



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**EVALUAR PROPIEDADES TÉRMICAS Y  
MECÁNICAS DEL POLIPARAFENILENO  
TEREFTALAMIDA (KEVLAR Y NOMEX)  
COMPARADAS CON LA FIBRA DE CARBONO EN  
LA FABRICACIÓN DE EQUIPOS BLINDADOS Y  
CHALECO ANTIBALAS**

**Autor:** Melo Andrés  
C.I.:25.712.459

**Tutora:** Ing. Alicia de Pizzella

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono (0241) 8714240 (máster)



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**EVALUAR PROPIEDADES TÉRMICAS Y MECÁNICAS DEL  
POLIPARAFENILENO TEREFETALAMIDA (KEVLAR Y NOMEX)  
COMPARADAS CON LA FIBRA DE CARBONO EN LA FABRICACIÓN DE  
EQUIPOS BLINDADOS Y CHALECO ANTIBALAS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Autor:** Melo Andrés  
C.I.:25.712.459  
**Tutora:** Ing. Alicia de Pizzella

San Diego, abril del 2021



FI-N-006-2020-3CR (IG)

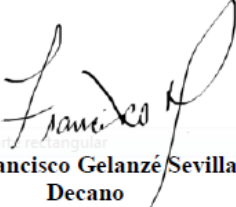
Valencia, 24 de marzo de 2021

Ciudadano:  
Melo Puerta, Andrés Eduardo.  
CI. 25.712.459  
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 04-2021 de fecha 21-01-2021 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***EVALUAR PROPIEDADES TÉRMICAS Y MECÁNICAS DEL POLIPARAFENILENO TEREFTALAMIDA (KEVLAR Y NOMEX) COMPARADAS CON LA FIBRA DE CARBONO EN LA FABRICACIÓN DE EQUIPOS BLINDADOS Y CHALECO ANTIBALAS*** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Se ratifica la designación de la Ing. Alicia Yáñez de Pizzella C.I: 4.598.880 como Tutora Académica que lo asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

  
© Record rectangular  
**Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.**  
Decano



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE MECÁNICA**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, Ing Alicia de Pizzella, portadora de la cédula de identidad N° 4598880 en mi carácter de tutora del trabajo de grado presentado por el ciudadano Melo Andes, titular de la cédula de identidad N° 25.712.459, titulado **EVALUAR PROPIEDADES TÉRMICAS Y MECÁNICAS DEL POLIPARAFENILENO TEREFETALAMIDA (KEVLAR Y NOMEX) COMPARADAS CON LA FIBRA DE CARBONO EN LA FABRICACIÓN DE EQUIPOS BLINDADOS Y CHALECO ANTIBALAS** presentado como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO MECÁNICO** considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 2 días del mes de Abril de dos mil veintiuno.

Ing. Alicia de Pizzella

C.I.: 4598880

# Dedicatoria

A Dios sobre todas las cosas por mostrarme el camino para que la sabiduría guie mis pasos. Gracias mi Dios por darme la oportunidad de formarme como profesional, darme fuerzas valor y valentía para seguir en esta carrera, un camino donde hubo dificultades, preocupaciones y obstáculos, pero con su ayuda pude superarlos.

A mis padres Juan Melo y Claricel Puerta, quienes con sus palabras, su ayuda y motivación nunca me dejaron caer, me impulsaron a ser perseverante para seguir adelante y cumplir con mis metas. Este logro también es de ustedes.

A mi hermano Juanito para que le sirva de guía y motivación, y logre todo lo que se proponga.

A mis familiares, en especial a Clarisa Puerta, por su apoyo, su cariño, por creer en mí, han aportado un gran porcentaje para seguir adelante como profesional.

A mi tutora Ing. Alicia de Pizzella por guiarme, ayudarme y brindarme todo su conocimiento en el desarrollo del trabajo.

Andrés Melo

# A agradecimientos

A Dios, por permitirme despertar cada día y formarme como profesional, por rodearme de excelentes personas que hoy son parte de este logro.

A mis padres, por darme su confianza y apoyo, sin ustedes fuera sido muy difícil, los quiero un montón.

A la Universidad José Antonio Páez, por abrirme sus puertas para realizar esta carrera y permitir formarme en sus aulas de clase. También, a la Universidad de Carabobo donde curse mis primeros tres semestres y fue parte de mi formación profesional.

A mi familia, por alentarme, apoyarme y creer en mí. Tia Clarisa, Abuela, Marjori, Luis, Luisana, Majo, Rubén, Tía Doris, Tío Echenique, gracias por su cariño y motivación, este logro también es de ustedes.

A mis amigos, porque nunca me dieron la espalda y aportaron su granito de arena para mi formación. Juan Guerra, Silvana Camacho, Laura Gerle, Inas Abboud, Pablo Calero, Luis Sosa, Andres D elias, Miguel Avila. Gracias Muchachos!

A Arena Le maitre y Guillermo Mendoza mis amigos desde el preescolar hasta hoy en día, gracias por poner su granito de arena, por ayudarme y ser parte de este logro.

A mis compañeros de clase en la UJAP, definitivamente sin ustedes esto no fuera sido posible, mi gente de la UC María Celeste Camacho, Jhosbert Suarez, Albelys Aguirre, Crismary Deniz, gracias por ayudarme en mis primeros semestres, no los olvido.

A mis profesores, por guiarme y compartir sus conocimientos durante este recorrido, en especial a mi tutora Ing. Alicia Pizzella.

Andrés Melo

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pg</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE GRÁFICO</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE FIGURA</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE TABLA</b> .....	xiii
<b>RESUMEN</b> .....	xiv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación.....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Justificación.....	5
1.5 Alcance.....	6
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Bases Teóricas.....	8
2.2.1 Fibra de carbono.....	8
2.2.1.1 Refuerzo con tejido de fibra de Carbono.....	9
2.2.1.2 Tela de fibra de carbono.....	12
2.2.1.3 Proceso de obtención.....	16
2.2.1.4 Síntesis de la fibra de carbono.....	18
2.2.1.5 Espesor.....	21
2.2.1.6 Propiedades.....	22
2.2.1.7 Ventajas.....	22
2.2.1.8 Usos y aplicaciones.....	23
2.2.2 Fibra de kevlar.....	24
2.2.2.1 Aplicaciones del kevlar.....	25
2.2.2.2 Propiedades mecánicas del kevlar.....	26
2.2.2.3 Propiedades térmicas del kevlar.....	28
2.2.2.4 Resistencia química.....	28
2.2.2.5 Propiedades físicas.....	28
2.2.2.6 Proceso de obtención.....	29
2.2.3 Fibra nomex.....	31
2.2.3.1 Aplicaciones del nomex.....	32
2.2.3.2 Propiedades mecánicas del nomex.....	33

2.2.3.3	Estabilidad química.....	36
2.2.3.4	Resistencia a las llamas.....	36
2.2.3.5	Resistencias a las radiaciones.....	36
2.3	Bases Legales.....	37
2.4	Definición de términos.....	40

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1	Tipo de la Investigación.....	43
3.2	Diseño de Investigación.....	43
3.3	Nivel de la Investigación.....	44
3.4	Población y Muestra.....	44
3.4.1	Población.....	44
3.4.2	Muestra.....	45
3.5	Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	45
3.5.1	Técnica de recolección de datos.....	45
3.5.2	Instrumentos de recolección de datos.....	46
3.6	Fases Metodológicas.....	46

### **IV RESULTADOS**

4.1	Evaluar los diferentes equipos de protección blindados en el país...	44
4.1.1	Chaleco Antibala.....	46
4.1.2	Fábricas en Venezuela de equipos anti bala.....	47
4.1.2.1	Arsenal Industries.....	47
4.1.2.2	Superblindado.....	49
4.2	Analizar y describir las propiedades mecánicas y térmicas del kevlar y el nomex para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.....	49
4.2.1	Fabricación de Chalecos Antibalas.....	49
4.2.2	Comportamiento de los Chalecos al ser Impactados por un Proyectoil.....	53
4.2.3	Efectos en el Cuerpo Humano Provocados por el Impacto de un Proyectoil en el Chaleco Antibalas.....	56
4.2.4	Niveles de Protección de los Chalecos Antibalas.....	58
4.2.5	Placas Balísticas.....	60
4.2.6	Métodos de Prueba.....	61
4.2.7	Traje Antiexplosivos.....	63
4.2.8	Traje Antibombas Marca EOD 9.....	64
4.2.9	Material para la fabricación de chalecos antibala.....	64
4.2.10	KEVLAR.....	65
4.2.11	NOMEX.....	77

4.3	Analizar y describir las propiedades mecánicas y térmicas de la fibra de carbono para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.....	80
4.3.1	Obtención de la fibra de carbono.....	80
4.3.2	Estructura y propiedades.....	82
4.4	Comparar el kevlar con la fibra de carbono para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.....	85
4.4.1	Resultados de los esfuerzos de tensión.....	86
4.4.2	Evaluación de los ensayos de tensión.....	88
4.4.3	Comparación del comportamiento de los materiales.....	91
4.4.4	Propiedades mecánicas Kevlar-Fibra de carbono.....	93
4.4.5	Equipos blindados y sus materiales de fabricación.....	93
4.5	Evaluar las propiedades del Nomex como complemento de resistencia al fuego.....	100
4.5.1	Propiedades del Nomex.....	101
4.5.2	Normas internacionales para diseño y uso de vestimenta... contra incendio y calor.....	102
4.5.3	Nomex y COVID-19.....	104
4.5.4	Kevlar y Nomex efectos ambientales.....	106
	CONCLUSIONES.....	112
	RECOMENDACIONES.....	113
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114

## ÍNDICE DE CUADRO

<b>CUADRO</b>	<b>Pag</b>
1 Países fabricantes de chalecos antibala.....	45
2 Propiedades del Kevlar.....	70
3 Propiedades y usos del Kevlar y el Nomex.....	79
4 Tipo de blindaje.....	95
5 Componentes y sus efectos nocivos.....	107
6 Métodos de reciclaje.....	108

## ÍNDICE DE GRÁFICO

<b>GRÁFICO</b>	<b>Pag</b>
----------------	------------

1	Efecto de la Temperatura y la Humedad en las Propiedades Mecánicas.....	31
2	Curvas Esfuerzo-Deformación de matriz polimérica (Resina Epóxica)	89
3	Curvas Esfuerzo-Deformación de material compuesto.....	90
4	Comparación del módulo de elasticidad promedio del material compuesto y la de su matriz polimérica.....	92
5	Componentes y sus efectos nocivos.....	107
6	Métodos de reciclaje.....	108

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>FIGURAS</b>	<b>Pa g</b>
1 % de policías víctimas de homicidio en Venezuela.....	4
2 Las fibras de carbono son cuatro veces más flexibles que las mejores aleaciones de acero y pesan una cuarta parte.....	9
3 Entre 5 y 10 micras mide un filamento de carbono, cinco veces más delgado que un cabello humano.....	9
4 La fibra de grafito cristaliza en el sistema hexagonal, el panal de abeja. La mayoría de las fibras no son de grafito sino de carbono, obtenidas a menor.....	14
5 Proceso de obtención de la fibra de carbono.....	17
6 Una sección de la lámina de grafito.....	18
7 Anillo de unidades repetitivas ciano.....	18
8 Serie de anillos piridínicos fusionados.....	19
9 Unión de cadenas adyacentes.....	19
1 Cintas más anchas de anillos fusionados.....	20
0	

1	Tejido de fibra de aramida, Kevlar 49 tejido especial para	
1	aviación.....	24
	...	
1	Simulación de un fragmento de kevlar sometido al impacto de una	
2	bala.....	67
	...	
1	Fibra de	28
3	Nomex.....	
1	Piloto de la fórmula 1 en llamas con traje fabricado con	30
4	nomex.....	
1	Equipos de	47
5	seguridad.....	
1	Estructura entretejida que conforma los	50
6	chalecos.....	
1	Partes de un chaleco	51
7	antibala.....	
1	Carretes de fibra.....	52
8		
1	Diagrama del proceso general de fabricación de tela para producir	
9	chalecos	52
	antibalas.....	
2	Deformación de las fibras y área afectada por el impacto del	
0	proyectil.....	53
	...	
2	Fases de entrada del	54
1	proyectil.....	
2	Deformación de las capas del chaleco antibalas.....	54
2		
2	Tejido del chaleco aunque el proyectil el cual no atravesó su	
3	estructura.....	55
	..	
2	Chaleco antibalas perforado por la acción de los impactos	
4	de cartuchos calibre .22", .38", .40" y	56
	.45.....	
2	Chaleco antibalas deformado por la acción de un proyectil.....	57
5		
2	Lesión (hematoma) provocado por el impacto de un proyectil sobre	
6	un chaleco antibalas que portaba esta persona.....	57
2	Placas	60
7	balísticas.....	
2	Esquema del arreglo para llevar a cabo pruebas balísticas a chalecos	
8	antibalas.....	61

2	Distribución de los disparos que se le llevan a cabo al chaleco	
9	antibalas.....	62
3	Sargento Howie Loughran, líder de una Unidad de Desactivación	
0	de Explosivos (EOD).....	63
3	Chaleco de acero con cerámica.....	65
1		
3	Monómero de Kevlar.....	66
2		
3	Obtención de	67
3	aramidas.....	
3	Obtención del	68
4	Kevlar.....	
3	Fibras de	71
5	Kevlar.....	
3	Aramidas trans y	72
6	cis.....	
3	Composición molecular del nylon	73
7	6.6.....	
3	Intento de colocación Conformación cis del	73
8	Kevlar.....	
3	Conformación trans del	74
9	Kevlar.....	
4	Vinculación del hidrogeno en	75
0	agua.....	
4	Vinculación del hidrogeno en	75
1	Kevlar.....	
4	Tejidos de	76
2	Kevlar.....	
4	Modelos de telas de	76
3	Kevlar.....	
4	Composición química del	81
4	poliarilonitrilo.....	
4	Proceso de calentamiento de	81
5	poliacrilonitrilo.....	
4	Anillos piridínicos	82
6	fusionados.....	
4	Cadenas adyacentes unidas al aumentar el	82
7	calor.....	
4	Fibras de	83
8	carbono.....	

4	Propiedades de la fibra de carbono.....	84
9		
5	Probetas tipo I de matriz	86
0	polimerica.....	
5	Probetas tipo II combinadas con fibra de	86
1	carbono.....	
5	Matriz polimérica sometidos a pruebas de	87
2	tensión.....	
5	Especímenes de material	87
3	compuesto.....	
5	Microscopio	88
4	Mitutoyo.....	
5	Fractura de tres probetas ensayadas por	91
5	tensión.....	
5	Tanque AMX-56	94
6	Leclerc.....	
5	Pruebas	97
7	balísticas.....	
5	Acero	98
8	balístico.....	
5	Aramidas.....	99
9	.	
6	Fibras de	99
0	polietileno.....	
6	Blindaje	10
1	transparente.....	0
6	DuPont Thermo-	10
2	Man.....	2
6	Organización española de	10
3	Normalización.....	6
6	Relación de desechos sólidos generados vs	10
4	reciclados.....	8

## ÍNDICE DE TABLA

TABLA	Pa	
1	Propiedades y aplicaciones de las fibras de carbono.....	10
2	Comparación entre fibra de carbono y acero.....	13
3	Características e imágenes de los tejidos más comunes.....	15
4	Propiedades Mecánicas del nomex.....	30

5	Requerimientos Balísticos Penetración / Reverso NIJ 0101.04.....	35
6	Requerimientos Balísticos Penetración / Reverso NIJ 0101.06.....	36
7	Propiedades Mecánicas del Nomex.....	78
8	Propiedades Térmicas del Nomex.....	79
9	Resultados máximos de esfuerzo-deformación para resina epóxica.	88
1	Material compuesto.....	89
0		
1	Valores promedio de los resultados mecánicos de pruebas de	
1	tensión.....	91
.		
1	Propiedades mecánicas fibra de carbono-Kevlar.....	93
2		
1	Propiedades térmica fibra de carbono-	93
3	Kevlar.....	



