

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE CASCOS DE COMBATE FABRICADOS CON MODERNAS FIBRAS POLIMÉRICAS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA DENSIDAD

Fecha de recepción: 01 de mayo de 2025

Fecha de aceptación: 16 de junio de 2025

Dr. Aquiles Sepúlveda Osses¹

Resumen: *aquí se expone una reseña bibliográfica de cascos balísticos o de combate desarrollados e implementados por el Ejército de Estados Unidos, basados en fibras poliméricas, en reemplazo de los cascos de acero utilizados en ambas Guerras Mundiales y hasta antes de la invasión norteamericana de Granada, en 1983. En los últimos decenios, el Ejército de Chile ha incorporado el uso de cascos de combate basados en estos desarrollos. Se trata de fibras de para-aramida y de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), las que, por su alta resistencia y baja densidad permiten una mayor protección con menor peso, respecto de los cascos metálicos. Las sucesivas versiones de los cascos de fibra han permitido mejorar continuamente su comportamiento balístico y confortabilidad, con la aplicación conjunta de técnicas de simulación, diseño y fabricación.*

Palabras clave: *fibras poliméricas, cascos de combate, aramida, UHMWPE.*

DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT OF BALLISTIC HELMETS MANUFACTURED WITH MODERN HIGH-STRENGTH, LOW-DENSITY POLYMER FIBERS

Abstract: *here is a literature review of ballistic or combat helmets developed and implemented by the United States Army, based on polymeric*

¹ Ingeniero Civil Mecánico por la Universidad de Chile y Doctor- Ingeniero en Metalurgia por la Universidad de París VI, Francia. Actualmente se desempeña como Asesor de Investigación e Ingeniería del Instituto de Investigaciones y Control (IDIC) y Profesor de la Academia Politécnica Militar y de la Universidad de Chile. Email: asepulve@uchile.cl



fibers, replacing the steel helmets used in both World Wars and up until the American invasion of Grenada in 1983. In recent decades, the Chilean Army has incorporated the use of combat helmets based on these developments. These are para-aramid and ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) fibers, which, due to their high resistance and low density, allow for greater protection with less weight compared to metal helmets. The successive versions of fiber helmets have continuously improved their ballistic performance and comfort, through the joint application of simulation, design, and manufacturing techniques.

Key words: *polymeric fibers, combat helmets, p-aramid, UHMWPE.*

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es exponer el desarrollo de cascos balísticos o de combate basados en fibras poliméricas de alta resistencia por parte del Ejército de los EE.UU., país que ha sido líder en esta materia. La información técnica aquí presentada es relevante para estudios de equipamiento de protección por parte de diversas fuerzas armadas, incluyendo las de Chile. Las fibras en referencia corresponden a para-aramida y polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), caracterizadas por una elevada resistencia mecánica y una baja densidad.

Desde la Antigüedad, el empleo de cascos para proteger la cabeza de los guerreros ha sido una preocupación, de manera que el diseño, fabricación y uso de estos implementos ha evolucionado significativamente desde entonces; de hecho, el empleo de cascos puede ser tan pretérito como la propia guerra. Así, en diversos lugares del globo, en épocas tempranas, se fabricaban cascos de cuero y metal, especialmente, para defensa ante armas blancas, flechas y golpes. Al aparecer la pólvora, la amenaza aumentó significativamente, con el uso de mosquetes y cañones, como en la época napoleónica, hacia el año 1800; así es como la protección brindada por los cascos de ese entonces ante los efectos de los proyectiles de armas de fuego era muy limitada y secundaria, prevaleciendo el rol decorativo y de impresionar al adversario con un mayor porte. Sin embargo, por ejemplo, los cascos usados por la caballería pesada (granaderos, coraceros y carabineros) de Napoleón buscaban protección de golpes de sables y, eventualmente, lanzas, aunque, dependiendo de la distancia, también eran muy efectivos contra proyectiles esféricos de plomo disparados por pistolas, todas armas de ánima lisa. (O’Ryan, 2025).

