

DESARROLLO DE PLACAS DE PROTECCIÓN BALÍSTICA EN MATERIALES COMPUESTOS CON SISTEMA MULTICAPAS PARA LA REDUCCIÓN DE PESO Y AUMENTO DE LAS PROPIEDADES BALÍSTICAS

Julián Portocarrero^{1}, Jorge Maldonado², Camilo Serrano³, Didier Novoa³, Cesar Yela³*

- 1: Ing. Mecánico Estudios Doctorales, Escuela Militar de Aviación EMAVI. Cali, Colombia.
2: Ing. de Materiales Doctor en Ing. con Énfasis en Ing. de Materiales, EMAVI. Cali, Colombia.
3: Oficiales Ing. Mecánicos. Fuerza Aérea Colombiana. Santiago de Cali, Colombia

* Contacto: julianportocarrero@gmail.com

RESUMEN

A causa del conflicto interno colombiano, las aeronaves para apoyo aéreo cercano y su tripulación requieren utilizar protección balística, para salvaguardar sus vidas, pero debido a las características generales de estos sistemas, como su elevado peso y su forma, se restringe su utilización. Este artículo presenta los sistemas de blindaje desarrollados en la EMAVI, los cuales se basan en el principio de sistemas multicapas con una zona dura de matriz polimérica reforzada con polvos cerámicos (uno de los cuales es un desecho industrial) y fibras cortas y una zona blanda a base de fibras de alta resistencia, ambas con diferentes configuraciones. Se realizaron pruebas mecánicas, para determinar la configuración de mejor desempeño y poder establecer los procesos de manufactura para elaborar los sistemas de protección balística. Se encontró que un sistema multilaminar en la zona dura aumenta la capacidad de absorción de energía entre un 10% a un 20%. En la zona blanda conformada por tejidos de fibras de poliamida aromática y de vidrio E, las cuales actúan como un mecanismo de amarre de la ojiva, se logró reducir en más de un 20% el uso de fibra de aramida, utilizando una fibra unidireccional que actuó como un mecanismo de amarre o enmarañamiento sin afectar el nivel III de protección balística según las normas NIJ y los requerimientos de espesor y peso, solicitados por la FAC. La profundidad de deformación en penetración inferior fue 4,5 cm y nivel III de protección balístico (norma NIJ).

Palabras Clave: *Sistemas de Protección Balística, Materiales Compuestos, Materiales Multicapas, Balística, Nivel de Protección Balística, Normas NIJ.*

ABSTRACT

Due to the Colombian internal conflict for close air support aircraft and its crew are required to use some type of ballistic protection to safeguard their lives, but because of the general characteristics of these systems, such as its weight and shape, its use is restricted. This paper presents the shielding systems developed in EMAVI which are based on the principle of multi-layer systems with a hard zone made of reinforced polymer matrix with ceramic powders (one of which is industrial waste) and short fibers, and a soft area based on high strength fibers, both with different configurations. In order to determine the best performing configuration and to establish the manufacturing processes with this set to produce ballistic protection systems, mechanical tests were carried out. It was found an increasing of energy absorption capacity between 10% to 20% in the multilayered system hard zone. In the soft zone composed of aromatic polyamide fibers and glass E, which acting as a clamping mechanism of the warhead, was possible to reduce

by more than 20% the use of aramid fiber, using a unidirectional fiber that 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 penetration depth of deformation was 4.5 cm lower and ballistic protection level III (NIJ).

Keywords: *Ballistic Protection Systems, Composite Materials, Multilayer Materials, Ballistics, Ballistic Protection level, NIJ Standards.*

1 1 INTRODUCCIÓN

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 balísticos, por esta razón la FAC se ve en la necesidad de dotar a su personal con sistemas de protección balística, 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, es una necesidad el uso de sistemas de protección balística, pero dichos elementos de seguridad poseen elevados costos. La investigación de sistemas de protección balística por parte de la FAC, se ha desarrollado en el programa de Ingeniería Mecánica del Grupo de Investigación en Estudios Aeroespaciales “GIEA”, que ha tenido como objeto de estudio la implementación de materiales compuestos con polvos cerámicos, residuos cerámicos industriales, resinas, y fibra de vidrio, empleados para construir una zona rígida, para deformación de la ojiva y absorción de gran parte de energía al momento del impacto, mientras que la zona blanda fabricada con fibras de aramida y fibras de vidrio E, tejidos de fibras poliéster de alta resistencia y adherentes a base de cloropreno, para reducir la energía cinética residual de los fragmentos, reteniendo la ojiva.