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE MECÁNICA**

**EVALUAR PROPIEDADES TÉRMICAS Y MECÁNICAS DEL  
POLIPARAFENILENO TEREFTALAMIDA (KEVLAR Y NOMEX)  
COMPARADAS CON LA FIBRA DE CARBONO EN LA FABRICACIÓN DE  
EQUIPOS BLINDADOS Y CHALECO ANTIBALAS**

**Autores:** Melo Andres

**Tutor:** Ing. Alicia de Pizzella

**Fecha:** Abril 2021

**RESUMEN INFORMATIVO**

Los chalecos antibalas y equipos blindados están hechos de varias capas de fibras laminadas o de tejido sintético que protegen a la persona que lo usa de proyectiles disparados por Arma de fuego y de la metralla de algunos artefactos explosivos como granadas de mano. Entre esos materiales están el kevlar y el nomex, productos Dupont , y la fibra de carbono , como un material utilizado para dichos equipos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar sus propiedades térmicas y mecánicas y así poder comparar cual ofrece mejores propiedades que puedan resguardar la vida de los cuerpos de seguridad. Al analizar las propiedades mecánicas y térmicas del Kevlar y el Nomex se pudo constatar que la conformación molecular no le permite la penetración de la bala debida a su conformación lineal y ordenada. Así mismo, ensayos realizados demostraron la dureza y elongación obtenida de la combinación de aramidas con la fibra de carbono, ya que estas le aportan poder disminuir el peso de los chalecos y aumentar su dureza y tenacidad. El estudio fue de tipo de proyecto factible, se fundamentó en un diseño de investigación de campo y documental, con un nivel de investigación descriptivo. Los objetivos planteados se desarrollaron utilizando técnicas e instrumentos de recolección de datos como son la revisión documental y la bibliográfica, ya que se tomaron datos de otras investigaciones

**Palabras claves:** Fibra, blindado, polímero, KEVLAR, NOMEX, polimerización

## INTRODUCCIÓN

Durante el constante desarrollo y evolución del ser humano a través del tiempo han existido en él preocupaciones que lo han acompañado siempre, entre otras la satisfacción de sus necesidades básicas, la comodidad en el entorno en el que se desenvuelve y su protección. Este último aspecto es el que da origen al presente caso de estudio, ya que los seres humanos que tienen como objetivo resguardar algo considerado valioso, desde un objeto, hasta una nación entera, están exponiendo su integridad física y su vida en el cumplimiento de su deber, a fin de proteger la vida de estas personas. A lo largo de la historia se han enfocado esfuerzos para desarrollar y aplicar avances en tecnología de materiales para crear y producir aditamentos que minimicen las consecuencias del impacto de un proyectil en el cuerpo humano.

Para esto se utilizan equipos de blindaje como chalecos antibalas, trajes antiexplosivos, cascos antiexplosivos, entre otros. Dichos equipos ofrecen una resistencia y una gran eficacia ante los impactos de bala, cada uno de estos con el debido nivel para los distintos calibres de bala.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar las propiedades mecánicas y térmicas del kevlar y el nomex usadas en prendas protectoras que absorbe el impacto de balas disparadas al torso y esquirlas provenientes de explosiones. Los chalecos están hechos de varias capas de fibras laminadas o de tejido sintético y protegen a la persona que lo usa de proyectiles disparados por Arma de fuego y de la metralla de algunos artefactos explosivos como granadas de mano. Estos son los principales materiales con los que se elaboran estos equipos, como pueden ofrecer esta resistencia y como se aplica la ingeniería para la fabricación de estos. Por otra parte, se estudiara la fibra de carbono como un material de posible utilización para dichos equipos y así poder comparar cual ofrece mejores propiedades que puedan resguardar la vida de los cuerpos de seguridad.

Otro equipo de Blindaje como lo es el traje antiexplosivo tiene como objetivo resistir una explosión a corta distancia en caso de que la cosa vaya mal no es trivial, de modo que los trajes que llevan quienes se dedican a desactivar bombas son ultra resistentes. Los treinta kilos que pesan son una mezcla de materiales interesantes y resistentes pero a la vez suficientemente flexibles como para poder manipular una bomba con cierta destreza.

El presente trabajo de grado, se estructuro organizativamente en cuatro capítulos encuadrados de la siguiente forma:

El Capítulo I, El problema, el cual aborda el planteamiento del problema, los objetivos generales los objetivos específicos, la justificación de la investigación, alcance y limitaciones.

Capítulo II, El Marco Teórico, esta se basa en los antecedentes de la investigación, que son aquellos estudios, trabajos de grado o tesis de donde resulta una breve síntesis conceptual de las investigaciones realizadas, las bases teóricas, que son teorías que han desarrollado síntesis o modelos que le dan soporte a la investigación, y la definición de los términos que sustentan la misma.

Capítulo III, El Marco Metodológico, se describe la metodología que se utilizara, es decir presenta el procedimiento para obtener la información, y la forma de cómo se realizó el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos mediante el instrumento aplicado.

Capítulo IV, resultados, conclusiones y recomendaciones

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

En los últimos cinco años han asesinado mil quinientos seis funcionarios policiales, militares y escoltas civiles, de acuerdo a la estadística de fundepro en el año 2019. La Fundación para el Debido Proceso, dirigida por la abogada Jackeline Sandoval, informó que en el año 2019 un total de ciento setenta y tres funcionarios de seguridad, entre policías, militares y escoltas, murieron de manera violenta por armas de fuego.

La prioridad es resguardar la vida de los agentes de seguridad equipos blindados que cumplan las normas de funcionamiento con materiales resistentes y eficaces. Debido a esta problemática de no tener el equipo o el debido conocimiento de la calidad que van a utilizar, lleva a la pérdida de muchas vidas de funcionarios en el país anualmente a causa de armas de fuego y explosivos los cual "se ha vuelto muy de moda".

En 2015 murieron trescientos cuarenta y cuatro , en 2016 cuatrocientos catorce, en 2017 trescientos nueve y doscientos sesenta y seis en 2018. La Fundación para el debido Proceso, A.C., (FUNDEPRO ), en defensa de los DDHH y Presos Políticos Venezolanos, indica que en 2019 el estado con mayor número de funcionarios fallecidos en hechos violentos fue Miranda seguido de Aragua y Bolívar. Los organismos más afectados por la pérdida de funcionarios fueron la Policía Nacional Bolivariana con 32 víctimas, la Guardia Nacional Bolivariana con 27 fallecidos y el Cicpc con 23 muertos. Por otra parte el informe anual del Ministerio Público en el año 2016 mediante la siguiente tabla muestra la tasa de funcionarios de cuerpos de seguridad víctimas de homicidio (ver figura 1)

	Estado	Tasa de funcionarios de los cuerpos de seguridad víctimas de homicidio
1	Distrito Capital	3,19
2	Miranda	2,9
3	Aragua	2,14
4	Trujillo	1,1
5	Amazonas	1,09
6	Guárico	1,01
7	Anzoátegui	0,7
8	Bolívar	0,51
9	Portuguesa	0,3
10	Apure	0,34
11	Zulia	0,34
12	Táchira	0,32
13	Sucre	0,29
14	Carabobo	0,28
15	Cojedes	0,28
16	Vargas	0,28
17	Lara	0,25
18	Barinas	0,22
19	Monagas	0,2
20	Falcón	0,19
21	Delta Amacuro	0
22	Mérida	0
23	Nueva Esparta	0
24	Yaracuy	0
	Nacional	0,85



Figura 1 % de policías víctimas de homicidio en Venezuela

De acuerdo a esta problemática se plantea una evaluación de cuáles son los mejores materiales utilizados en la fabricación de equipos blindados, es muy importante el estudio del material ya que utilizar un material de poca resistencia puede causar lesiones e incluso hasta la muerte del individuo que utilice el producto.

## 1.2 Formulación del problema

¿Cómo se puede garantizar la vida de los cuerpos de seguridad ante un enfrentamiento con armas de fuego y la manipulación de material explosivo?

## 1.3 Objetivos de la investigación

### 1.3.1 Objetivo general

Evaluar propiedades térmicas y mecánicas del poliparafenileno tereftalamida (kevlar y nomex) comparadas con la fibra de carbono en la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Evaluar los diferentes equipos de protección blindados en el país.
2. Analizar y describir las propiedades mecánicas y térmicas del kevlar y el nomex para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.
3. Analizar y describir las propiedades mecánicas y térmicas de la fibra de carbono para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.
4. Comparar el kevlar con la fibra de carbono para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.
5. Evaluar las propiedades del nomex como complemento de resistencia al fuego.

### **1.4 Justificación del problema**

Es de gran importancia que los cuerpos de seguridad del país estén seguros al momento de enfrentamientos con armas de fuego y manipulación de explosivos, para que ello se deben fabricar equipos de blindaje que tengan la resistencia necesaria para resguardar la vida de dichos funcionarios. El poliparafenileno tereftalamida (kevlar y nomex) son materiales que a través de la evaluación de sus propiedades térmicas y mecánicas se puede tener se puede hacer una evolución para el uso de este material en la elaboración de equipos blindados y chaleco antibalas.

En lo práctico sería muy importante fabricar chalecos antibalas con materiales resistentes duraderos y que pasen la prueba ante todo tipo de ambiente y calibres de bala, esto ayudaría en el aspecto económico con un tiempo de uso prolongado, y así no ser sustituido rápidamente, lo que llevaría a grandes pérdidas por parte de estas instituciones.

Así mismo, desde el punto de vista social, ya que está en juego la vida de los oficiales, y mientras más resistentes sean los equipos que usen, se puede evitar en lo posible accidentes lamentables. Aunado a esto se aprovechan los avances tecnológicos en la mezcla de diferentes polímeros para fabricación de equipos anti bala.

Por otra parte, también se evalúa la fibra de carbono tanto sus propiedades térmicas como mecánicas, comparar ambos materiales para obtener el beneficio que es

resguardo de la vida de los cuerpos de seguridad, ya que las estadísticas muestran un gran número de oficiales con muertes por arma de fuego en el país.

### **1.5 Alcance**

Evaluar el poliparafenileno tereftalamida (kevlar y nomex) y compararlo con la fibra de carbono en la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas. Esta evaluación lleva a conocer detalladamente las propiedades térmicas y mecánicas de ambos materiales para analizar cuál es el más apto en la fabricación de equipos blindados y chalecos antibalas, esto permite el resguardo de la vida de los cuerpos de seguridad en todo el territorio nacional en los enfrentamientos con armas de fuego y manipulación de explosivos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

## 2.1 Antecedentes de la investigación

“Los antecedentes reflejan los avances y el Estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones”. Según Fidias Arias (2004). Se refieren a todos los trabajos de investigación que anteceden al nuestro, es decir, aquellos trabajos donde se hayan manejado las mismas variables o se hallan propuestos objetivos similares; además sirven de guía al investigador y le permiten hacer comparaciones y tener ideas sobre cómo se trató el problema en esa oportunidad.

Valencia Y., (2006), en su caso de estudio titulado "**Chaleco antibalas. Constitución y desempeño antibalístico**", presentado como requisito para obtener el grado de especialización de Ingeniería en Procesos de Polimerización en el Centro de Investigación de Química Aplicada de Saltillo-Coahuila, tuvo como objetivo la investigación sobre la fabricación, el comportamiento y los efectos en el cuerpo humano que puede causar el impacto de un proyectil, dando como resultado que para incrementar la protección de los chalecos antibalas sin aumentar de manera significativa su peso, actualmente se llevan a cabo estudios sobre compuestos poliméricos nanoestructurados que permitirán producir placas con mayor protección antibalística.

Como vínculo a este estudio otorgara aportes importantes ya que el propósito de este trabajo de investigación es el estudio de las propiedades de los materiales para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.

Así mismo, Gamboa R., (2011), en su tesis titulada "**Estudio y caracterización de un blindaje termoplástico a base de fibras de aramida**", en opción de Maestro en Materiales Poliméricos en el Centro de Investigación Científica de Yucatán-Mérida, es una herramienta que permite observar el estudio y comportamiento del blindaje termoplástico con el uso de fibras poliméricas que tuvo como conclusión que el material compuesto aramida/PP es capaz de mantener su límite balístico en ambientes de humedad y temperatura.

Esta investigación guarda como relación con este estudio la comparación de varios tipos de fibras para la mejor elección de estas en cuando a calidad, duración, enfrentando diversos ambientes, y así resguardar la vida de los cuerpos de seguridad.

En este mismo orden de ideapretende proponer un diseño de un casco de combate antiexplosivos, y así obtener datos sobre si los materiales que se utilizan son los adecuados o no, pudiéndose sustituir por otros más ligeros o más resistentes, dependiendo de los objetivos y funciones que se quieran alcanzar con el casco.

Este tema es de gran importancia para este proyecto ya que el estudio para el diseño del casco antiexplosivo es de utilidad para el desarrollo del traje antiexplosivos, mediante la observación de las cargas dinámicas que se enfrentan los materiales que se utilizan para su fabricación.

## **2.2 Bases Teóricas**

Arias, 2006 “Las bases teóricas se refieren al desarrollo de los aspectos generales del tema, comprenden un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado.

### **2.2.1 Fibras de Carbono**

La fibra de carbono que, aunque es uno de los materiales más populares, sigue siendo visto como un compuesto raro y exótico, de alto precio y particularmente complejo; existen grandes interrogantes respecto a este material, pocos conocen sus orígenes, cómo se fabrica y que ventajas posee, además se incluye en el grupo de los materiales compuestos, es decir, aquellos que están hechos a partir de la unión de dos o más componentes, que dan lugar a uno nuevo con propiedades y cualidades superiores, que no son alcanzables por cada uno de los componentes de manera independiente. En el caso particular de la fibra de carbono, básicamente se combina un tejido de hilos de carbono (refuerzo), el cual aporta flexibilidad y resistencia, con una resina termoestable (matriz), comúnmente de tipo epoxi, que se solidifica gracias a un agente endurecedor y actúa uniendo las fibras, protegiéndolas y transfiriendo la carga por todo el material;

por su parte el agente de curado ayuda a convertir la resina en un plástico duro(Ver figura 2)



Figura 2. Las fibras de carbono son cuatro veces más flexibles que las mejores aleaciones de acero y pesan una cuarta parte.

Fuente: Revista Metal Actual Pág. 11.

De la combinación de estos tres componentes, se obtienen las propiedades mecánicas del nuevo material, pues aunque la malla de hilos de carbono, constituye por sí sola un elemento resistente, necesita combinarse con la proteja con factores externos y refuerzos físicos.(ver figura 3)



Figura 3. Entre 5 y 10 micras mide un filamento de carbono, cinco veces más delgado que un cabello humano.

Fuente:www.eltamiz.com

### **2.2.1.1 Refuerzo con Tejidos de Fibra de Carbono**

El tejido de fibras de carbono procede de una mezcla de polímeros, el más utilizado es el PAN (poliacrilonitrilo) que por ser la materia prima se llama precursor y que normalmente acrilato, metil metacrilato, vinil acetato y cloruro de vinilo, todos

derivados del petróleo, que es carbono1 concentrado, proveniente de restos de materia orgánica (fósiles); en particular, el PAN es una fibra de plástico formada por largas cadenas de moléculas de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno en forma de escalera. Cuando se calienta el PAN en correctas condiciones de temperatura, las cadenas de moléculas de carbono se juntan mientras los demás elementos se separan, los átomos de carbono del polímero cambian de distribución y forma una estructura estable de anillos fuertemente unidos que soportan los unos a los otros.(ver tabla 1)

Tabla 1. Propiedades y aplicaciones de las fibras de carbono.

<b>Propiedades</b>	<b>Aplicaciones</b>
- Resistencia mecánica, tenacidad y densidad	- Transporte y artículos deportivos
- Estabilidad dimensional (logra conservar su forma)	- Tecnología aeroespacial
- Amortiguación de vibraciones, resistencia y tenacidad	- Equipos de audio, brazos de robot.
- Resistencia a la fatiga y auto-lubricación	- Maquinaria textil, ingeniería en general
- Resistencia química y térmica	- Industria química y nuclear
- Alta conductividad eléctrica	- Componentes equipos electrónicos
- Compatibilidad biológica	- Medicina (prótesis, equipamiento quirúrgico)

Fuente: Melo (2020)

Mediante un nuevo calentamiento los anillos se juntan en 'listones' de hexágonos de átomos de carbono muy flexibles, a diferencia del grafito cuya estructura permanece plana. La unión flexible de los listones evita que se deslicen, como pasa en la estructura plana del grafito, lo que resulta en un notable incremento en la resistencia del material. Los hilos de PAN son trefilados en filamentos cinco veces más delgados que un cabello humano y están compuestos entre 92 y 100 % de átomos de carbono, según sean las propiedades que se busquen. En síntesis, la fibra de carbono se produce por la quema controlada del oxígeno, nitrógeno y otros elementos diferentes al carbono de la fibra precursora, dejando solo el carbono en el material.

Algunos fabricantes también utilizan precursores de rayón, proveniente de la celulosa y precursores de alquitrán, relativamente más baratos que el PAN pero menos efectivos. Cada tipo de precursor tiene su técnica de procesado pero en general todos siguen una secuencia, teniendo como base el proceso de fabricación con PAN se pueden distinguir las siguientes etapas:

- Estabilización: durante esta fase las fibras de PAN son sometidas a temperaturas entre los 200°C y 300 °C mientras que son estiradas y alargadas a través de un horno de oxidación, con el fin de darles la orientación molecular requerida para que puedan tener estabilidad dimensional y de esta manera evitar que se fundan en el siguiente proceso.
- Carbonización: una vez las fibras han adquirido estabilidad, son sometidas a temperaturas superiores a los 1.000°C bajo una atmósfera inerte, es decir, en la que ningún agente externo interfiere en el proceso. Durante este periodo de calentamiento los átomos de nitrógeno e hidrógeno desaparecen y los anillos hexagonales de carbono puro se orientan a lo largo de toda la longitud del hilo.
- Grafitización: es un nuevo tratamiento de calentamiento a temperaturas, por encima de 2000°C, el tamaño de los cristales de carbono aumenta y mejora la orientación de los anillos en la fibra.