Más tarde, durante las guerras de la segunda mitad del s. XIX, tales como la Guerra de Secesión, EE.UU., o la Guerra del Pacífico, en la cual participó Chile, las tropas no contaban, salvo por excepción, con algún resguardo corporal, ni siquiera para la cabeza, debido a la carencia o limitada disponibilidad de materiales y procesos de fabricación



adecuados. Es un hecho que, aún al inicio de la Primera Guerra Mundial (I-GM), las tropas de los ejércitos beligerantes no disponían de protección alguna para la cabeza ante el efecto de la munición de armas de fuego; solo se empleaban gorras de tela o de cuero. Es solo prácticamente a partir del segundo año de esa guerra, ante el gran número de lesiones mortales en la cabeza, debidas mayoritariamente a metralla de artillería, que los ejércitos involucrados empezaron a dotar a sus combatientes, como parte del equipamiento estándar, de cascos de protección balística.

Datos publicados por Carey *et al.* (1987) indican que, en la Segunda Guerra Mundial (II-GM), un 49% de los fallecimientos de soldados norteamericanos se debieron a heridas en cabeza y cuello, con 40% y 9%, respectivamente, en tanto que el conjunto del área de dichas zonas se estima que solo corresponde al 12% del área total del cuerpo. Tal autor asevera que datos de este tipo no eran conocidos con detalle a principios del siglo XX; también explica estos antecedentes en atención a que un soldado ha de monitorear constantemente el entorno con sus neurosensores (vista, oído y olfato) situados en la cabeza.

A partir de la I-GM, pasando por la II-GM, y hasta antes de la invasión norteamericana de Granada (1983), las fuerzas militares empleaban cascos de acero. Desde la II-GM y hasta antes de la invasión de Granada, las fuerzas armadas de EE.UU. emplearon el casco de acero modelo M1, familiarmente denominado *steel pot* (olla de acero); su requerimiento balístico era que resistiese una bala calibre .45 (230 g), con una velocidad de 244 m/s. Tales artículos, que buscaban proteger particularmente de balas de rebote, y de fragmentos de artillería y granadas, eran bastante incómodos por su peso y retención de calor, además de que dificultaban el uso de equipos de telecomunicaciones. Así es como, por ejemplo, era usual que los soldados norteamericanos en las selvas de Vietnam no usasen sus cascos de acero, a lo cual se atribuye un alto número de bajas evitables por lesiones en la cabeza.

En la invasión de Granada (1983), el Ejército de EE.UU. se convirtió en el primero en emplear cascos que incluían fibras poliméricas como material fundamental, asociadas a una sofisticada tecnología que, desde entonces, ha estado en pleno uso y permanente desarrollo. En los nuevos cascos se aprovecha, de manera concurrente, el uso de fibras livianas y de alta resistencia, así como la aplicación de nuevas técnicas de simulación, diseño y fabricación, en pos de mejorar la protección, satisfacer los factores humanos y ampliar las prestaciones, a un costo razonable, aunque este último es significativamente superior al de los cascos de acero. Particularmente, se han empleado fibras de para-aramidas, que incluyen al producto Kevlar®, y fibras de polietileno de ultra alto peso molecular, cuyas siglas en inglés UHMWPE se emplearán en este artículo para referirse a tal tipo de polietileno.



En un artículo de Ivins *et al.* (2007) se señala la relevancia de considerar durante el diseño de un casco balístico, en adición al factor mayor de protección frente a proyectiles, a los denominados factores humanos, tales como: peso, comodidad, ajuste y mantenibilidad. Esto lleva a que el diseñador deba tener en cuenta, por ejemplo, el logro de un mejoramiento en la protección balística sin un aumento excesivo en el peso; en efecto, al aumentar este último, el casco se hace más incómodo y agobiante para el usuario, haciendo que el casco, por decisión del soldado, pueda no ser suficientemente utilizado, incrementando el riesgo de lesiones en la cabeza. Un casco tampoco protege adecuadamente cuando no queda bien posicionado en la cabeza, por no ser de la talla adecuada o porque las almohadillas interiores o el barbiqueo están dañados o ausentes. Una de las conclusiones del artículo en comento se refiere a la importancia de que el Ejército de EE.UU. continúe evaluando los niveles de satisfacción de los soldados con sus cascos balísticos, especialmente cuando se modifican los existentes o se consideran cascos nuevos.