2 REFERENTE TEÓRICO

2.1 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. La norma NIJ 0108.01 la cual 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.

3 DESARROLLO Y RESULTADOS

3.1 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 curado durante 6 horas en horno a una temperatura controlada de 60°C, de igual forma se realizaron 10

ensayos de tracción, a 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 los ensayos de tracción, se realizó también un curado durante 6 horas en horno a una temperatura controlada de 60°C; en la Figura 1.

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 Promedio (J)
Poliéster	Nulo	Manual	0	0,23
	Polvo Cerámico	Manual	60	0,72
	Polvo Cerámico	Taladro	60	0,95
	Polvo Cerámico + Fibra Vidrio corta	Taladro	62	0,97
	Polvo Cerámico	Taladro	70	1,32
	Polvo Cerámico + Fibra Vidrio corta	Taladro	70	1,44

En la tabla 1 se observa que: el proceso de mezcla por mecanizado da mejores resultados en la absorción de energía de impacto, el adicionar un pequeño porcentaje de fibra de vidrio mejora la absorción de energía (8,59%), adicionalmente se aprecia que la 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 se utilizó resina al 30 % y 70% de refuerzo, como se aprecia en la tabla 3, los resultados de las pruebas aparecen en las Figura 2. Los resultados anteriores muestran la ventaja de producir las placas con equipo agitador + vacío + vibración equipo.

Tabla 2. Resultados Promedios del Módulo de elasticidad (E), Esfuerzo último (σ_{UT}), Deformación unitaria con el promedio (ϵ), Coeficiente de correlación (R)

PROBETA	E	σ_{ut}	ϵ	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

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

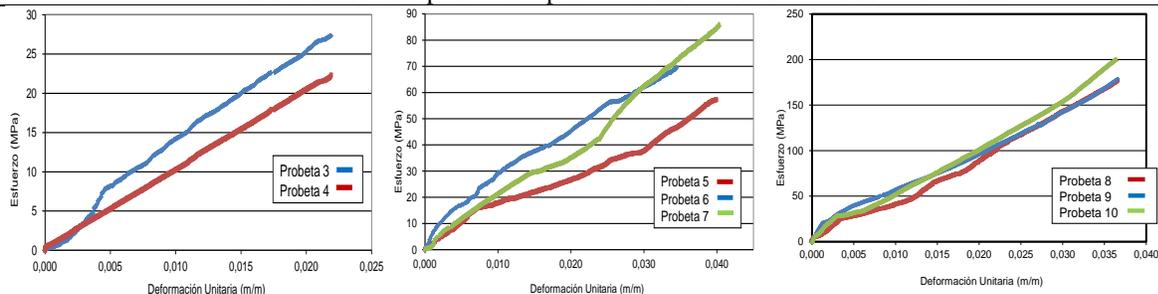


Figura 1. Resultados ensayo R.P. (izquierda), resultados ensayo R.P.P. (centro) y Resultados ensayo R.P.P.F. (derecha)

Tabla 3. 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
Vibra manual	P1,P4	P5,P7	P1,P5	P4,P7		XXXX
Vibra equipo	P2,P3	P6,P8	P2,P6	P3,P8	XXXX	

P1: MANUAL AGITADOR +VACIO+VIBRACION MANUAL
 P3: MANUAL AGITADOR+VIBRACION EQUIPO
 P5: EQUIPO AGITADOR+VACIO+VIBRACION MANUAL
 P7: EQUIPO AGITADOR+VIBRACION MANUAL