- Tratamiento de superficie: finalmente la fibra pasa a través de una cámara donde se le aplica un producto catalizador que promueve la adhesión de la fibra a la resina.
- Hasta este punto del proceso se obtiene el producto primario: los filamentos individuales de carbono, también llamados mechas, con un diámetro que oscila

Resistencia específica	2,0	0,17
Densidad [gr/ ]	1,75	7,9

Fuente: Melo (2020)

Su resistencia es casi tres veces superior a la del acero y su densidad es 4,5 veces menor obviamente en función de su área. En cuanto a módulo de elasticidad hay una amplia gama de FC desde 240 hasta 400. Otras propiedades muy apreciables en la fibra de carbono son la resistencia a la corrosión, al fuego e inercia química y la conductividad eléctrica. Ante variaciones de temperatura conserva su forma. Es un caso común de metonimia, en el cual se le da al todo el nombre de una parte: el nombre de las FC que refuerzan la matriz de resina.

La fibra de carbono es un polímero convertido en fibra. En la mayoría de los casos las fibras de carbono permanecen como carbón no grafítico. El término fibra de grafito solo está justificado cuando, las fibras de carbono han sido sometidas a un tratamiento térmico de grafitización (2000-3000 °C) que les confiere un orden cristalino tridimensional, visible únicamente mediante rayos X. La cristalografía de rayos X nos permite conocer la estructura exacta de cada tipo de FC. Nos resulta extraño pero nos recuerda mucho al grafito: una estructura hexagonal. El grafito, la mina de lápiz, es todo lo contrario: blando y frágil. A nivel atómico no podemos comprender las diferencias entre la fibra de carbono y el grafito, pero la estructura es diferente: observamos muchos cambios en la superposición de las fibras y las cintas en la FC y en el grafito.

El grafito tiene una estructura plana triangula con enlaces triples y queda un electrón libre. Este electrón libre explica que el grafito es una de las pocas estructuras no metálicas que conducen la electricidad. La fibra de carbono también es conductora.(ver figura 4)

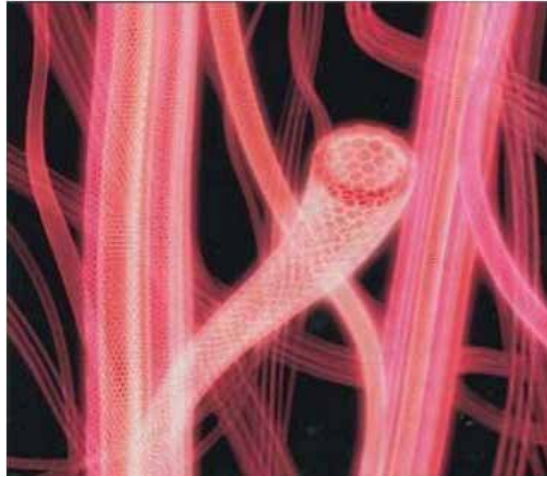


Figura 4. La fibra de grafito cristaliza en el sistema hexagonal, el panal de abeja. La mayoría de las fibras no son de grafito sino de carbono, obtenidas a menor temperatura.

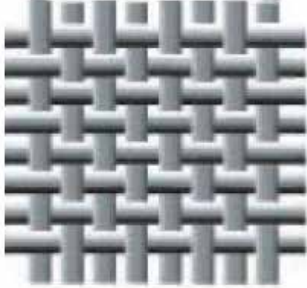
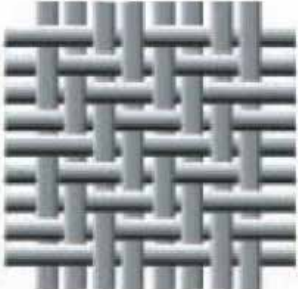
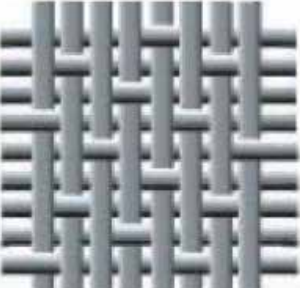
Fuente: Guizzo, Erico. Winner: carbontakeoff. IEEE, New York. 2006.

El carbono forma parte de toda la química orgánica y de 20 millones de moléculas conocidas, en suma es un elemento esencial para la vida y la evolución. También es un elemento alotrópico, es decir, que cuándo se encuentra en estado puro, enlaza entre sí sus átomos de diferentes maneras y por ello puede presentarse en diversas formas: grafito o diamante, en todos estos casos la composición química es idéntica, carbono puro, pero varía la forma en la que se distribuyen los átomos en cada estructura.

Las fibras de carbono presentan una combinación de características que compensan sus precios y las convierten (para determinadas aplicaciones) en una alternativa valiosa. La siguiente tabla contiene las características e imágenes de los tejidos más comunes(ver tabla 3)

Tabla 3. Características e imágenes de los tejidos más comunes.

Descripción	Imagen
-------------	--------

<p>Tejido plano o plain, un tejido plano es aquel en el que cada hilado longitudinal y transversal pasa por encima de un hilo y por debajo del próximo. Esta construcción proporciona una tela reforzada que es ampliamente usada en aplicaciones generales y garantiza laminados de buen espesor. Este tipo de tela es muy estable, por lo que difícilmente se distorsiona.</p>	
<p>Tejido cruzado o twill: en un tejido cruzado el número de hilados longitudinales que pueden pasar sobre los transversales (y recíprocamente) pueden variarse, dando distintas construcciones de tejidos cruzados. Estos se marcan más fácilmente que los tejidos planos y son fácilmente humedecidos para que se adhieran a la resina.</p>	
<p>Tejido satinado o satín: en las telas del tejido satinado el entrelazado es similar al del cruzado, aunque el número de hilados longitudinales y transversales que pasan recíprocamente por encima y por debajo, antes del entrelazado, es mayor. Por lo tanto, un lado del tejido se construye principalmente con fibras longitudinales, y el otro lado, con transversales. Tiene un excelente acabado superficial, similar al satén, de allí su nombre.</p>	

Fuente: Melo (2020)

También brindan la seguridad gracias a una mejor resistencia a los impactos y al fuego, ofreciendo un mejor aislamiento térmico y eléctrico. A su vez, enriquecen las

posibilidades de diseño, permitiendo aligerar estructuras y realizar formas complejas, aptas para cumplir varias funciones.

“Es cierto que el costo de fabricación de la fibra de carbono es superior a los materiales tradicionales como el acero, sin embargo, ahorrando piezas de enlace y mecanización, reduciendo de manera importante los gastos de mantenimiento y aumentando la vida útil y la seguridad, las ventajas pueden ser notables. Y realidad, la fibra de carbono como solución representa para la industria un gran avance tecnológico. Es una alternativa, que seguramente no desplazará el uso de los materiales tradicionales pero si será más utilizada como complemento.”

(Ibarra , 2005:98)

### **2.2.1.3 Proceso de Obtención**

Cada filamento de carbono es producido a partir de un polímero precursor. El polímero precursor es comúnmente rayón, poliacrilonitrilo (PAN) o una resina derivada del petróleo. Para los polímeros sintéticos como el rayón o el PAN, el precursor es primeramente hilado en filamentos, mediante procesos químicos y mecánicos para alinear los átomos de polímero para mejorar las propiedades físicas finales de la fibra de carbono obtenida.

Las composiciones de precursores y de los procesos mecánicos utilizados durante el hilado pueden variar entre los fabricantes. Normalmente se mezcla el PAN con algo de metil acrilato, metil metacrilato, vinil acetato y cloruro de vinilo. Después de embutición o hilatura en húmedo (a veces también se emplea la técnica de hilado fundido), las fibras de polímero se calientan para eliminar los átomos que no sean de carbono (carbonización), produciendo la fibra de carbono final. Las fibras de carbono pueden ser sometidos a un tratamiento de mejorar las cualidades de manejo, luego son enrolladas en bobinas. Las bobinas se utilizan para suministrar a máquinas que producen hilos de fibra de carbono o tejido.

Un método común de la fabricación consiste en calentar los filamentos PAN en una atmósfera con aire (oxidación) a aproximadamente 300°C, que rompe muchos de los enlaces de hidrógeno y oxida la materia. El PAN oxidado se coloca en un horno

que tiene una atmósfera inerte de un gas como el argón, y se calienta a aproximadamente 2000°C, lo que induce a la grafitización del material, cambiando la los enlaces de la estructura molecular. Cuando se calienta en las condiciones adecuadas, estas cadenas se unen una al lado de la otra, formando estrechas láminas de grafeno que con el tiempo se unen para formar un solo filamento cilíndrico. El resultado es generalmente 93-95% de carbono.

Una baja calidad de fibra se pueden fabricar con brea de mesofase o rayón como precursor en lugar de PAN. Al material obtenido se le pueden variar algunas de sus propiedades, confiriéndoles alto módulo, o alta resistencia, mediante procesos de tratamiento térmico. El material que ha sido calentado de 1500 a 2000°C (carbonización) exhibe la mayor resistencia a la tracción (820.000 psi , 5.650 MPa o N/mm<sup>2</sup>), mientras que la fibra de carbono calentada de 2500 hasta 3000°C (grafitización) muestra un alto módulo de elasticidad (77.000.000 psi o 531 GPa o 531 kN/mm<sup>2</sup>). (ver figura 5)

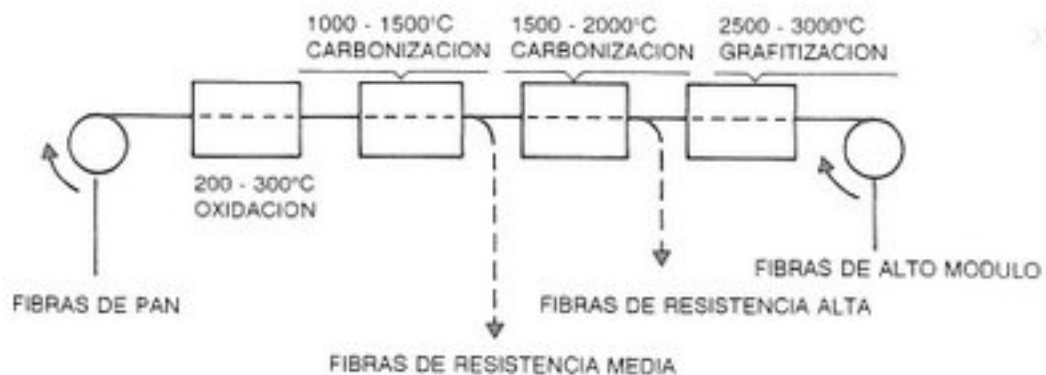


Figura 5 Proceso de obtención de la fibra de carbono

. Fuente: <https://kary0.webnode.mx/fibra-de-carbono/proceso-de-obtencion/>

#### 2.2.1.4 Síntesis de la fibra de Carbono

La fibra de carbono es un polímero de una cierta forma de grafito. El grafito es una forma de carbono puro. En el grafito los átomos de carbono están dispuestos en grandes láminas de anillos aromáticos hexagonales. (ver figura 6)

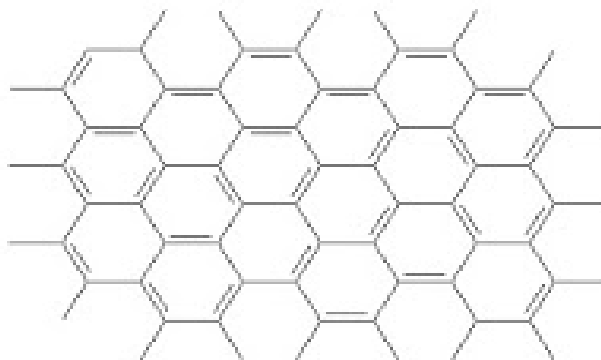


Figura 6. Una sección de la lámina de grafito. Fuente:<https://kary0.webnode.mx/fibra-de-carbono/sintesis-de-la-fibra-de-carbono>.

La fibra de carbono se fabrica a partir de otro polímero, llamado poliacrilonitrilo, a través de un complicado proceso de calentamiento. Cuando se calienta el poliacrilonitrilo, el calor hace que las unidades repetitivas ciano formen anillos.(ver figura 7)

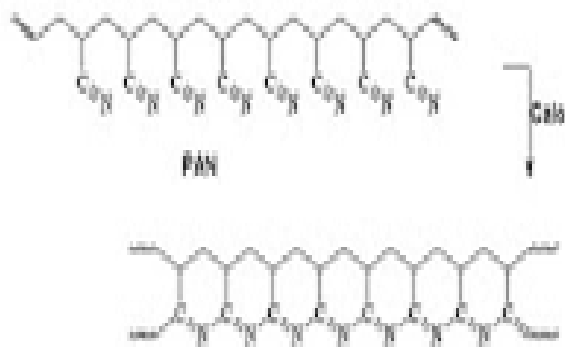


Figura 7. Anillo de unidades repetitivas ciano.  
Fuente:<https://kary0.webnode.mx/fibra-de-carbono/sintesis-de-la-fibra-de-carbono>.

Al aumentamos el calor, los átomos de carbono se deshacen de sus hidrógenos y los anillos se vuelven aromáticos. Este polímero constituye una serie de anillos piridínicos fusionados.(ver figura 8)

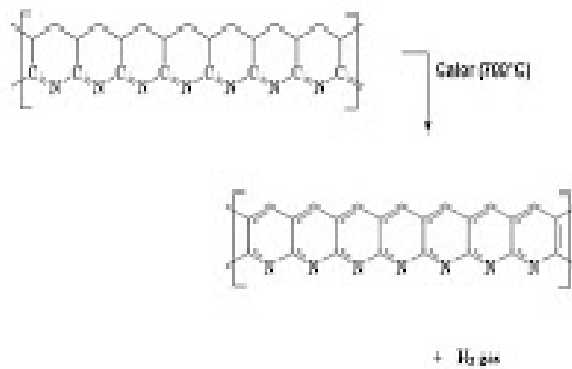


Figura 8. Serie de anillos piridínicos fusionados.

Fuente: <https://kary0.webnode.mx/fibra-de-carbono/sintesis-de-la-fibra-de-carbono>.

Luego se incrementa la temperatura a unos 400-600°C. De este modo, las cadenas adyacentes se unen(ver figura 9)

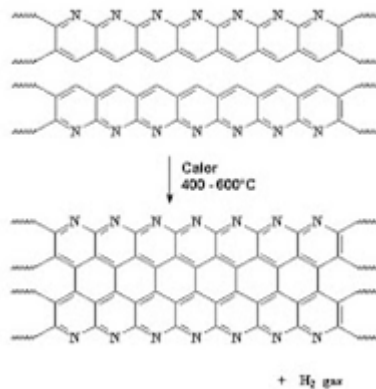


Figura 9. Unión de cadenas adyacentes.

Fuente: <https://kary0.webnode.mx/fibra-de-carbono/sintesis-de-la-fibra-de-carbono>.

Este calentamiento libera hidrógeno y da un polímero de anillos fusionados en forma de cinta. Incrementando aún más la temperatura de 600 hasta 1300°C, nuevas cintas se unirán para formar cintas más anchas:( ver figura 10)

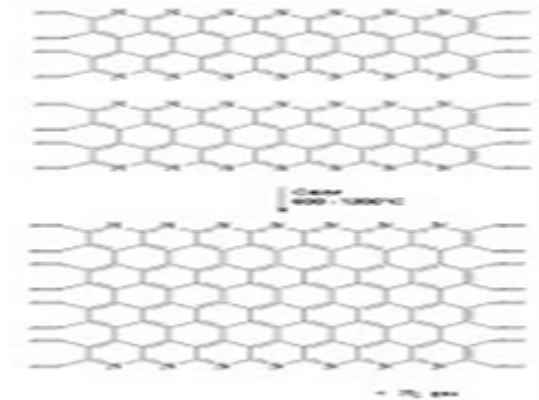


Figura 10: Cintas más anchas de anillos fusionados.

Fuente: <https://kary0.webnode.mx/fibra-de-carbono/sintesis-de-la-fibra-de-carbono>.

De este modo se libera nitrógeno. Como se puede observar, el polímero que es obtenido tiene átomos de nitrógeno en los extremos, por lo que, estas cintas pueden unirse para formar cintas aún más anchas. A medida que ocurre esto, se libera más nitrógeno. Terminado el proceso, las cintas son extremadamente anchas y la mayor parte del nitrógeno se liberó, quedando una estructura que es casi carbono puro en su forma de grafito.

La densidad de la fibra de carbono es de 1.750 kg/m<sup>3</sup>. Es conductor eléctrico y de baja conductividad térmica. Al calentarse, un filamento de carbono se hace más grueso y corto.

Su densidad lineal (masa por unidad de longitud, con la unidad \* 1 tex = 1 g/1000 m) o por el número de filamentos por yarda, en miles.

### 2.2.1.5 Espesor

Cada fibra de carbono está formada por miles de filamentos de carbono. Los valores típicos de número de filamentos por fibra suelen oscilar entre 1000 y 24000 filamentos, así se ha estandarizado la nomenclatura 1K, 3K, 6K, 12K, 18K y 24K, para definir el número de filamentos por fibra (donde K representa el valor por mil).