2. FIBRAS POLIMÉRICAS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA DENSIDAD

Los antecedentes que siguen inmediatamente se encuentran reunidos en la publicación Sepúlveda (2023), sobre la estructura molecular y propiedades de fibras de para-aramida y UHMWPE, en la perspectiva de su uso en equipos de protección corporal del combatiente, esto es, cascos balísticos y chalecos antibalas. En la primera mitad del siglo XX se inició el desarrollo de los materiales denominados polímeros sintéticos o plásticos, muchos de ellos constituidos por moléculas largas, con la característica común de que son relativamente de baja densidad, interesantes propiedades mecánicas y resistencia a varios medios corrosivos; así, por ejemplo, aparecieron el poliéster y el nailon (una poliamida). Durante la década de 1960, investigadores de Dupont sintetizaron nuevas moléculas poliméricas largas, esta vez basadas en aramidas, con las que se fabricaron fibras empleando una tecnología de extrusión (*spinning*, en inglés). Entre ellas, se cuenta el producto comercializado como Kevlar®, el cual corresponde químicamente a una molécula de para-aramida. Estas fibras se caracterizan por presentar, junto a una baja densidad, una alta resistencia, tanto mecánica como a varios medios corrosivos, y una buena resistencia al fuego. Más tarde, otras empresas desarrollaron productos similares al Kevlar®, también bajo marcas registradas, tales como Twaron® (Teijin, Países Bajos) y Tapanar® (Yayho, China). Un tipo diferente de fibra sintética relevante aplicada para protección balística es el polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE). Este material fue desarrollado en 1963 en los laboratorios de DMS (Países Bajos); casi veinte años después fueron comercializadas fibras de UHMWPE, tales como Dyneema® (DSM) y Spectra® (Honeywell, antes Sigma, EE.UU.).

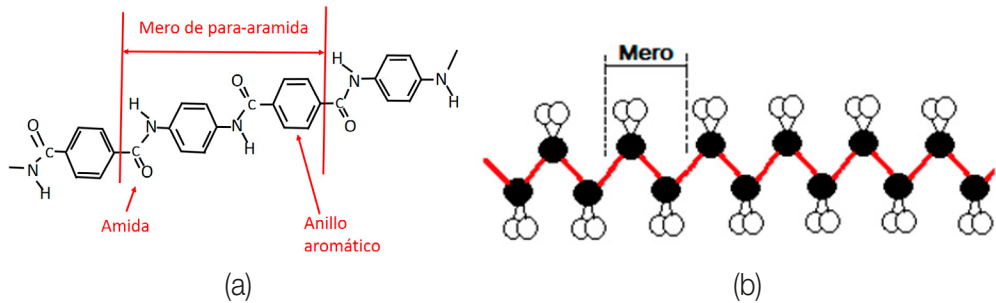


Figura N° 1: Moléculas largas poliméricas. a) Mero de una para-aramida, formada por grupos amida y benceno, b) Mero del polietileno; los círculos negros y blancos representan átomos de carbono y de hidrógeno, respectivamente. (Sepúlveda (2023)).

Los primeros cascos balísticos de fibras poliméricas de EE.UU. fueron fabricados con fibras de Kevlar®, una para-aramida, en tanto que algunos de los más modernos se fabrican con fibras de UHMWPE. Para estos dos tipos de fibras, la forma más frecuente de su empleo para protección balística es tejiéndolas como telas, ver Figura N° 2, y adicionando resinas que particularmente permiten la unión de varias capas tejidas.

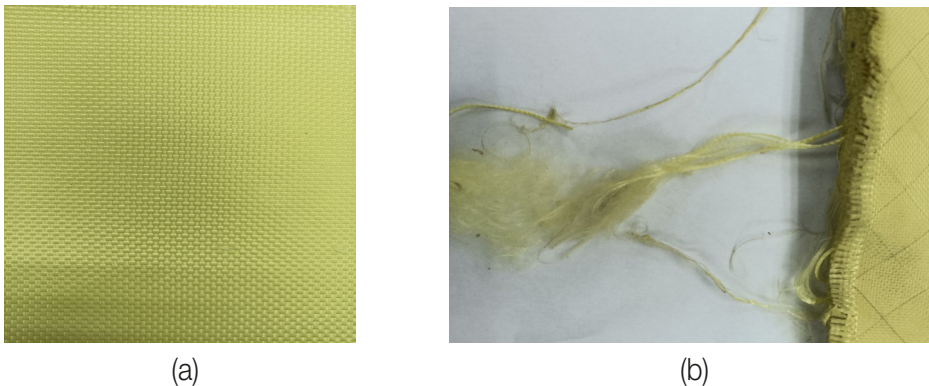


Figura N° 2: Tejido de hebras (hilos) de para-aramida. (a) Vista general del tejido y (b) Hebras deshilachadas, obtenidas del borde de la tela; se observan los finos filamentos que las constituyen. (Elaboración propia, IDIC).

3. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE CASCOS DE COMBATE FABRICADOS CON FIBRAS POLIMÉRICAS

Li *et al.* (2022), en un artículo sobre cascos de fibras poliméricas desarrollados para y empleados por el ejército de EE.UU., incluyeron la reseña que a continuación se expone. Dicha crónica es relevante, pues corresponde a avances tecnológicos generados por una potencia industrial y militar, que constituyen una referencia mundial al respecto. De esta manera, según Li *et al.* (2022):



En 1983 se introdujo el casco PASGT, por Personal Armor System for Ground Troops (Sistema de Protección para las Tropas Terrestres), fabricado con Kevlar ®, en sobresaliente reemplazo de cascos de acero.

En el año 2001, se lanzó el casco MICH, por Modular Integrated Communicatio Helmet (Casco Modular de Comunicaciones Integradas), fabricado con Kevlar ®, basado en el PASGT, pero más liviano.

A partir del año 2003, se distribuyó el casco ACH, por Advanced Combat Helmet (Casco de Combate Avanzado), fabricado en Kevlar®, con un mejor desempeño balístico y de amplio empleo. (Ese mismo año, el Cuerpo de Marines de EE.UU. introdujo un nuevo casco LWH, por Lightweight Helmet (Casco de Bajo Peso), aún hoy en servicio, del mismo material).

El año 2009, se introdujo el casco FAST, Future Assault Shell Technology (Tecnología de Cascos de Asalto del Futuro), fabricado con UHMWPE.

En el año 2013, se inició la fabricación del casco ECH, por Enhanced Combat Helmet (Casco de Combate Mejorado), fabricado con UHMWPE, aplicando una nueva generación de procesos de manufactura.

Finalmente, el año 2019 se inició la distribución del casco IHPS, por Integrated Head Protection System (Sistema Integrado de Protección de la Cabeza), reconocido como, en general, el mejor casco balístico a la fecha.

Según informó Keller (2024), el Ejército de EE.UU. introdujo el año 2024, en una unidad de paracaidistas, el casco Next Generation - Integrated Head Protection System (NG-IHPS), fabricado con UHMWPE, al cual se asocia un mayor nivel de protección balística y contra fragmentos, junto a un menor peso.

También, de acuerdo a Li *et al.* (2022), otros de los mejores cascos actuales son: VIRTUS, de UHMWP, Reino Unido, 2016; 6B47, de aramida, Rusia, 2013; y HJLEM, Noruega, 2019.

Pruebas experimentales realizadas por Palta (2018), mostraron que, al disparar con balas de 9 mm a 370 m/s sobre distintas zonas de cascos ACH, fabricados con Kevlar®, se evita la penetración completa; también, al disparar una bala de calibre .223 con un fusil, a 370 m/s, hacia un costado de un casco del mismo tipo, hubo penetración completa, atravesando incluso los dos costados del casco.

En una reseña reciente, Sun (2025), se expone que, si bien se han realizado extensos estudios sobre telas planas de UHMWPE, aún hay una limitada comprensión de los



mecanismos de falla de tales telas cuando son curvadas para integrarlas a la carcasa de un casco. Allí se agrega que existe una notable carencia respecto de la evaluación de los nuevos cascos fabricados con tal material. Por otra parte, en relación con la referida introducción de cascos NG-IHPS fabricados con UHMWPE, Keller (2014) informó que, según la evaluación hecha el año 2023 por un servicio del Pentágono: se requieren ensayos adicionales para evaluar la protección brindada por ese casco, así como el nivel de potenciales lesiones a los combatientes debido a amenazas por penetración.

El uso de cascos fabricados con fibras poliméricas ha sido ampliamente adoptado por tropas de un gran número de países, incluyendo a Chile. De esta manera, la Figura N° 3 ilustra el empleo de cascos de la fibra para-aramida en uso por el Ejército de Chile; los primeros cascos de este tipo fueron incorporados hacia el año 2000, bajo la denominación de modelo Golfo.



Figura N° 3: Empleo de cascos de fibras de para-aramida por parte de personal del Ejército de Chile. (Imágenes del Ejército de Chile).