P2: MANUAL AGITADOR+VACIO+VIBRACION EQUIPO
 P4: MANUAL AGITADOR+VIBRACION MANUAL
 P6: EQUIPO AGITADOR+VACIO+VIBRACION EQUIPO
 P8: EQUIPO AGITADOR+VIBRACION EQUIPO

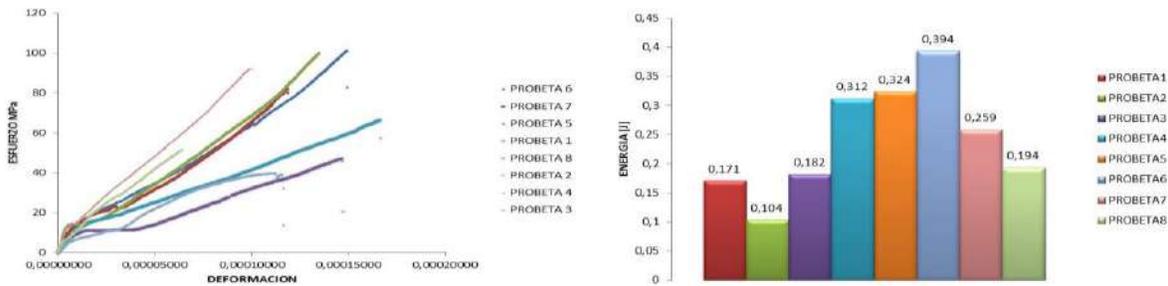


Figura 2. Comparación de probetas sometidas a tracción (izquierda) y Resultado prueba de impacto (derecha)

3.2 Elaboración de sistemas de protección balística

Se elaboraron varias placas de forma secuencial a saber:

3.3.1 Placa de blindaje No.1.

Para la elaboración de la zona dura (Escudo Cerámico, ver Figura 3), materiales 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, placa monolítica de 0,6cm de espesor. Zona blanda espesor de 0,5cm; 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 3).

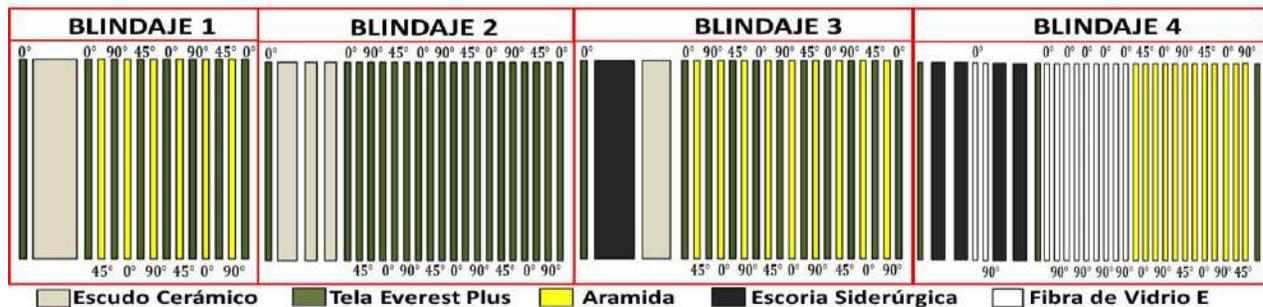


Figura 3. Configuración Placas de blindaje 1, 2, 3 y 4

La prueba balística placa de blindaje No. 1 (Ver Figura 4) se realizó a una temperatura de 28 °C, una humedad relativa de 38% y viento en calma, munición de 9x19mm encamisada de uso militar. Tres impactos con una tolerancia de 19 mm respecto al borde y una distancia entre impacto ubicados en un círculo de 100 mm de diámetro, cumpliendo con la Norma NTMD-0225-A3. 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, 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.