Estos miles de filamentos pueden estar trenzados formando una especie de hilo cilíndrico llamado fibra trenzada o "twisted", o pueden situarse en paralelo formando una fibra denominada "untwisted" o simplemente "tow".

En la fibra "tow", al situarse en paralelo cada filamento, permite a la fibra un espesor teórico igual al de un único filamento (5-10  $\mu\text{m}$ ). Por el contrario, en la fibra trenzada (menos común), el conjunto de filamentos adquiere una forma cilíndrica, cuyo espesor vendrá determinado por el número de filamentos que contiene. <sup>2</sup>

Así, a modo de ejemplo, un tejido formado por fibras de carbono 3K"tow", contendrá fibras de 3000 filamentos de carbono no trenzados entre sí.

### **2.2.1.3 Propiedades**

- Alta flexibilidad
- Alta resistencia
- Bajo peso
- Alta resistencia
- Tolerancia a altas temperaturas y baja expansión térmica
- Muy Elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado
- Baja densidad, en comparación con otros elementos como por ejemplo, el acero
- Elevado precio de producción
- Resistencia a agentes externos
- Gran capacidad de aislamiento térmico
- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, solo si se utiliza una matriz termoestable

Todas estas características las hacen muy populares en la industria aeroespacial, ingeniería civil, aplicaciones militares, deportes de motor junto con muchos otros deportes. Sin embargo, son relativamente caros en comparación con las fibras similares, tales como fibras de vidrio o fibras de plástico, lo que limita en gran medida su uso.

Las razones del elevado precio de los materiales realizados con fibra de carbono se deben a varios factores:

- El refuerzo de la fibra, es un polímero sintético que requiere un caro y largo proceso de producción. Este proceso se realiza a alta temperatura entre 1100 y 2500 °C en atmósfera de hidrógeno durante semanas o incluso meses dependiendo de la calidad que se desee obtener ya que pueden realizarse procesos para mejorar algunas de sus características una vez se ha obtenido la fibra.
- El uso de materiales termoestables dificulta el proceso de creación de la pieza final, ya que se requiere de un complejo utillaje especializado, como el horno autoclave

#### **2.2.1.7 Ventajas**

- Alta resistencia a la tracción
- Gran durabilidad
- Fluencia muy reducida
- Excelente resistencia a los ácidos y las bases
- Fácil aplicación
- Peso y grosor reducidos
- Se adaptan de forma flexible a la geometría de la superficie

#### **2.2.1.8 Usos y aplicaciones**

Tiene muchas aplicaciones en la industria aeronáutica y automovilística, al igual que en barcos y en bicicletas, donde sus propiedades mecánicas y ligereza son muy importantes. También se está haciendo cada vez más común en otros artículos de consumo como patines en línea, raquetas de tenis, edificios, ordenadores portátiles, trípodes y cañas de pesca e incluso en joyería.

Las fibras de carbono, se usan para estructuras textiles utilizando máquinas de tejidos. Mezclando las fibras cortas de carbono con una cantidad exacta de polímeros

y utilizando máquinas de moldeo por inyección o instalaciones de extrusión se pueden producir materiales plásticos para la construcción.

La fibra de carbono se utiliza principalmente para reforzar materiales compuestos, para obtener materiales conocidos como plásticos reforzados con fibra de carbono (PRFC)

Las técnicas utilizadas para materiales poliméricos son: moldeo manual (hand lay up), esparado (spray lay up), pultrusión, bobinado de hilo, compresión, BMC, SMC, SCRIMP, RTM, etc.

Los materiales no poliméricos también se puede utilizar como matriz de las fibras de carbono. Debido a la formación de metal carburos metálicos y corrosión, el fibrocarbono ha tenido un éxito limitado en aplicaciones de compuestos de matriz metálica.

El RCC (carbono-carbono reforzado) se compone de refuerzo de fibrocarbono con grafito, y se utiliza estructuralmente en aplicaciones de alta temperatura. La fibra también tiene uso en la filtración de gases a alta temperatura, como electrodo de gran superficie e impecable resistencia a la corrosión, y como un componente anti-estático.

### **2.2.2 Fibra de Kevlar**

Las fibras de aramida fueron desarrolladas por Du Pont, y el nombre de su propiedad para estas fibras fue Kevlar (poliparafenileno tereftalamida), el cual es comúnmente usado, sin embargo su nombre original fue PRD-49. La fibra Aramida se caracteriza por su color amarillo, ligereza, excelente resistencia a la tracción y notable flexibilidad. Son fibras de poliamida, relacionadas con el nylon convencional., pero cuyas cadenas alopáticas (estructura molecular es una cadena abierta) son remplazadas por anillos aromáticos (moléculas cíclicas, no saturadas, cuya estabilidad es superior a la de las estructuras de cadena abierta con igual número de enlaces múltiples). El Kevlar® es una marca registrada de Du Pont Company y es la aramida más conocida y más difundida. El Kevlar® se estira mucho antes de romperse. La resistencia a la tracción del aluminio aleado es cerca de 65000 psi, o cerca de un cuarto de un compuesto de Kevlar®. No obstante, el objetivo en la aviación no es siempre tener una

parte fuerte, sino preferiblemente tener una parte de bajo peso. Usando refuerzos de Kevlar®, un componente puede ser fabricado con la resistencia de un metal pero con una fracción de su peso.

El Kevlar® estructural usado en aviación es conocido como Kevlar 49. El Kevlar 29 es usado para botes y el Kevlar 129 es un material de prueba para balística. Estos materiales difieren en el tejido, peso y proceso de manufactura. La aramida es un material ideal para usarse en aviación, en partes que están sujetas a grandes esfuerzos y vibraciones.

Pero la aramida también tiene sus desventajas. Debido a que la aramida se estira, puede causar los problemas cuando está cortado. Taladrar la aramida pueden ser un problema cuando el taladro agarra una fibra y la tira hasta el punto de la ruptura. Este material parecerá rizado. Si el material rizado alrededor del agujero no se elimina o no se sellan las costuras puede actuar como una mecha y puede absorber humedad.(ver figura 11)



Figura 11. Tejido de fibra de aramida, Kevlar 49 tejido especial para aviación.

Fuente: [www.aviacao.org](http://www.aviacao.org)

La humedad en forma de agua, aceite, gasolina o fluido hidráulico si bien no daña a la aramida, pueden causar problemas con los sistemas de resina usados causando su deterioro, lo cual puede causar que las capas de la lámina se separen.

#### **2.2.2.1 Aplicaciones del Kevlar**

El Kevlar presenta unas características únicas, que hacen que sea una fibra extremadamente versátil, y su uso en la industria sea extendido, aplicándose en múltiples campos.

##### Blindaje

Por sus propiedades el hilo de Kevlar se emplea en la elaboración de chalecos antibalas. Sus fibras, que presentan una dificultad a la separación, se entrelazan en diferentes capas. Así consiguen frenar la fuerza cinética de la bala hasta detenerla. Esta propiedad también consigue frenar las punciones que se puedan hacer por arma blanca. Su ligereza lo hace ideal, ya que por lo general estos equipos tienen un peso elevado.

##### Protección

Su resistencia a altas temperaturas, así como a algunos agentes químicos lo convierten en un material muy usado en los equipos de protección. Guantes contra cortes, aislantes térmicos, mantas ignífugas o cascos, son algunos de los ejemplos de uso de este material.

#### **2.2.2.2 Propiedades Mecánicas del Kevlar**

Esencialmente hay dos tipos de fibras de kevlar: kevlar 29 y kevlar 49: El kevlar 29 es la fibra tal y como se obtiene de su fabricación. 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.

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. 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. Las propiedades mecánicas del kevlar son muy buenas en comparación con otros elementos existentes en la naturaleza, a continuación se detalla algunos valores de kevlar 29 y 49.(ver figura 12)

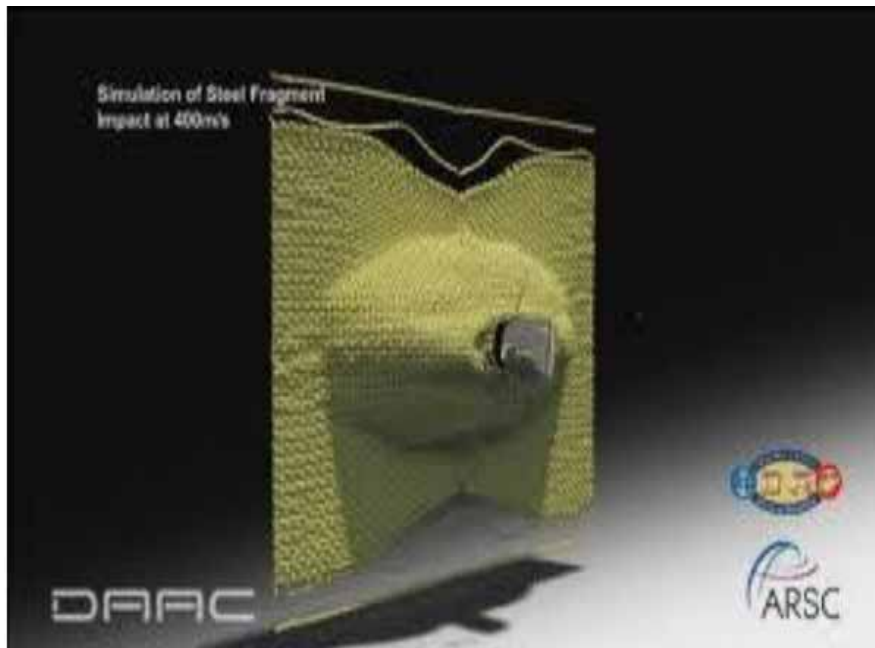


Figura 12. Simulación de un fragmento de kevlar sometido al impacto de una bala.

Fuente: Artículo Kevlar. Disponible en: [www.tefloon.blogspot.com](http://www.tefloon.blogspot.com)

### Rigidez

El kevlar posee una excepcional rigidez para tratarse de una fibra polimérica. El valor del módulo de elasticidad a temperatura ambiente es de entorno a 80 GPa (kevlar 29) y 120 (kevlar 49).<sup>6</sup> El valor de un acero típico es de 200 GPa.

### Resistencia

El kevlar posee una excepcional resistencia a la tracción, de entorno a los 3,5 GPa.<sup>6</sup> En cambio el acero tiene una resistencia de 1,5 GPa. La excepcional resistencia del kevlar se debe a la orientación de sus cadenas moleculares, en dirección del eje de

la fibra, así como a la gran cantidad de enlaces por puentes de hidrógeno entre las cadenas, entre los grupos aramida.

#### Elongación a Rotura

El kevlar posee una elongación a rotura de entorno al 3,6 % (kevlar 29) y 2,4 % (kevlar 49) mientras que el acero rompe en torno al 1 % de su deformación.<sup>7</sup> Esto hace que el kevlar sea un material más tenaz y absorba mucha mayor cantidad de energía que el acero antes de su rotura.

#### Tenacidad

La tenacidad del kevlar es en torno a los 50 MJ m<sup>-3</sup>, frente a los 6 MJ m<sup>-3</sup> del acero.

#### Otras Propiedades

Conductividad eléctrica baja; alta resistencia química; contracción termal baja; alta dureza; estabilidad dimensional excelente y alta resistencia al corte.

(Highway, 2008:182)

#### **2.2.2.3 Propiedades Térmicas del Kevlar**

- Calor Específico ( J K<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> ): 1400
- Coeficiente de Expansión Térmica ( x10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup> ): -2 ejes a lo largo
- Conductividad Térmica ( W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> ): 0,04 a 23C
- Temperatura Máxima de Utilización ( C ): 180-245
- Temperatura Mínima de Utilización ( C ): -200

#### **2.2.2.4 Resistencia Química**

- Ácidos – concentrados: Mala.
- Ácidos – diluidos: Aceptable.
- Alcalis: Buena.
- Alcoholes: Buena.
- Cetonas: Buena.
- Grasas y Aceites: Buena.
- Halógenos: Buena.

- Hidrocarburos Aromáticos: Buena.

#### **2.2.2.5 Propiedades físicas.**

- Densidad ( g cm<sup>-3</sup> ): 1,44.
- Resistencia a los Ultra-violetas: Aceptable.
- 

#### **2.2.3 Fibra Nomex**

Es una marca registrada de un material de aramida resistente a las llamas desarrollado a principio de la década de los años 1960 por DuPont, fue comercializado en 1967.

Puede ser considerado como un Nylon, una variante del kevlar y Aramida donde partículas adherentes de caucho vulcanizado son inyectadas al material base ,resultante en un material flexible similar al nylon. Es vendido en forma de fibra y en forma de láminas y es utilizado donde quiera se necesite resistencia al calor y las llamas. Las láminas de Nomex tipo 410 son uno de los tipos más fabricados, mayormente para propósitos de aislamiento eléctrico. Se utiliza mucho en los trajes de moto GP a nivel mundial un tipo de traje con nomex y teflón que ayuda con el aislamiento del fuego, el flujo (para deslizarse en la pista) para su fortaleza y durabilidad, es el compuesto más utilizado en estos trajes de gama baja y alta.(ver figura 13)



Figura 13. Fibra nomex.  
Fuente: MBK tape solutions

### 2.2.3.1 Aplicaciones del Nomex

Los arámidos se utilizan en la industria aeroespacial y militar, en forma de ropa antibalas y como sustituto del asbesto. La palabra arámido es una abreviación de poliamida aromática (aromatic polyamide, ar-amid). Las fibras arámidas más conocidas son el nylon para-arámido (Kevlar) y el nylon aromático (Nomex). De hecho, el nomex es la meta-variante del kevlar, ambos arámidos son resistentes al calor y a la flama, pero el kevlar, puede ser alineado molecularmente y da mayor fuerza, mientras que el nomex no puede ser alineado molecularmente y su fuerza es menor.

- El Nomex se utiliza para la fabricación de la ropa protectora anti incendios que se extienden desde los uniformes de la tripulación aérea hasta la ropa interior de los soldados.
- La comodidad del Nomex, que puede ser tejido o ser hecho a punto incluso, se diseña específicamente para proporcionar transpiración. Además la ropa puede ser teñida en colores de camuflaje a la reflexión infrarroja.
- La ropa fabricada a partir de fibras de nomex tiene una excepcional durabilidad, de hasta cinco veces mayor que el polyester/algodón usado para el mismo fin.
- Dondequiera que haya una necesidad del aislamiento eléctrico, hay generalmente productos de Nomex para satisfacer dichas necesidades. En sus variadas formas, sobre todo los papeles y los cartones prensados, podemos usarlo para aislamiento en transformadores, motores eléctricos, los generadores y todo tipo de equipos eléctricos.
- También se utiliza el Nomex como aislante eléctrico en los trenes más avanzados, para los transformadores, los motores, en todas las conducciones eléctricas, etc.
- El Nomex se utiliza en todos los tipos de motores de CA y CC, en servomotores, a 13.6kV y en generadores industriales vapor-turbina 150MW.

- Protección térmica: Los motores pueden alcanzar temperaturas considerablemente superiores a la de diseño debido a sobrecargas, humedad, desequilibrio de fases, en el arranque y la parada, etc.
- El papel y el cartón prensado de Nomex se utiliza en equipos electrónicos por sus características ignífugas excepcionales. También ofrecen alta resistencia térmica. Se utilizan generalmente en interruptores y controles, en dieléctricos, etc.(ver figura 14)



Figura 14. Piloto de la fórmula 1 en llamas con traje fabricado con nomex.  
Fuente: eluniversal.com

### **2.2.3.2 Propiedades Mecánicas del Nomex**

Los productos Nomex® densificados son resistentes, elásticos (en el caso de los productos más finos), flexibles y tienen buena resistencia a las roturas y la abrasión.