Cabe señalar que el Instituto de Investigaciones y Control (IDIC), a requerimiento institucional, a través de su Laboratorio de Resistencia Balística y aplicando normas aceptadas internacionalmente, controla la calidad de cascos y chalecos de protección balística del Ejército de Chile, artículos que incorporan los citados tipos de fibras entre sus materiales, ver Figura N° 4. Este servicio es extensible a otras ramas de las Fuerzas Armadas y Seguridad, así como a entes particulares.

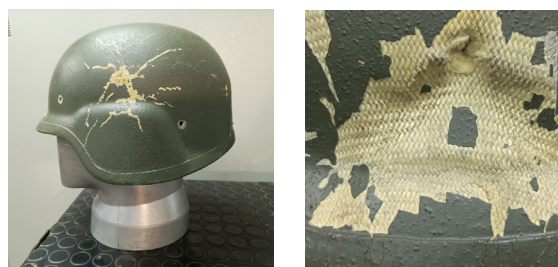


Figura N° 4: Casco de fibras de para-aramida ensayado frente a impactos balísticos en el Laboratorio de Resistencia Balística del IDIC. (a) Vista general lateral y (b) Una zona de impacto. (Elaboración propia, IDIC).



4. CONCLUSIONES

Las amenazas sobre la cabeza de los combatientes y la tecnología disponible llevaron a que, desde la I Guerra Mundial y hasta la invasión norteamericana a Granada (1983), se utilizaran ampliamente cascos de acero como protección balística. Esto cambió significativamente cuando, con la disponibilidad de ciertas fibras artificiales, caracterizadas por una alta resistencia mecánica y bajo peso, con ellas se fabricaron nuevos cascos de combate.

En lo central, en este artículo se presentó el desarrollo y uso de esta moderna tecnología, con la que el Ejército de Estados Unidos ha desempeñado un rol de liderazgo. Ello continúa vigente hasta nuestros días, particularmente sobre la base de fibras de para-aramida y de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), con el propósito de disponer de cascos que cada vez proporcionen mayor protección y confortabilidad, junto a un menor peso.

El Ejército de Chile emplea cascos de fibras como las señaladas, en tanto que el Instituto de Investigaciones y Control cuenta con capacidades para la verificación de la calidad de cascos y chalecos balísticos.

La información técnica aquí presentada puede ser relevante como antecedente para estudios de tecnología militar y para proyectos de equipamiento, en relación con ítems de protección balística personal.

REFERENCIAS

Carey, M. E. (1987). Learning from traditional combat mortality and morbidity data used in the evaluation of combat medical care. *Military Medicine*, 152, 1:6, (1987) pp. 6-13.

Carey, M. E.; Herz, M., Corner, B.; McEntire, J.; Malabarba, D.; Paquette, S. & Sampson, J. B. (2000). Ballistic helmets and aspects of their design. *Neurosurgery*, 47(3), 678-689. <https://doi.org/10.1097/00006123-200009000-00031>

Ivins, B. J.; Schwab, K. A.; Crowley, J. S.; McEntire, B. J.; Trumble, C. C.; Brown, F. H.; Jr. & Warden, D. L. (2007). How satisfied are soldiers with their ballistic helmets? A comparison of soldiers' opinions about the advanced combat helmet and the personal armor system for ground troops helmet. *Military medicine*, 172(6), 586-591. <https://doi.org/10.7205/milmed.172.6.586>

Keller, J. (2024, 14 de febrero). Lighter, more protection: Army next-gen helmet now fielded to 82nd Airborne Division soldiers. *Military.com*. <https://www.military.com/>



daily-news/2024/02/14/army-fielding-next-gen-combat-helmet-promises-added-protection-without-extra-weight.html

- Li, Y.; Fan, H. & Gao, X.-L. (2022). Ballistic helmets: Recent advances in materials, protection mechanisms, performance, and head injury mitigation. *Composites Part B*, 238, Article 109890. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.109890>
- O’Ryan M. G. Crl. (R), (2025). Jefe de la Sección Historia y Patrimonio del DCHEE, Ejército de Chile, Comunicación personal, 5 de agosto de 2025.
- Sepúlveda, A. (2023). Fibras poliméricas de alta resistencia, utilizadas en la fabricación de cascos y chalecos de protección balística. *Boletín Científico y Tecnológico de la ACAPOMIL*, N° 27, pp. 9-29.
- Sun, Q.; Lin, J.; Gai, Y. & Li, Y. (2025). Ballistic performance of the UHMWPE fiber-reinforced composite helmet: Experiments and numerical simulations. *Thin-Walled Structures*, 210(5), Article 113037. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2025.113037>