindaje No. 2, No. 3, y No. 4 impactando con munición calibre 5.56 con núcleo en acero, disparadas con fusil Galil, para obtener un Nivel de blindaje III, pero el proyectil atravesó el sistema de blindaje.

Al analizar la información recopilada debido al buen comportamiento que presentó la zona blanda de placa de blindaje No. 1 y las sobresalientes propiedades mecánicas que presentan los residuos cerámicos industriales y considerando su comportamiento en las pruebas balísticas y las pruebas mecánicas por impacto (Prueba Charpie), se opta por construir un sistema de protección balística Nivel IIIA con la siguiente configuración:

**Figura 19. Configuración sistema de blindaje Nivel IIIA**

Fuente: Autor.

**Figura 20. Sistema de protección balística Nivel IIIA Desarrollado en la EMAVI**

Fuente: Autor.

## Conclusiones

- La implementación de los residuos cerámicos industriales aportan muy buenas propiedades mecánicas, mejorando la resistencia de los paneles balísticos, proporcionando a la placa un mejor desempeño optimizando la absorción de energía logrando deformar en mayor proporción el proyectil.
- La tecnificación de los procesos de manufactura mejora ostensiblemente las propiedades mecánicas de los sistemas de protección balística; con la utilización de la maquina embutidora en el proceso de curado se logra obtener una placa mucho más compacta eliminando en gran cantidad poros de aire acumulados. Y con el uso del horno térmico en el proceso de post-curado se consigue que la resina alcance a desarrollar la reacción química por completo
- La placa de blindaje No. 1 que se diseñó cumplió con el objetivo propuesto en el trabajo de grado, mas sin embargo en búsqueda de conseguir un Nivel de blindaje mucho más elevado (Nivel tipo III Y Nivel tipo IV) se realizaron avances significativos utilizando diferentes configuraciones que permiten ampliar mucho más este campo de investigación.
- Con el fin de lograr un Nivel de Blindaje III y IV. Se estudió el comportamiento de los sistemas multicapa encontrando que presentan un mejor comportamiento al impacto, aumentando la absorción de energía en la fractura en cuanto se refiere a protección balística.
- El nivel de blindaje conseguido y el sistema de protección balística Nivel IIIA construido se ciñe a las Normas NTMD-0028-A6 y NTMD-0225-A3, la cual establece los requisitos de desempeño mínimos y

los métodos de prueba para determinar la resistencia balística de las prendas antibalas de protección personal destinadas a proteger contra los disparos de armas de fuego.

- Las pruebas balísticas se llevaron al límite e inclusive superando las exigencias de la Norma Colombiana NTMD-0225-A3, emitida por el Ministerio de Defensa Nacional de la Republica de Colombia. Realizando tres impactos en una misma placa donde se consideraba que para las dimensiones que tenía era necesario realizarle un solo impacto.
- La zona rígida del sistema de protección balística cumple una función muy importante en referencia a la disminución del trauma generado a causa de un impacto balístico, ya que lo primordial de un sistema de este tipo es causarle el menor daño posible a la persona que lo porta.
- Se realizó una modificación en la zona blanda del blindaje incorporando telas de alta resistencia 100% poliéster de fabricación nacional reduciendo la utilización de las aramidas, llevando esta innovación al reducimiento de costos.

## Bibliografía

- Zukas J.A., Nicholas T., Swift H.F., Greszczuk L.B., Curran D.R. “ImpactDynamics” Ed. John Willey and Sons, 1982
- ASKELAND DONALD R. La ciencia e ingeniería de los materiales. Grupo editorial Iberoamérica 1987.
- HERNÁNDEZ, Víctor Hugo M.D., “Balística” Disponible en Internet: [www.geocities.com/HotSprings/Villa/6658/balistic.htm](http://www.geocities.com/HotSprings/Villa/6658/balistic.htm) 1997
- URBINA, Jonathan ST., y CARDONA, Edwin ST. Modificación del diseño de los sistemas de blindaje tipo III+ en puesto de seguridad de la Emavi para la reducción de la densidad. Escuela Militar de Aviación, 2010, p. 49.
- MELGAREJO V, M, “Estudio y caracterización de los materiales para el desarrollo de chalecos blindados para las tripulaciones de helicópteros de la FAC” EMAVI, 2007.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Sistemas de gestión de la calidad: fundamentos y vocabulario. NTC-ISO 9001. Bogota D.C.: El instituto, 2005. 35 p.
- NORMA TECNICA MINISTERIO DE DEFENSA. Ensayo Balístico para chalecos antibalas. NTDN-0225-A3. Ministerio de defensa Nacional, Colombia, 15 de Mayo de 2012, 5 p.
- NORMA TECNICA MINISTERIO DE DEFENSA. Ensayo Balístico para chalecos antibalas. NTDN-0028-A6. Ministerio de defensa Nacional, Colombia, 6 de Agosto de 2012, 7 – 14 p.
- Norma ASTM, Pruebas Ensayos de Impacto tipo Charpie para probetas de Materiales Compuestos. p,236
- NOTICIAS TERRA. [En línea]. Disponible en: <http://noticias.terra.com.co/nacional/colombia-tasa-de-homicidios-en-2010-fue-de-3836-por-100000-habitantes,826c6c38f9d81310VgnVCM4000009bf154d0RCRD.html>. Consultado el 27/09/2012
- EL PAIS. [En línea]. Disponible en: <http://www.elpais.com.co/elpais/judicial/noticias/con-armas-fuego-han-cometido-90-homicidios-cali> Consultad el 27/09/2012
- ST RAMÍREZ V., C. A.; MURILLO R., N. “Optimización de las Placas de Blindaje Desarrolladas en la EMAVI para la Reducción de Peso y Aumento de las propiedades Balísticas”. FAC. EMAVI. 2007. 109 P.
- ST. DÁVILA R., L. F.; ST. CALDERÓN M., A. J. “Desarrollo de un Blindaje para Helicópteros UH-60 en la Fuerza Aérea Colombiana”. FAC. EMAVI. 2007. 92 P.
- GROOVER P. Mikell, Fundamentos de manufactura moderna. John Wiley & Sons, Inc., Mexico .D.F. 2008.
- BESEDNJAK, Alejandro, Materiales compuestos, Procesos de fabricación de embarcaciones