Tabla 4. Propiedades Mecánicas del nomex

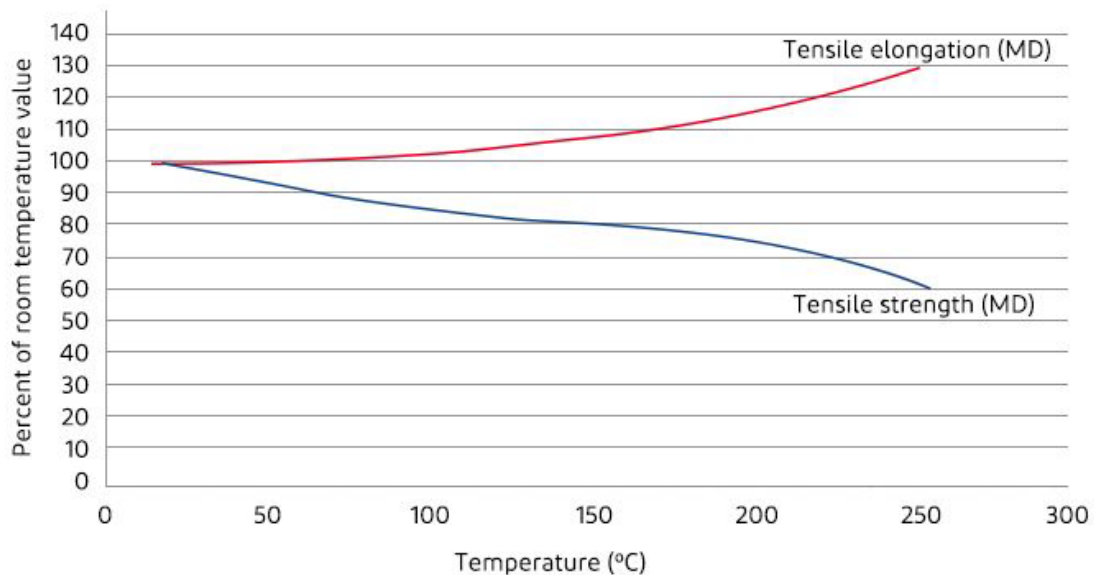
Nominal thickness <sup>1</sup>	(mil)	2	3	4	5	7	10	12	15	20	24	30	Test method
	(mm)	0.05	0.08	0.10	0.13	0.18	0.25	0.30	0.38	0.51	0.61	0.76	
Typical thickness <sup>1</sup>	(mil)	2.2	3.1	4.2	5.2	7.2	10.2	12.2	15.3	20.4	24.2	30.6	ASTM D374
	(mm)	0.06	0.08	0.11	0.13	0.18	0.26	0.31	0.39	0.52	0.61	0.78	
Basis weight, g/m <sup>2</sup>		41	64	88	115	174	249	310	395	549	692	839	ASTM D646
Density, g/cc		0.72	0.81	0.83	0.88	0.95	0.96	1.00	1.02	1.06	1.13	1.08	
Tensile strength, N/cm	MD	43	68	93	141	227	296	380	462	610	728	816	ASTM D828-97
	XD	19	34	49	71	116	161	208	252	374	500	592	
Elongation, %	MD	9	12	12	16	20	22	23	20	21	18	18	ASTM D828-97
	XD	7	9	9	13	15	18	18	16	17	14	14	
Elmendorf tear, N	MD	0.7	1.2	1.9	2.3	3.7	5.6	7.1	9.0	14.3	n/a	n/a	TAPPI 414
	XD	1.5	2.4	4.4	4.8	7.2	10.6	13.7	16.7	24.8	n/a	n/a	
Initial tear strength <sup>2</sup> , N	MD	11	16	24	31	48	69	88	110	158	191	233	ASTM D1004
	XD	6	9	14	17	27	42	55	71	114	153	193	
Shrinkage at 300° C, %	MD	1.8	1.1	0.8	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	
	XD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	

MD = Machine direction; XD = Cross direction;  
 1. Method D; 17 N/cm<sup>2</sup>  
 2. Data presented for initial tear strength is listed in the direction of the sample per ASTM D1004. The tear is 90 degrees to sample direction – hence for papers with a higher reported MD initial tear resistance, the paper will be tougher to tear in the cross direction.

Fuente: dupont.mx

### Efecto de la Temperatura y la Humedad en las Propiedades Mecánicas

Las temperaturas elevadas tienen solo un efecto menor en la fuerza de tensión y elongación del producto Nomex®.



ASTM D828-97  
 MD = Machine direction

Grafico 1: Efecto de la Temperatura y la Humedad en las Propiedades Mecánicas.

Fuente: dupont.mx

Temperaturas muy bajas, el papel Nomex® también retiene buenas propiedades mecánicas. En el punto de ebullición del nitrógeno líquido (77 K), la fuerza de tensión

del producto Nomex® (0,25 mm [10 mil]) excede el valor de la temperatura ambiente entre un 30 % y un 60 %, según la dirección, mientras que la resistencia a la ruptura es un 3 % superior, por lo que este producto es mejor que la mayoría de los materiales inorgánicos a temperatura ambiente. Gracias a esto, el Nomex® tiene un buen rendimiento en las aplicaciones criogénicas.

Aunque la humedad tiene un efecto negativo menor en la fuerza de tensión del producto Nomex®, las propiedades de alargamiento, resistencia a los desgarros y dureza son mejores en los contenidos más altos de humedad.

### **Propiedades Térmicas**

En los gráficos de Arrhenius del comportamiento con el paso de los años, Underwriters Laboratories (UL) y otros organismos certificados describen los aspectos básicos para el reconocimiento del papel Nomex® como aislante a 220 °C. Estas curvas también se pueden extrapolar a temperaturas más elevadas. Por ejemplo, las mediciones muestran que el Nomex® mantendrá la resistencia dieléctrica de 12 kV/mm (300 V/mil) durante varias horas a 400 °C.

### **2.2.3.3 Estabilidad Química**

La compatibilidad de los papeles y cartones prensados Nomex® con prácticamente todas las clases de adhesivos y barnices eléctricos, como poliamidas, siliconas, epoxis, poliésteres, acrílicos, productos felónicos, gomas sintéticas, etc., así como también otros componentes de equipos eléctricos, se vio demostrada por los diferentes sistemas fabricados con productos Nomex® reconocidos por UL.

Los papeles Nomex poseen un amplio uso comercial y también son totalmente compatibles con los fluidos para transformadores, como aceites minerales, aceites de silicona y otros sintéticos, y con los aceites lubricantes y refrigerantes que se utilizan en los sistemas herméticos. (Nuñez L. 2014)

Los solventes industriales comunes, tales como alcohol, cetona, acetona, tolueno y xileno poseen un efecto de leve suavización e hinchazón en los productos Nomex® 410, similar al del agua. Estos efectos son, en gran parte, reversibles cuando se retira el solvente.

#### **2.2.3.4 Resistencia a las Llamas**

El índice de limitación de oxígeno (LOI, LimitingOxygenIndex) del Nomex® 410 a temperatura ambiente varía entre el 27 % y el 32 %, según el grosor y la densidad. A 220°C, el LOI del Nomex® varía entre el 22 % y el 25 %. Los materiales con un LOI superior al 20,8 %, el valor crítico de combustión en el aire, no permiten la combustión.

#### **2.2.3.5 Resistencia a las Radiaciones**

Esencialmente, el papel Nomex® no sufre los efectos de una radiación ionizante de 800 megarads (8 Mgy) y conserva sus propiedades útiles mecánicas y eléctricas luego de una exposición ocho veces mayor. En comparación, un laminado con una película de poliéster y un colchón de poliéster con el mismo grosor, impregnado en su totalidad con epoxi, se destroza si se lo expone a 800 megarads (8 Mgy). Se observan resultados similares en la exposición a las radiaciones gama.

### **2.3 Bases Legales**

Las bases legales según Pérez (2009), son un “Conjunto de leyes, reglamentos, normas, decretos, etc., que establecen el espacio jurídico que sustenta la investigación” (p.60). Por lo tanto, lo citado hace referencia a los documentos legales para el uso, fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.

#### **Escolta Civil en Venezuela (Resolución Nro. 070 del 24-04-12):**

**Artículo 8.** Uniforme. El uniforme a ser utilizado por los y las Escoltas Civiles de Personas deberá ser previamente aprobado por la Dirección General que ejerza funciones en materia de Servicios de Vigilancia y Seguridad Privada del Ministerio del Poder Popular competente.

Previa solicitud justificada de la persona, órgano o ente contratante, el o la Escolta Civil podrá estar exento o exenta de la utilización del mismo.

En todo caso, el personal para Escolta Civil deberá estar dotado o dotada de un chaleco antibalas debidamente certificado por la autoridad competente.

#### **Normativa NIJ de los Chalecos Antibalas:**

La norma establecida por el NIJ (Instituto Nacional de Justicia) es ampliamente conocida y aceptada por las agencias policiales de todo el mundo. Por lo tanto, el estándar NIJ proporciona el nivel de rendimiento para la mayoría de los chalecos antibalas. Actualmente no hay chalecos 100% a prueba de balas disponibles en el mercado. Sin embargo, el blindaje corporal proporciona al usuario una cantidad sustancial de protección contra diversos tipos de munición de pistolas. Pero, es imperativo que los oficiales de la ley estén conscientes de que la cantidad de protección ofrecida varía dependiendo de cómo un chaleco antibalas se clasifica en términos del nivel de amenaza de que protege.

Cuando los oficiales que desempeñan sus funciones en ciertos tipos de situaciones, Oficiales de Operaciones Especiales, miembros del equipo SWAT y rescatadores de rehenes, enfrentan una amenaza de arma mayor de lo que la armadura regular puede proteger contra, deben usar protección adicional. El estándar NIJ especifica cuáles son los requisitos mínimos para blindaje que han sido probados bajo sus protocolos de rendimiento, y evalúa y clasifica los diferentes tipos de chalecos de acuerdo con los niveles de amenaza. Cuando el blindaje se somete a estas pruebas, los laboratorios autoregulados certificados por NIJ someten a las placas de blindaje una serie de pruebas diferentes para asegurar que cumplen con los estándares de rendimiento del NIJ.

El NIJ tiene la autoridad para volver a probar la armadura que el fabricante ya está vendiendo actualmente para asegurarse de que las normas de rendimiento cumplan con los estándares a medida que pasa el tiempo. Esto es sólo parte de la excelencia de NIJ y sus procedimientos de auditoría. Los estándares de desempeño del NIJ significan que el chaleco antibalas comercialmente disponible cumple con los requisitos mínimos de rendimiento. El NIJ publica sus estándares de balística y puñaladas para chalecos antibalas, como se puede ver haciendo clic en estos enlaces. A continuación se ofrece una descripción general de NIJ 0101.04 y NIJ 0101.06.

#### **Estándar NIJ 0101.04**

- Respaldo está condicionado con Roma Plastilina® nro. 1
- No se especifica el fabricante de la munición utilizada
- Todos las placas de blindaje (incluidas las fundas) serán rociadas durante tres minutos en ambos lados antes de la prueba
- El 4to y 5to disparo tienen un ángulo de impacto de 30 grados

- La distancia mínima al borde de la muestra es de 76 mm
- La distancia mínima a los impactos anteriores es de 51 mm(ver tabla 5)

Tabla 5.Requerimientos Balísticos Penetración / Reverso NIJ 0101.04

Performance level	Test bullet	Bullet mass (gram)	Distance muzzle - target (m)	Velocity (m/s)	Performance requirements			
					Shots/panel 0' NATO impact angle	Shots/panel 30' NATO impact angle	Maximum Back Face Signature (mm)	Total shots per bullet threat
1	.22 caliber LR LRN	2.6	5	329 ± 9	4	2	44	24
	.380 ACP FMJ RN	6.2	5	322 ± 9	4	2	44	24
2A	9 mm FMJ RN	8.0	5	341 ± 9	4	2	44	24
	.40 S&W FMJ	11.7	5	322 ± 9	4	2	44	24
2	9 mm FMJ RN	8.0	5	367 ± 9	4	2	44	24
	.357 Magnum JSP	10.2	5	436 ± 9	4	2	44	24
3A	9 mm FMJ RN	8.0	5	436 ± 9	4	2	44	24
	.44 Magnum SJHP	15.6	5	436 ± 9	4	2	44	24
3*	7.62 mm NATO Ball	9.6	15	847 ± 9	6	0	44	12
4*	.30 caliber M2 AP	10.8	15	878 ± 9	1	0	44	2

Fuente:www.engardebodyarmor.com

### Estándar NIJ 0101.06

- Respaldo está condicionado con roma plastilina® nro. 1.
- Deben proveerse 28 chalecos completos para la certificación de niveles IIA, II y IIIA.
- Para la certificación nivel III, se requiere nueve placas de blindaje.
- Para la certificación nivel IV, se requieren entre 7 y 37 placas de blindaje.

- Todos los chalecos nuevos y las placas de armadura dura se sumergirán durante 30 minutos antes de que comience la prueba. Según la sección 7.8.2 NIJ STD 0101.06.
- Se especificará el fabricante de la munición utilizada.(ver tabla 6)

Tabla 6. Requerimientos Balísticos Penetración / Reverso NIJ 0101.06

Test variables						Performance requirements			
Armor Type	Test Bullet	Bullet Mass (gram)	Bullet Manufacturer	Conditioned Armor Test Velocity* m/s	New Armor Test Velocity* m/s	Hits Per Panel at 0° Angle	Maximum BFS Depth	Hits Per Panel at 30° or 45° Angle <sup>1</sup>	Shots Per Panel
IIA	9 mm FMJ RN	8.0	Remington 23558	355 ± 9	373 ± 9	4	44 mm	2	6
	.40 S&W FMJ	11.7	Remington 23686	325 ± 9	352 ± 9	4	44 mm	2	6
II	9 mm FMJ RN	8.0	Remington 23558	379 ± 9	398 ± 9	4	44 mm	2	6
	.357 Magnum JSP	10.2	Remington 22847	408 ± 9	436 ± 9	4	44 mm	2	6
IIIA	.357 SIG FMJ FN	8.1	Speer 4362	430 ± 9	448 ± 9	4	44 mm	2	6
	.44 Magnum SJHP	15.6	Speer 4453 or 4736	408 ± 9	436 ± 9	4	44 mm	2	6
III	7.62 mm NATO FMJ	9.6	US/NATO M80 ammunition	847 ± 9	-	6	44 mm	0	6
IV	.30 Caliber M2 AP	10.8	US Military	878 ± 9	-	1 to 6	44 mm	0	1 to 6

Fuente:www.engardebodyarmor.com

## 2.4 Definición de Términos Básicos

- **Aramida:**son un tipo de poliamidas en las que hay grupos aromáticos formando parte de su estructura. Por ejemplo, se obtienen fibras muy resistentes a la

tracción como el Kevlar, o fibras también muy resistentes al fuego, como el Nomex, ambas comercializadas por DuPont..

- **Blindaje:**son barreras físicas de protección, utilizadas en sistemas de transporte o combate para reducir o evitar el daño causado por el fuego enemigo.
- **Deformación:**es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos externos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o a la ocurrencia de dilatación térmica.
- **Elongación:**es una magnitud que mide el aumento de longitud que experimenta un material cuando se le somete a un esfuerzo de tracción antes de producirse su rotura.
- **Fibra sintética:**es una fibra textil que proviene de diversos productos derivados del petróleo.
- **Filamento:**cuerpo en forma de hilo muy fino.
- **Poliamida:**es un tipo de polímero que contiene enlaces de tipo amida. Las poliamidas se pueden encontrar en la naturaleza, como la lana o la seda, y también ser sintéticas, como el nylon o el Kevlar.
- **Polietileno:**es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva  $(CH_2-CH_2)_n$ . Es uno de los plásticos más comunes debido a su bajo precio y simplicidad en su fabricación, lo que genera una producción de aproximadamente 80 millones de toneladas anuales en todo el mundo.
- **Polímero:** es una sustancia compuesta por grandes moléculas, o macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros.
- **Poliparafenileno Tereftalamida:** es una poliamida muy resistente y su mecanización resulta muy difícil. La ligereza y la excepcional resistencia a la rotura de estas poliamidas permiten que sean empleadas en neumáticos, velas náuticas y en chalecos antibalas.

- **Resistencia:** recibir (una cosa) algo que ejerce fuerza o presión sobre ella, sin moverse, ni sufrir daño o alteración.
- **Tensión:** es una magnitud que representa la fuerza por unidad de área en el entorno de un punto material sobre una superficie real o imaginaria de un medio continuo
- **Termoplástico:** es un material que a temperaturas relativamente altas, se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente.

### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

Toda investigación debe estar fundamentada por un marco metodológico, pues este es de gran importancia, ya que su planteamiento adecuado garantiza que las relaciones que se establecen y los resultados o nuevos conocimientos obtenidos tengan el mismo grado de exactitud y confiabilidad, para Arias F(2012) establece que “ la metodología del proyecto incluye el tipo de investigación, las técnicas y los procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación ”(p.45) por lo tanto es importante establecer el interés que es presentado en el estudio en el tipo de investigación que se analizara para obtener estos resultados.

### **3.1 Tipo de Investigación**

Para el manual de trabajos de grado de especialización, maestrías y tesis del UPEL (2016), Se entiende por proyecto factible: “la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas requerimientos o necesidades de organizaciones así como grupos sociales, programas, tecnología, métodos o procesos”. (p.7). Esta investigación se enmarca dentro de la modalidad de proyecto factible, ya que busca proponer alternativas de solución a un problema planteado a través del desarrollo de un objetivo, como es evaluar propiedades térmicas y mecánicas del poliparafenileno tereftalamida (kevlar y nomex) comparadas con la fibra de carbono en la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas

### **3.2 Diseño de la investigación**

Según la UPEL (2016) en su manual de trabajo de grado de especialización, maestrías y tesis doctorales se entiende por investigación de campo, “el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlo, interpretarlos, entender su naturaleza y factores contribuyentes” (p.5).

La investigación de campo permite mantener bajo estrategias claras una relación directa con la unidad en estudio. El estudio está basado en una investigación de campo, ya que permite a través de la observación directa, obtener datos directamente de los usuarios de los chalecos y trajes blindados

De igual manera, es una investigación de tipo documental ya que los investigadores utilizan fuentes como leyes, libros, manuales y tesis para poder basarse, sustentar y

profundizar la acción de investigación. Para el manual de trabajo de grado de especialización, maestrías y tesis doctorales del UPEL (2016), “es el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos” (p.6)

### **3.3 Nivel de la investigación**

Cuando se va a resolver un problema de forma científica, es conveniente tener conocimiento detallado de los niveles de investigación. Este conocimiento hace posible evitar equivocaciones en la elección del método adecuado para un procedimiento en específico, así mismo Arias (2012) señala: “El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (p.23)

Así mismo la investigación es de un nivel descriptivo, según Arias (2012) señala:” consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (p.46). De acuerdo a lo expresado anteriormente, la presente investigación es de tipo descriptiva.