Figura 4. Prueba balística Placa de blindaje 1 con tres impactos, dos primeras imágenes zona dura (exterior y capa interior), dos imágenes finales zona blanda (capa intermedia y capa de retención de la ojiva segundo impacto)

Tabla 4. 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. Norma NTMD 0225-A3
A 15 m de distancia	1ro	8,9 mm8	44 mm	35 mm
A 10 m de distancia	2do	7,28 mm		
A 5 m de distancia	3ro	6,8 mm		

3.3.2 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 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 3). Se modificó la configuración de la zona blanda del blindaje No. 2 implementando únicamente tela de alta resistencia Everest Plus (Ver Figura 3)

3.3.3 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 (Ver Figura 3). Para la elaboración de la zona blanda de esta placa se volvió a implementar las aramiditas 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 3)

3.3.4 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 5). 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:

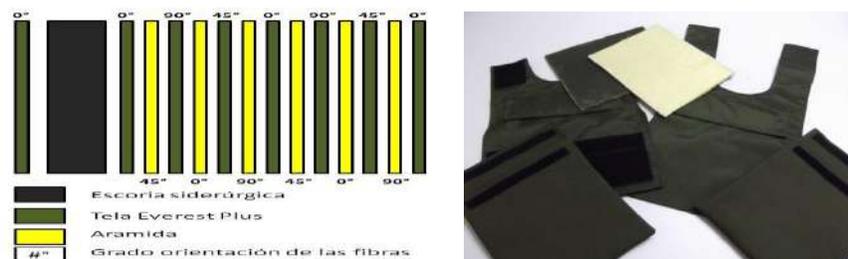


Figura 5. Configuración sistema de blindaje Nivel IIIA (Izquierda) y Sistema de protección balística personal Nivel IIIA desarrollado

4 CONCLUSIONES

La implementación de los residuos cerámicos industriales aportó buenas propiedades mecánicas, mejorando la resistencia de los paneles balísticos, proporcionando a la placa un mejor desempeño optimizando la absorción de energía logrando deformar el proyectil.

Con el proceso de manufactura del material de matriz polimérica con carga cerámica, se mejoró las propiedades de los sistemas de protección balística, disminuyendo la porosidad (inferior al 5%), mediante sistemas de compactación y vibración, sin recurrir a técnicas de vacío.

Se estudió el comportamiento de los sistemas multicapa encontrando que presentan un mejor comportamiento al impacto, una mejor disipación y absorción de la energía de impacto durante el proceso de fractura. Se encontró que un sistema multilaminar en la zona dura aumenta la capacidad de absorción de energía entre un 10% a un 20%.

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.

Se realizó una modificación en la zona blanda del blindaje incorporando telas de alta resistencia 100% poliéster de fabricación colombiana, reduciendo la utilización de aramiditas, logrando un desempeño aceptable, además con la incorporación de fibras vidrio E, que actúa como un mecanismo de amarre de la ojiva, se logró reducir en más de un 20% el uso de fibra de aramida.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zukas J.A., Nicholas T., Swift H.F., Greszczuk L.B., Curran D.R. "Impact Dynamics" Ed. John Willey and Sons, 1982
2. 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.
3. NORMA TECNICA MINISTERIO DE DEFENSA. Ensayo Balístico chalecos antibalas. NTDN-0225-A3. Ministerio de defensa Nacional, Colombia, 15 Mayo 2012, 5 p.
4. NORMA TECNICA MINISTERIO DE DEFENSA. Ensayo Balístico chalecos antibalas. NTDN-0028-A6. Ministerio de Defensa Nacional, Colombia, 6 Agosto 2012, 7-14 p.
5. Norma ASTM, Pruebas Ensayos de Impacto tipo Charpie para probetas de Materiales Compuestos. p,236
6. 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.
7. Abedini, Javier, "Balística". [Sitio de Internet] FULLAVENTURA. Disponible en: www.fullaventura.com.ar Copyright 2007. Acceso el 15 mayo de 2009.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Ministerio de Defensa Nacional. Norma NTMD-0225 Resistencia Balística para Chalecos Antibalas. República de Colombia. 2004.
12. Sanchez-Saez S, Barbero E, Navarro C. "Compressive residual strength at low temperatures of composite laminates subjected to low-velocity impacts". Composite Structures Volume: 85 pp. 226-232. 2008.
13. Arias, A.; Zaera, R.; López-Puente, J.; Navarro, C. "Fabricación y caracterización mecánica de un material compuesto de matriz polimérica y carga cerámica", Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio 43 (2). 2004.
14. 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
15. Alom, 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.