- MELGAREJO, M. A.; Estudio y Caracterización de los Materiales para el Desarrollo de Chalecos Blindados. para la Tripulación de Helicópteros de las FAC. Santiago de Cali, Diciembre 2007. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). EMAVI
- CALDERON, Antonio, DAVILA, Luis. Desarrollo de un Blindaje para los Helicópteros UH 60 en la Fuerza Aérea Colombiana. Santiago de Cali, 2007. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). EMAVI.
- ABEDINI, Javier, “Balística”. [Sitio de Internet] FULLAVENTURA. Disponible en: [www.fullaventura.com.ar](http://www.fullaventura.com.ar) Copyright 2007. Acceso el 15 mayo de 2009.
- National Institute of Justice. NIJ 0108.01. U.S. Department of Justice. Office of Justice Programs. National Institute of Justice. Office of Science and Technology. Washington, DC 20531. 1979.
- National Institute of Justice. NIJ Standard 0101.03. U.S. Department of Justice. Office of Justice Programs. National Institute of Justice. Office of Science and Technology. Washington, DC 20531. 1987.
- National Institute of Justice. NIJ Standard 0101.04 U.S. Department of Justice. Office of Justice Programs. National Institute of Justice. Office of Science and Technology. Washington, DC 20531. 2001.
- Ministerio de Defensa Nacional. Norma NTMD-0225 Resistencia Balística para Chalecos Antibalas. República de Colombia. 2004.
- Ministerio de Defensa Nacional. Norma NTMD-0225 Resistencia Balística para Chalecos Antibalas. República de Colombia. 2004.
- PORTOCARRERO H., J. “Síntesis y Caracterización de MMC Obtenidos por el Proceso Osprey con Matriz de Al y Reforzamiento de Partículas de Carburos Dobles”. Propuesta tesis doctoral. Universidad del Valle. 2005.
- ASKELAND, Donald y PHULÉ, Praadeep. Ciencia e Ingeniería de los Materiales: características de los materiales compuestos reforzados con fibras. 4 ed. Méjico D.F: Thomson, 2006. 736 p. ISBN 0-534-95373-5
- LAWRENCE, Nielsen y ROBERT, Landel. Mechanical Properties of Polymers and Composites: strength and stress-strain behavior. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 1994. 408 p. ISBN 0-8247-8964-4
- SALOM, C; Masegosa, R. M. Fibras utilizadas en la fabricación de materiales compuestos avanzados. Revista De “Plásticos Modernos”. Volumen 80 # 534. Diciembre del 2000. pág. 661-672. Consulta: Noviembre del 2009.
- NÚRIA M, S. Tecnología de proceso y transformación de materiales. Ediciones UPC. 2005. Pág. 141-152.
- LANDA AVILES, G. Estudio experimental sobre el refuerzo a cortante de estructuras de hormigón mediante materiales compuestos. Universidad Politécnica de Catalunya. 22-02-2002
- Kevlar [Sitio de Internet] SIM.UCM. Disponible en: <http://cv1.sim.ucm.es/access/wiki/site/portal-9993602-1/kevlar.pdf> Acceso el 23 mayo de 2009
- SUIN S.A Catálogo de Resinas y Manual de Aplicaciones Poliéster, SUIN S.A. Suministros Industriales, [www.suinresinas.com](http://www.suinresinas.com). Consulta: Julio de 2009.

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)