### **3.4 Población y Muestra**

#### **3.4.1 Poblacion**

Es importante establecer, a que o quien, serán válidas las conclusiones que se obtengan de esta investigación, en este sentido Arias (2012) define:

La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio.

Partiendo de esta definición, se puede indicar que la población para este estudio está constituida por la totalidad de las personas que usan chalecos y trajes antibala.

#### **3.4.2 Muestra**

Para efecto de la investigación se hace necesaria la selección de muestra, para tal caso UPEL. (2016) , la define como: “ El subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible y debe ser representativa de la misma” (p.112), por lo

que debe considerarse la selección de una parte de la población para que sea objeto de estudio

Para Balestrini (2008), “la muestra es una parte extraída del conjunto que se considera una fracción representativa de él, que servirá para tener en cuenta en el trabajo de investigación”(p.132). Se tomará una muestra probabilística intencional a una cifra representativa de la población, dado que en este caso no depende del azar si no de las características del proceso de la investigación, donde se conoce el número preciso de unidades que la conforman dando como resultado la adquisición de datos de toda la población.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.5.1 Técnicas de recolección de datos**

Para Blanco, R (2005) son “el proceso de obtención de datos e información útil para el desarrollo del sistema y procedimientos a proponer”(p.114). En el presente proyecto para obtener la información concerniente a la misma se aplicaron técnicas: la revisión Documental y la revisión bibliográfica

##### **Revisión Documental**

Según el Manual para la elaboración de Trabajo de Grado de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2016), “consiste en la etapa del modelo científico a través de la cual, el investigador reúne los antecedentes teóricos y las investigaciones anteriores existentes sobre el tema dado” (p.123). Dentro de esta perspectiva, dicha técnica se aplicará por medio de la revisión documental de los materiales escritos que se consultarán y que son de interés para esta investigación, que permitirán darle soporte y mayor veracidad al estudio realizado y obtener nuevos conocimientos del mismo.

#### **3.5.2 Instrumentos Utilizados en la recolección de Datos**

Arias (2012) explica que “un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato, que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (p.68).

##### **Análisis de Contenido**

Para la aplicación de la revisión documental se utilizara el análisis de contenido, aplicando la metodología clásica propuesta por Sanz (2004), que “consiste en realizar lecturas seriadas del texto a fin de identificar su estructura, construyendo un esquema con los principales contenidos” (p.47)

### **3.6 Fases de la investigación**

El desarrollo de la investigación actual se llevara a cabo por etapas, la cual estará comprendida de la siguiente manera:

#### **Fase I: Evaluar los diferentes equipos de protección blindados en el país**

Para hacer la evaluación de los diferentes equipos blindados se hará una revisión documental y bibliográfica de las diferentes entidades gubernamentales del país dedicado a su protección, para así analizar los tipos de equipos que se usan, su obtención, sus materiales de construcción.

#### **Fase II Analizar y describir las propiedades mecánicas y térmicas del kevlar y el nomex para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas**

Todo lo referente a las propiedades mecánicas y térmicas del kevlar y el nomex, se obtendrán de los análisis realizados por los diferentes trabajos que han servido de antecedentes para esta investigación. Es sabido que en el país son muy pocas las empresas que tienen la disponibilidad de hacer los ensayos correspondientes a estos materiales.

#### **Fase III Analizar y describir las propiedades mecánicas y térmicas de la fibra de carbono para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.**

Conjuntamente con la fase anterior se hará la revisión documental y bibliográfica para el estudio de las propiedades mecánicas y térmicas de la fibra de carbono

#### **Fase IV Comparar el kevlar con la fibra de carbono para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.**

Para esta fase, ya con todos los datos obtenidos de la aplicación de las técnicas de recolección de información como la revisión documental y bibliográfica, se hará la comparación de sus propiedades tanto mecánicas como térmicas, y así tener una visión

clara y sustentada para una sugerencia y toma de decisiones al momento de escoger la más indicada

### **Fase V** **Evaluar las propiedades del nomex como complemento de resistencia al fuego**

Para concluir se hará una revisión del nomex, material usado como refuerzo para la fabricación de los equipos antibala

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Evaluar los diferentes equipos de protección blindados en el país.**

La mayoría de la gente entiende que el trabajo diario de un oficial de policía puede estar lleno de peligros potenciales. Casi todos los días, hay noticias de un oficial de policía en algún lugar que resulta herido o asesinado. Hay personas malas en el mundo, dispuestas a dañar a los agentes de la ley que pueden estar en su camino .La

mayoría de las personas con las que los agentes de la ley interactúan a diario entienden y aprecian el trabajo que el agente de la ley está tratando de realizar. Luego están esas pocas personas que tienen la intención de lastimar o matar a los agentes de policía en su camino. Estas personas tienen la intención de hacer daño, no importa cuán experto maneje la situación un oficial. Los últimos datos del FBI dicen que 106 oficiales perdieron la vida en servicio en 2020, un aumento del 13% con respecto a 2019. En 2019, más de 60,000 policías fueron asaltados.

Venezuela no escapa a esta realidad, existen organizaciones dedicadas a esta investigación, como la Red de Activismo e Investigación por la Convivencia (REACIN), también están líneas de investigación dedicadas a este tema en varias universidades, en la Universidad Central de Venezuela está la Red de Activismo e Investigación por la Convivencia (REACIN). Durante los últimos años, los medios de comunicación han posicionado al homicidio de policías en la agenda pública. Según información periodística, en 2012 hubo entre 104 y 350 casos; en 2013, entre 99 (Chirinos, 2013; Ramírez, 2013) y 295, y en 2014 las informaciones varían entre 230 y 338 (Izquier, 2015; El Universal, 2015). Algunos han llegado incluso a afirmar que entre enero de 2015 y mayo de 2019 han ocurrido unos 1.205 homicidios de funcionarios de cuerpos de seguridad en el país (FUNDEPRO, 2019).

El caso del Área Metropolitana de Caracas (AMC) merece especial atención. Tradicionalmente, el AMC es la que tiene las tasas más altas de homicidios del país (Sanjuán, 1997; 2008; 2012).<sup>3</sup> Según los datos del Cuerpo de Investigaciones Científicas, Penales y Criminalísticas (CICPC) en esta área geográfica también ocurre la mayor cantidad de casos de homicidios en los que las víctimas son funcionarios pertenecientes a los cuerpos de seguridad. En 2013 el AMC aportó la mayor cantidad de casos (18,3%) y de funcionarios fallecidos en el país por arma de fuego (19,43%); es por ello que constituye el espacio geográfico de referencia para el presente análisis.

Es importante resaltar que Venezuela figura en el segundo lugar en cuanto a los decesos por balas, con 57. Lo superó Brasil, con 98. En tercer lugar estuvo México (55), Colombia (40) y Honduras (21). Según el Centro Regional de las Naciones Unidas

para la Paz, el Desarme y el Desarrollo en América Latina y el Caribe (Unlirec, por sus siglas en inglés) informó que en un “documento de trabajo” la información de los casos reportados en 25 de los 33 países de la subregión durante 2014 y 2015. En ese lapso colectaron datos sobre 741 incidentes. El primer informe sobre este tema abarcó cinco años (2009 a 2013) y tuvo reportes sobre 550 casos. Esto implica que el promedio anual de casos reportados se elevó en 236%.

Todo lo anterior justifica la utilización por parte de los agentes policiales de equipos antibala, como chalecos y otros equipos de seguridad. A nivel internacional, son muchos los países que tienen empresas encargadas de fabricar estos equipos, entre los que se encuentran los mostrados en el cuadro 1.

**Cuadro 1 Países fabricantes de chalecos antibala**

PAIS	PRODUCTO
ITALIA	PARNISARI FRATELLI ITALIA- Lesa línea de chalecos antibalas, para llevar debajo de una camisa (debajo de la ropa)
MEXICO	TACTICAL SECURITY CONTRAMEDIDAS ELECTRÓNICAS MÉXICO- México D.f. Expertos en materia de espionaje, , chaleco antibalas, visión térmica, bloqueador de frecuencias, inhibidores de señales.
	HARD SHELL FZE Proveedor de: chalecos antibala .Balística: material y pruebas de vehículos blindado
MÉXICO	BAHER ASESORES INTEGRALES S.A. DE C.V. MÉXICO- Mexico fabricantes de chalecos antibalas con 25 años en el mercado mexicano e internacional con la mejor calidad
RUMANIA	AROSA TEXTILE SRL RUMANÍA- Maracineni Proveedor de: Chalecos antibalas
BÉLGICA	BROWNING INTERNATIONAL BÉLGICA- Herstal

	Proveedor de: Chalecos antibalas
CHINA	YIWU FANGLV HOME APPLIANCES CO., LTD CHINA- Yiwu City, Zhejiang Province Chalecos antibalas

Fuente Melo (2021)

#### **4.1.1 chaleco Antibala**

El chaleco antibalas es una pieza vital y como su función es proteger no solo de disparos sino de impactos fuertes en pecho y espalda clasifica perfectamente como un equipo de protección personal, existen diversos tipos de niveles certificados para la protección y siempre se deberán escoger el que este algo por encima del promedio por lo general los estándares establecidos por el NATIONAL INTITUTE OF JUSTICE NIJ (órgano encargado de estandarizar y certificar equipos de protección balística para uso policial en USA) .

El uso de lentes protectores de buena calidad es vital para la protección del sentido más importante del policía que es la visión, y debe no solo protegerse de partículas o fragmentos proyectados si no del sol y elementos químicos que pudieran dañarlos. El uso de guantes elaborados materiales resistentes a cortaduras fricción y fuego (Kevlar o Nomex de preferencia) son también importantes ya que el policía trabaja con sus manos. En cuanto a calzados dependerá el lugar y la labora al que el policía este asignado hay botas y calzado específicamente diseñado y elaborado con el policía en mente. Es obligatorio que cada policía sea dotado por el cuerpo donde presta servicio de un chaleco antibalas un par de guantes y unos lentes como equipo básico de protección personal adaptada a la magnitud del riesgo al cual el policía estará expuesto en su trabajo diario y otras asignaciones o tareas, las operaciones especiales requerirán otra clase de equipos más sofisticados y con niveles de resistencia superior.(ver figura 15)



**Figura 15** Equipos de seguridad

#### **4.1.2 Fábricas en Venezuela de equipos anti bala**

##### **4.1.2.1 Arsenal Industries**

Están ubicados en Maracay Estado Aragua. Inicia operaciones de manufactura en Venezuela en el año 2001, tras establecer una alianza estratégica con la Compañía Anónima Venezolana de Industrias Militares, ( CAVIM ) ente regulador de armas y explosivos filial de la Fuerza Armada, para representar en el país a Armourshield LTD de Inglaterra, líder mundial en fabricación de equipos de protección balística y dueña de la mayor cantidad de patentes introducidas ante la NIJ de Estados Unidos. La iniciativa de establecer una planta de fabricación local de chalecos antibalas bajo esa licencia, es liderada por un grupo empresarial experimentado en seguridad y protección, que ya tenía importante experiencia como proveedor de la Fuerza Armada de Venezuela y varios cuerpos de seguridad de ese país, a través de compañías como Glock de Venezuela, C.A. y Armería Global, C.A.

La combinación entre la calidad de materiales y manufactura de sus chalecos, el apoyo de una marca establecida, y precios competitivos con respecto a productos importados desde los Estados Unidos, dieron a Arsenal el liderazgo indiscutible en venta de chalecos antibalas en Venezuela.

## **Productos:**

### **1.Chalecos antibalas**

- **Policial interno:** nivel de protección IIIA, peso 2,2 y 3 kg según talla, paneles balísticos elaborados con Kevlar, según norma NIJ, versiones masculina y femenina, con forma anatómica para el busto para mayor confort de la usuaria, sistema antitrauma incorporado.
- **Policial táctico:** nivel de protección IV, peso 3 y 3,5 kg según talla, paneles balísticos elaborados con Kevlar, según norma NIJ, versiones masculina y femenina, con forma anatómica para el busto para mayor confort de la usuaria, sistema antitrauma incorporado.
- **Militar táctico:** nivel de protección IV, peso 3 y 3,5 kg según talla, paneles balísticos elaborados con Kevlar, según norma NIJ, versiones masculina y femenina, con forma anatómica para el busto para mayor confort de la usuaria, sistema antitrauma incorporado.
- **V.I.P.:** nivel de protección IIIA, peso 2,2 y 3 kg según talla, paneles balísticos elaborados con Kevlar, según norma NIJ, versiones masculina y femenina, con forma anatómica para el busto para mayor confort de la usuaria, sistema antitrauma incorporado.
- **V.I.P. Manta Balística:** nivel de protección IIIA, peso 2,2 y 3 kg según talla, paneles balísticos elaborados con Kevlar, según norma NIJ, versiones masculina y femenina, con forma anatómica para el busto para mayor confort de la usuaria, sistema antitrauma incorporado.
- **Seguridad privada interno:** nivel de protección IIA, peso 1,5 y 1,8 kg según talla, paneles balísticos elaborados con Kevlar, según norma NIJ, versiones masculina y femenina, con forma anatómica para el busto para mayor confort de la usuaria, sistema antitrauma incorporado.

- **Custodio de valores externo:** nivel de protección IV, peso 2,5 y 3,2 kg según talla, paneles balísticos elaborados con Kevlar®, según norma NIJ. versiones masculina y femenina, con forma anatómica para el busto para mayor confort

#### **4.1.2.2 Superblindado**

Ubicados en el Estado Miranda, Venezuela. Es una compañía especializada en la fabricación de chalecos antibalas con más de 16 años de experiencia atendiendo a las instituciones públicas y privadas en materia de blindaje personal y vehicular .

#### **Productos**

##### **Chalecos y Camisas antibalas**

Ideal para empresarios y personal en operaciones encubiertas. Diseñado con materiales ultraligeros que permiten su porte oculto y comodidad.

##### **Chalecos Tácticos**

Chalecos Antibalas con capacidad de carga de diferentes equipos y armamentos que permiten al oficial un rápido acceso.

##### **Chalecos Militares**

Chalecos Antibalas con Sistemas MOLLE para la carga de equipo, bolsillo delantero y trasero para placas balísticas. Chalecos que incorporan el uso de blindaje rígido tipo acero o cerámico.

#### **4.2 Analizar y describir las propiedades mecánicas y térmicas del kevlar y el nomex para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.**

##### **4.2.1 Fabricación de Chalecos Antibalas**

Como se mencionó en el objetivo anterior los chalecos antibalas tienen como objetivo proteger al usuario de proyectiles de armas de fuego de cualquier calibre y de fragmentos de explosivos principalmente, debiendo además ser lo más ligero y cómodo posible, a fin de no entorpecer los movimientos del usuario. Para que los chalecos cumplieran con su objetivo de brindar protección se debió analizar la estructura

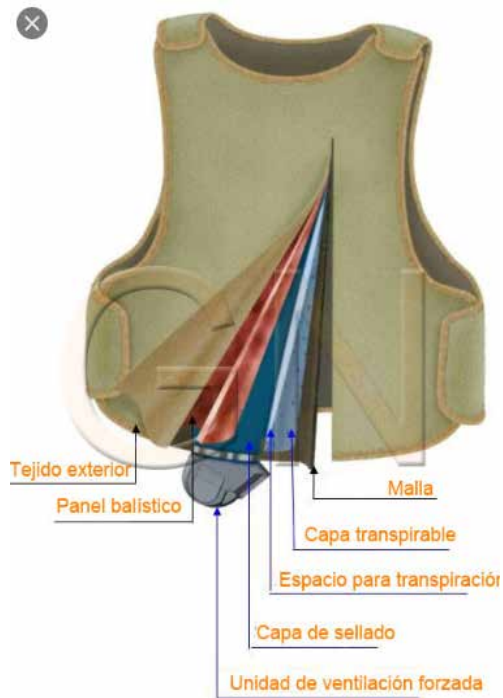
adecuada para tal fin, determinándose después de varios estudios, que ésta debería ser entretejida a fin de oponer mayor resistencia al proyectil que intenta dañar al cuerpo humano, tal como se muestra en la Figura 16, ya que permitiría la dispersión de la energía del proyectil en el punto de impacto, considerándose posteriormente el hecho de que con varias capas de material con una estructura entretejida se obtendría un mayor nivel de protección.



**Figura 16.** Estructura entretejida que conforma los chalecos

Fuente: Valencia Y., (2006),

Típicamente los chalecos antibalas flexibles (sin ningún aditamento metálico o cerámico extra) son prendas fabricadas de varias capas de fibras sintéticas las cuales forman estructuras complejas similares a una red muy resistente, pudiéndose combinar diferentes orientaciones de las redes de fibra. Los chalecos pueden ser fabricados con diferentes tipos de fibra o combinaciones de ellas.(ver figura 17)



**Figura 17** Partes de un chaleco antibala

Fuente Normas Renar MA.01

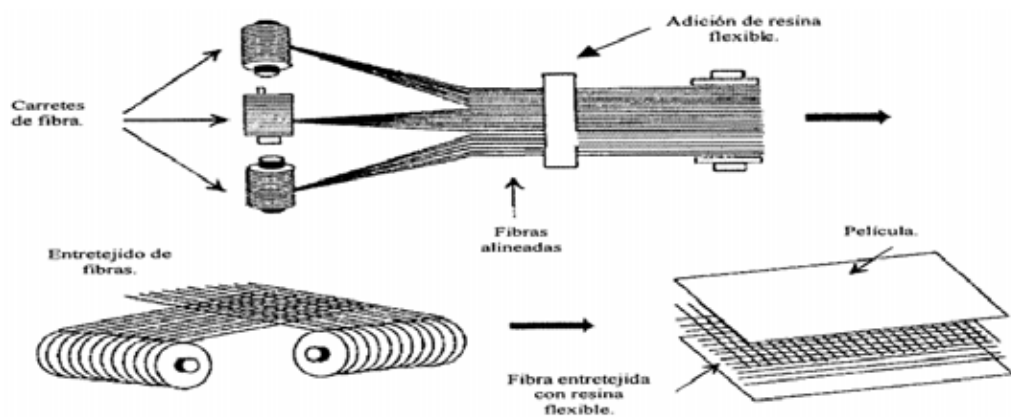
Por ejemplo, se puede mencionar que el proceso de fabricación de la fibra denominada Spectra (constituida de Polietileno de alto peso molecular) consiste primero en disolver el polímero que puede contener de 70,000 a 350,000 unidades repetitivas, en un solvente a alta temperatura, y después extruirlo a través de un dado con unos pequeñísimos orificios circulares llamados "spinnerets", y produciendo así unos filamentos muy finos, que finalmente se secan, se enfrían y se enredan en carretes o bobinas similares a los que se observan en la Figura 18, que tendrán como finalidad alimentar la fibra para la formación de la red. Este proceso de producción de fibra alinea longitudinalmente las cadenas moleculares; provocando que las fibras tengan una gran resistencia a la tensión, lo cual es fundamental para que un chaleco antibalas pueda proporcionar la protección requerida.(ver figura 18)



**Figura 18.** Carretes de fibra.

Fuente: Valencia Y., (2006)

Una vez fabricado, el chaleco debe ser sometido a pruebas de funcionamiento de conformidad con las normas dictadas por el Instituto Nacional de Justicia (NIJ) de los Estados Unidos de América. De acuerdo a los resultados que se obtengan en las pruebas de funcionamiento y a los requerimientos del usuario, el fabricante puede modificar el número de capas de tela entretejidas, su orientación, o bien los adhesivos y resinas empleadas, así como el proceso de alineación de las fibras, a fin de obtener un mejor producto.(ver figura 19)



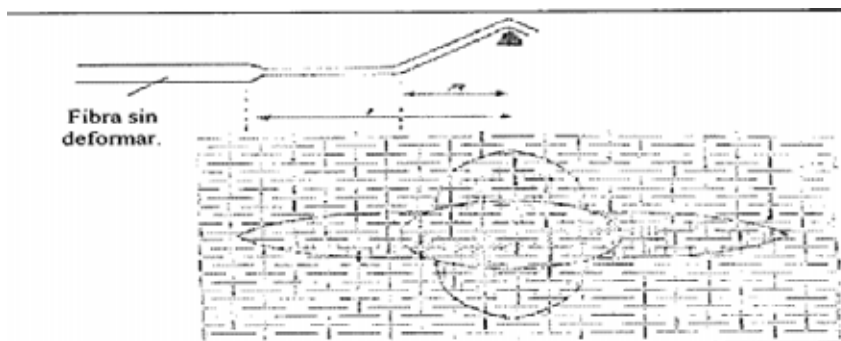
**Figura 19.** Diagrama del proceso general de fabricación de tela para producir chalecos antibalas.

Fuente: Valencia Y., (2006),

#### 4.2.2 Comportamiento de los Chalecos al ser Impactados por un Proyectoil.

De acuerdo con la descripción del proceso de fabricación de un chaleco antibalas flexible, se observa que su tela está constituida por una o varias capas de fibras entrelazadas similares a una red. Esta estructura permitirá que cuando un proyectil impacte en el chaleco, éste sea atrapado en la red de fibras de manera similar a como una red detiene el movimiento de un balón. El proyectil puede penetrar un cuerpo debido a la elevada energía con que cuenta, derivada de su peso y velocidad, sin embargo, al hacer contacto con la superficie del chaleco se espera que no logre penetrarlo y herir al usuario, debido, en términos generales, a dos fenómenos:

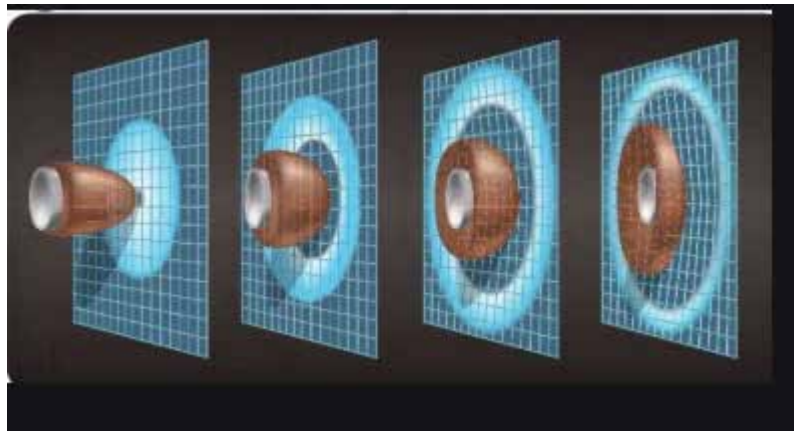
- El hecho de que la estructura del chaleco es similar a una red provoca que, al impactar el proyectil, la totalidad de su energía es absorbida y dispersada a través de ésta, ya que al momento del golpe no solo se deforman las fibras con las que entra en contacto, sino que además estira a las que se encuentran en las inmediaciones, extendiendo la fuerza del impacto a un área mayor, como se ilustra en la Figura 20. La elongación de la red absorberá la energía y la distribuirá a toda el área abarcada por la fuerza de impacto, provocando que el proyectil vaya perdiendo fuerza hasta ser detenido.



**Figura 20.** Deformación de las fibras y área afectada por el impacto del proyectil.

Fuente: Valencia Y., (2006),

- Cuando el proyectil entra en contacto con el chaleco e intenta penetrarlo, la estructura de red opondrá resistencia, provocando la deformación del proyectil de manera similar a que si se arrojara una bola de arcilla en una pared, como se puede observar en la Figura 21, reduciendo su energía.



**Figura 21** Fases de entrada del proyectil

Fuente: Valencia Y., (2006)

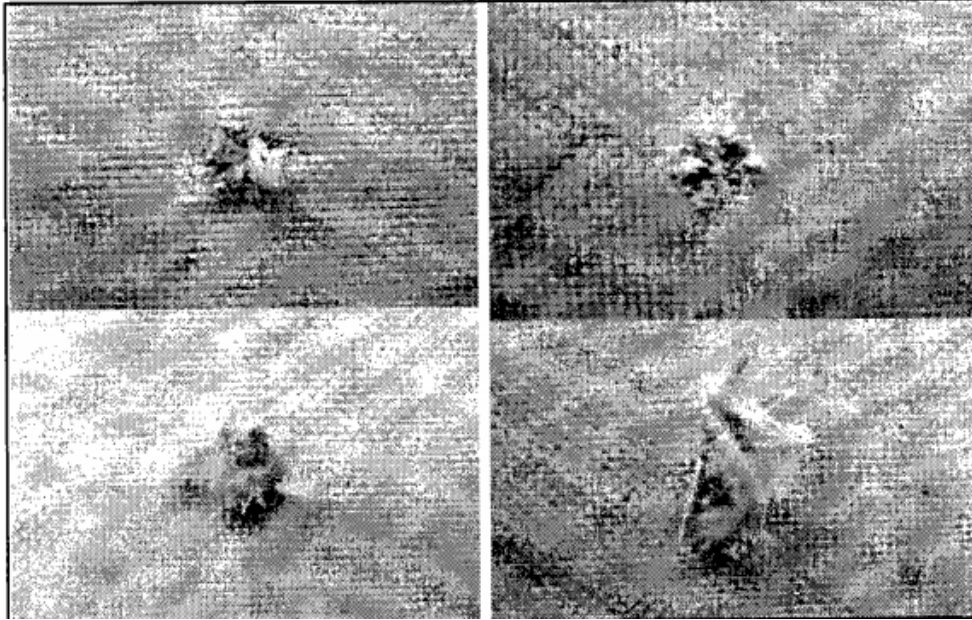
En virtud de que, normalmente, una sola capa de fibras no es suficiente para detener un proyectil, se requiere que los chalecos consten de varias capas para poder absorber más energía sin sufrir más daño que su deformación como se muestra en la Figura 22.



**Figura 22.** Deformación de las capas del chaleco antibalas

Fuente: Valencia Y., (2006)

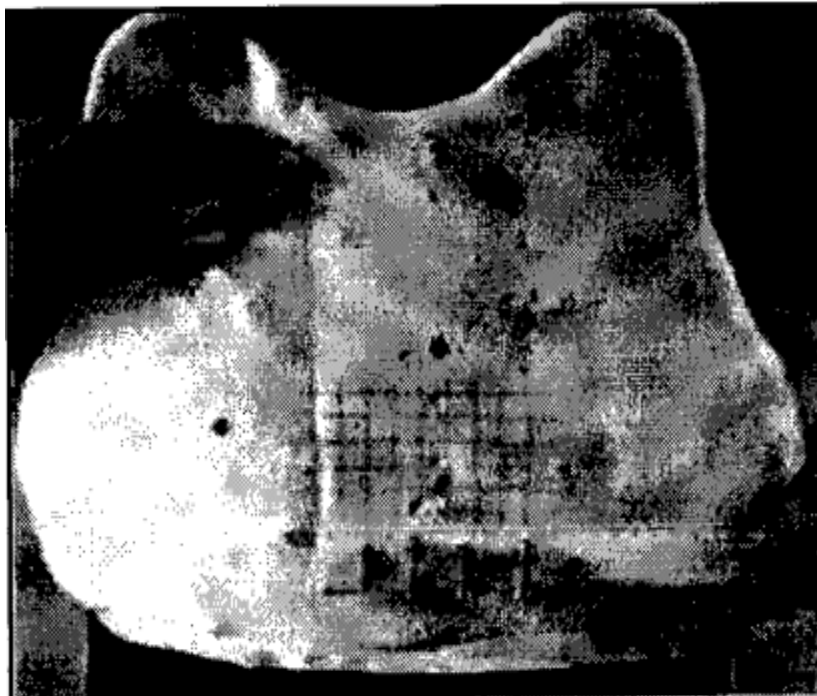
Cabe mencionar que, aunque el chaleco no sea penetrado, el tejido puede sufrir daños debido a la energía del impacto, tal y como se ilustra en la siguiente figura 23.



**Figura 23.** Tejido del chaleco aunque el proyectil el cual no atravesó su estructura.

Fuente: Valencia Y., (2006)

Sin embargo, hay ocasiones en las que el proyectil atraviesa el chaleco impactando en el cuerpo del usuario, como se muestra en la Figura 8; lo cual se debe, según investigaciones, a que la energía del proyectil es tal que rompe la estructura del tejido sin ser deformado.

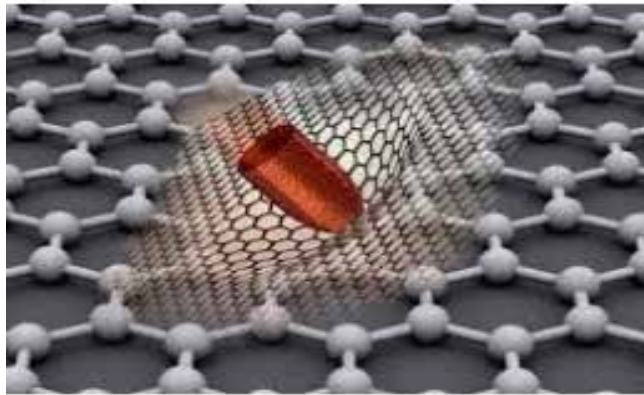


**Figura 24.** Chaleco antibalas perforado por la acción de los impactos de cartuchos calibre .22", .38", .40" y .45".  
Fuente: Valencia Y., (2006)

#### **4.2.3 Efectos en el Cuerpo Humano Provocados por el Impacto de un Proyectoil en el Chaleco Antibalas.**

Como se explicó anteriormente, cuando los tejidos que conforman un chaleco antibalas son impactados por un proyectil sufren una deformación, la cual en el conjunto de fibras tendrá una forma cóncava en su estructura, tal y como se muestra en la Figura 25.

Esta deformación se proyectará directamente contra el cuerpo del usuario, provocando una lesión por contusión, la cual dependerá de las características del proyectil tales como su tipo, velocidad, y fuerza de impacto. La magnitud de la contusión puede ser de severa a mortal dependiendo del lugar del cuerpo en el que se produzca el impacto.



**Figura 25.** chaleco antibalas deformado por la acción de un proyectil.

Fuente: Valencia Y., (2006),

La preocupación por los efectos del impacto en el cuerpo es, en términos generales, debido a la alta probabilidad de que resulte severamente dañado un órgano vital, o por lo menos sufra una hemorragia interna, aunque los efectos dependerán en gran medida de la complejidad del usuario, así como de su edad y estado físico. Sin embargo, la herida cutánea que se produce es muy similar en cualquier caso, observándose desde lesiones como hematomas (moretones), como se puede apreciar en la siguiente figura, hasta heridas similares a ampollas reventadas.



**Figura 26.** Lesión (hematoma) provocado por el impacto de un proyectil sobre un chaleco antibalas que portaba esta persona.

Fuente: Valencia Y., (2006),

Actualmente, a fin de evaluar los efectos de las lesiones en el torso, se llevan a cabo simulaciones en computadoras del impacto del proyectil, teniendo la protección del chaleco antibalas. Otra forma de evaluación es realizar pruebas balísticas en diferentes tipos de animales. Los resultados de estos estudios indican que las partes que pueden resultar más afectadas por el impacto de un proyectil sobre el chaleco y contra el cuerpo humano son: la columna vertebral, los pulmones, el hígado, el corazón y el riñón. No obstante lo anterior, los estándares para evaluar las lesiones provocadas por contusión aún tienen una limitada fundamentación biomecánica que permita determinar con precisión y de manera más completa los efectos de los impactos.

#### **4.2.4 Niveles de Protección de los Chalecos Antibalas**

A la fecha, no existe un chaleco flexible compuesto por una sola capa de tejido que por sí solo pueda proteger a su usuario de todo tipo de proyectil. Sin embargo, con 10 cada capa de tejido se puede brindar una determinada protección. A esa protección por capa se le ha denominado "nivel de protección", distinguiéndose seis diferentes niveles de acuerdo a la protección que ofrecen.

##### **1. Nivel I.**

Este es el nivel mínimo de protección, los chalecos correspondientes a este nivel son ligeros y flexibles. Protegen contra proyectiles de rifle calibre .22" largo, con punta redonda de plomo (Lead Round Nose), con un peso de 2.6 gramos y que impactan a una velocidad de 320 m/s. Asimismo brindan protección contra proyectiles calibre .38" especial, con chaqueta de metal (Full Metal Jacket), con un peso de 6.2 gramos y que impactan a una velocidad de 312 m/s.

##### **2. Nivel IIA.**

Los chalecos que corresponden a este nivel son ligeros y flexibles. Brindan protección contra proyectiles calibre 9 mm. con chaqueta de metal (Full Metal Jacket), y con punta redonda (Round Nose), con un peso de 8 gramos y que impactan a una velocidad de 332 m/s. Asimismo, protegen contra

proyectiles calibre .40" S&W, con chaqueta de metal (FMJ), con un peso de 11.7 gramos y que impactan a una velocidad de 312 m/s.

3. Nivel II.

Los chalecos correspondientes a este nivel son más pesados y voluminosos que los chalecos de nivel I y II A, pero aún son flexibles. Protegen contra proyectiles calibre 9 mm, con chaqueta de metal (FMJ) y punta redonda (Round Nose), con un peso de 8 gramos y que impactan a una velocidad de 358 m/s. Asimismo brindan protección contra proyectiles calibre .357" Magnum, con chaqueta y punta suave (Jacketed Soft Point), con un peso de 10.2 gramos y que impactan a una velocidad de 427 m/s.

4. Nivel III A.

Este tipo de chalecos provee el más alto nivel de protección disponible sin dejar de ser flexibles. Brindan protección contra proyectiles calibre 9 mm. con chaqueta de metal (FMJ), y con punta redonda (RN), con un peso de 8 gramos y que impactan a una velocidad de 427 m/s. Asimismo protegen contra proyectiles calibre .44" Magnum, con chaqueta y punta hueca (Jacketed How Point), con un peso de 15.6 gramos y que impactan a una velocidad de 427 m/s.

5. Nivel III.

Los chalecos correspondientes a este nivel son semirrígidos. Protegen contra proyectiles calibre 7.62 mm. tipo AK47 (conocida comúnmente como "cuerno de chivo") con chaqueta de metal (FMJ), con un peso de 9.6 gramos y que impactan a una velocidad de 838 m/s.

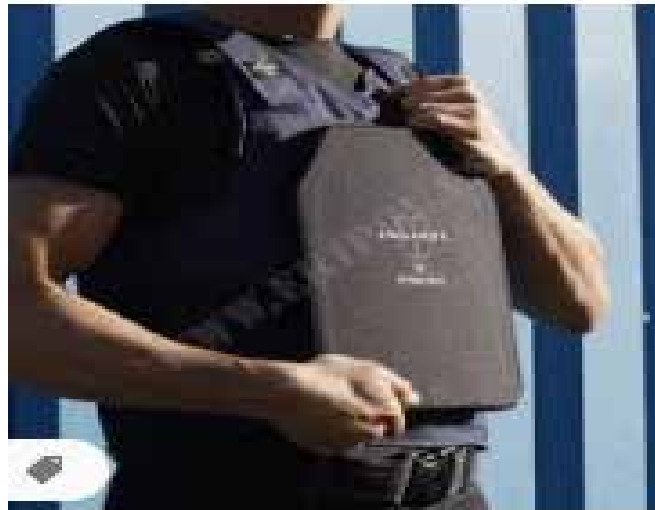
6. Nivel IV.

Este tipo de chalecos provee el más alto nivel de protección, sin embargo, requieren para tal fin que se les inserte una placa balística metálica o cerámica entre las capas del tejido. Esta placa, además de incrementar el peso del chaleco y disminuir la movilidad del usuario, pudiera ser quebradiza y solo resistirá satisfactoriamente un impacto.

Brindan protección contra proyectiles calibre .30-06, con capacidad de perforar los chalecos, con un peso de 10.8 gramos y que impactan a una velocidad de 868 m/s.

#### **4.2.5 Placas Balísticas**

Debido a que aún no existen chalecos flexibles que protejan de todo tipo de proyectil al usuario, se requiere el refuerzo de éste con placas balísticas de diferentes materiales que incrementen la protección aunque disminuyan la movilidad y comodidad. Cabe aclarar que las placas únicamente son complemento de los chalecos y no pueden emplearse de manera independiente, ya que no resistirían el impacto de ciertos proyectiles. Estas placas balísticas como se muestra en la Figura 27 son insertos de espesor constante y tamaño aproximado al área del chaleco que protegen el dorso y la espalda, las cuales se colocan en el chaleco en el interior de unos bolsillos fabricados en éste para tal fin, las placas deben ajustarse a la forma del cuerpo a fin de no entorpecer los movimientos del usuario y de no ser incómodas.



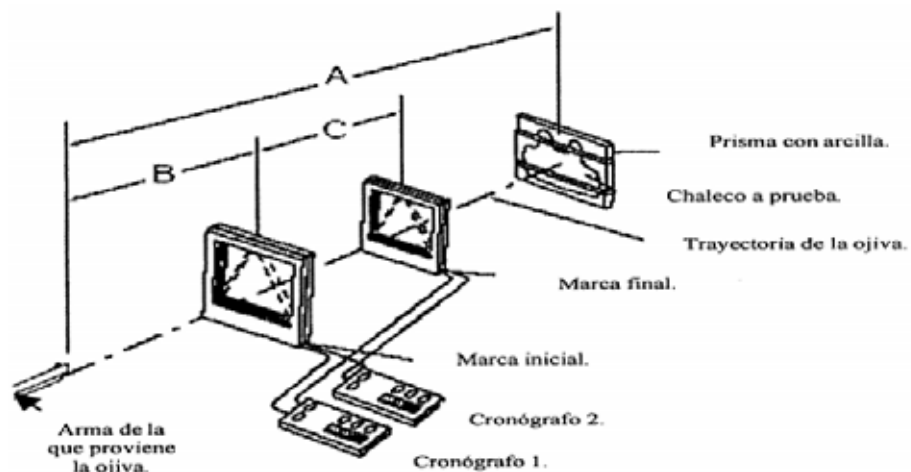
**Figura 27.** Placas balísticas.

Fuente: Valencia Y., (2006)

Los materiales que normalmente son empleados para la fabricación de estas placas son: óxido de Aluminio, carburo de Silicio, polietileno (no recomendadas para su uso o almacenamiento en temperaturas inferiores a  $-26^{\circ}\text{C}$  y superiores a  $79^{\circ}\text{C}$ ), y acero principalmente.

#### 4.2.6 Métodos de Prueba.

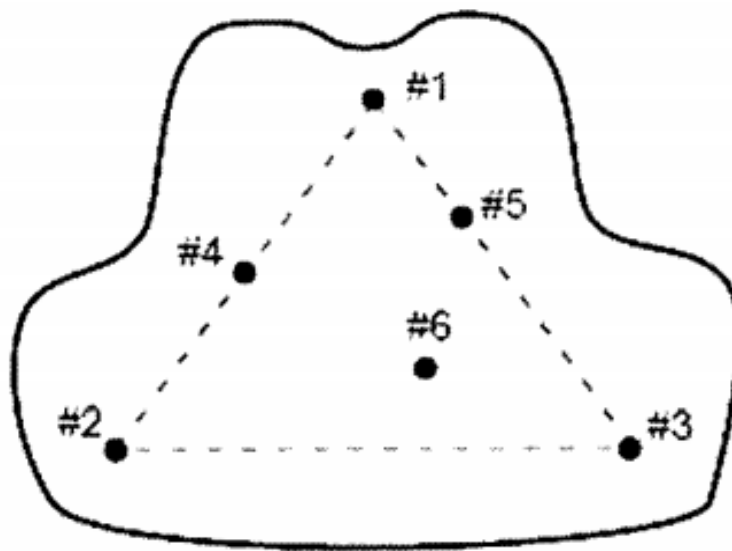
Una vez que ha concluido la fabricación del chaleco antibalas se efectúan a éste pruebas de resistencia a fin de determinar si están en posibilidad de proporcionar la protección requerida. Existen varios métodos de prueba apegados a la normatividad correspondiente. El método más general, ilustrado en la siguiente figura 28, consiste en principio, en emplear un arreglo en el que se usan dos cronógrafos que tienen como finalidad medir la velocidad del proyectil al pasar por dos dispositivos denominados marcas, así como un prisma hueco relleno de una arcilla balística (con aspecto similar a la plastilina) en el que se asegura el chaleco sujeto a prueba, el cual previamente fue ligeramente humedecido.



**Figura 28.** Esquema del arreglo para llevar a cabo pruebas balísticas a chalecos antibalas.

Fuente: Valencia Y., (2006)

Al instalarse el arreglo para llevar a cabo las pruebas se realizan seis disparos sobre la superficie del chaleco con una distribución similar a la que se ilustra en la Figura 29. Una vez concluidos los disparos se desmonta el chaleco del cuerpo que contiene la arcilla; debido a que el chaleco se deformó contra la arcilla al recibir los impactos se efectúa la medición de la profundidad de las cavidades provocadas en la arcilla por esta deformación. Una vez hechas las mediciones se reacomoda la arcilla a fin de que esté en condiciones de recibir las deformaciones de otro chaleco. Esta mecánica se repetirá para cada chaleco que se pruebe.



**Figura 29.** Distribución de los disparos que se le llevan a cabo al chaleco antibalas.  
Fuente: Valencia Y., (2006)

Para que un chaleco sea aceptado, no debe ser perforado por ninguno de los seis disparos. Asimismo la profundidad de las deformaciones o cavidades no debe exceder 44 mm.

Otra manera de efectuar pruebas balísticas con carácter netamente experimental es efectuarlas empleando pistolas de helio que permiten disparar variando la velocidad, en éstas el chaleco es colocado entre placas de Aluminio.

#### **4.2.7 Traje Antiexplosivos**

Es un pesado traje, compuesto por diversos tipos de blindaje, diseñado para resistir y proteger al usuario de la energía liberada de un artefacto explosivo (bomba). A diferencia de las balas, que concentran toda la energía en un área pequeña, una bomba dispersa toda esta sobre una mayor superficie y con un fuerte empuje hacia el exterior. Es por ello que la totalidad del cuerpo debe ser protegida. Debido a que está diseñado para resistir la fuerza de la explosión, es muy pesado, aparatoso y difícil de maniobrar. Esto lo hace impráctico para utilizarlo en combates y es a comúnmente utilizado por expertos en desactivación de artefactos explosivos.(ver figura 30)

Los técnicos en desactivación de explosivos EOD (del idioma inglés Explosive Ordnance Disposal) visten este traje durante sus labores de reconocimiento y de desactivación de amenazas confirmadas. Esta configuración de diseño debe proveer un alto nivel de protección contra las esquirlas, la onda de presión, la onda térmica y efectos colaterales que ocasiona el artefacto al detonar e igualmente, no debe dificultar excesivamente la movilidad y percepción del medio circundante.



**Figura 30** Sargento Howie Loughran, líder de una Unidad de Desactivación de Explosivos (EOD).

Fuente:wikipedia.org

#### **4.2.8 Traje Antibombas Marca EOD 9**

La Brigada de Explosivos del Ejército y su Equipo de desactivación de Artefactos Terroristas cuenta con el conjunto de casco y traje de bomba EOD 9 que ha sido diseñado con la aportación directa de técnicos en desactivación de bombas para proporcionar el más alto grado de protección modular y flexibilidad operativa para las misiones EOD y QBRN. El traje de bomba Med-Eng EOD 9 incluye una chaqueta, protector de ingle integrado, pantalones y fundas de arranque para la protección integrada contra explosiones contra artefactos explosivos improvisados y bombas. El sistema se almacena en una bolsa resistente para su almacenamiento en vehículos de respuesta de escuadrón de bombas.

#### **4.2.9 Material para la fabricación de chalecos antibala**

- ✚ El acero es un material inflexible y duro, aunque el peso dificulta la movilidad en cuanto a chalecos antibalas de este material. Existen las llamadas placas AR500 que están fabricadas de acero y que son capaces de aguantar impactos de hasta Nivel III.
- ✚ La cerámica es otro material que se utiliza en la fabricación de chalecos balísticos, junto al Spectra o algún otro componente, forman un chaleco que permite parar balas de AK47.
- ✚ Carburo de Boro un material casi tan resistente como el diamante, pero difícil de trabajar, este elemento es muy propenso a romperse por lo que normalmente se usa combinados con otros materiales, lo que hace que el carburo no sufra roturas
- ✚ Un chaleco de Kevlar con Carburo de boro necesitara de una almohadilla que absorba la energía del proyectil. Los materiales que forman esta placa ya son pesados, por lo que esta tiene que ser bastante ligera y tener un grosor de 10mm. Para mezclar todos los materiales y que formen un solo elemento se usa un horno de alta presión que los unirá al vacío. La presión que ejercerá esta máquina será de entre 95 y 100 kilopascales(ver figura 31)



**Figura 31** Chaleco de acero con cerámica

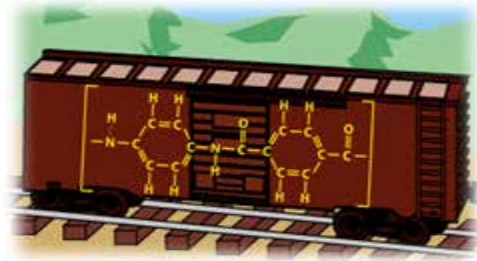
Fuente wikipedia .org

En el presente trabajo de investigación se tratan los arámidos que se utilizan en la industria aeroespacial y militar, en forma de ropa antibalas .La palabra arámido es una abreviación de poliamida aromática (aromatic polyamide, ar-amid). Las fibras arámidas más conocidas son el nylon para-arámido (Kevlar) y el nylon aromático (Nomex). De hecho, el nomex es la meta-variante del kevlar, ambos arámidos son resistentes al calor y a la flama, pero el kevlar, puede ser alineado molecularmente y da mayor fuerza, mientras que el nomex no puede ser alineado molecularmente y su fuerza es menor.

#### **4.2.10 KEVLAR**

El Kevlar o poliparafenileno tereftalamida es una poliamida sintetizada por primera vez en 1965 por la química polaco-estadounidense Stephanie Kwolek (1923-2014), quien trabajaba para DuPont. La obtención de las fibras de Kevlar fue complicada, destacando el aporte de Herbert Blades, que solucionó el problema de qué disolvente emplear para el procesado. Finalmente, DuPont empezó a comercializarlo en 1972. Es muy resistente y su mecanización resulta muy difícil.

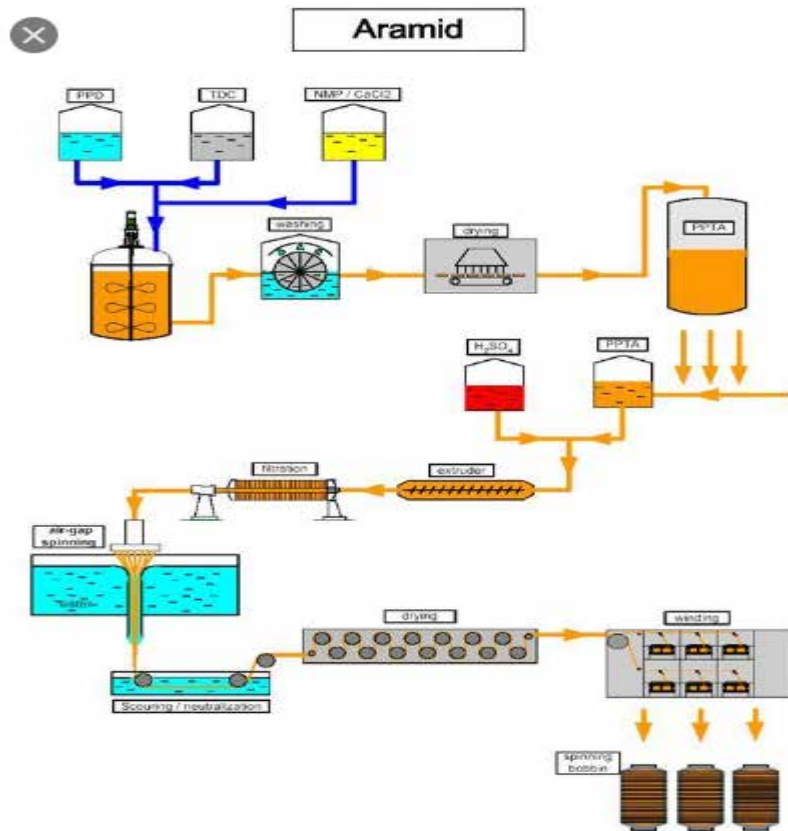
Las fibras Kevlar están basadas en poliparafenileno tereftalamida, molécula rígida que facilita lograr una configuración de cadena totalmente extendida (recta). Asimismo, la molécula de poliparafenileno tereftalamida tiene una excelente resistencia a las altas temperaturas y a las llamas. Químicamente se puede representar un monómero de Kevlar como se muestra en la figura32



**Figura 32** Monómero de Kevlar

Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

La Aramida es una contracción de aromático y poliamida. Es una fibra compuesta por macromoléculas lineales formadas por grupos aromáticos unidos por enlaces amida. A finales de los años 60, Du Pont desarrolló una nueva clase de polímeros, poliamidas aromáticas para-orientadas (aramidas), que poseían internamente cadenas moleculares rígidas en una configuración extendida. La figura 33 muestra el proceso de obtención de la aramida



**Figura 33** Obtención de aramidas

Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

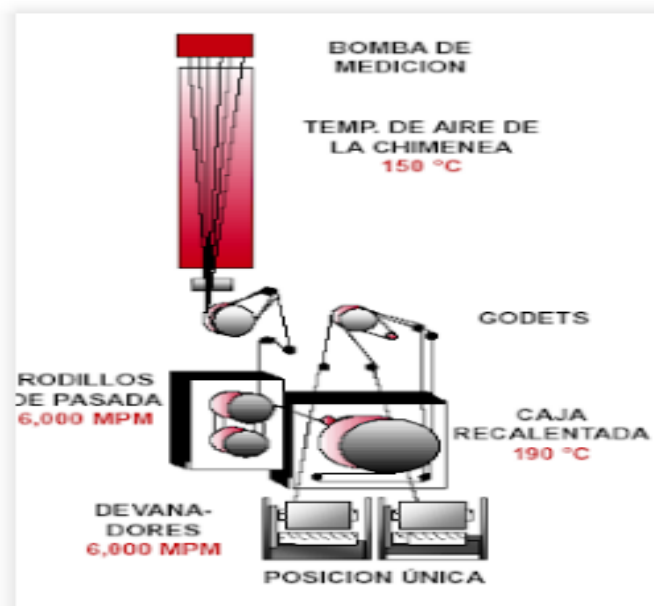
Luego de tener la aramida, se hace una mezcla: El polímero de poli-metafenileno isoftalamida se utiliza para hacer meta-aramidas y el polímero de p-fenileno tereftalamida para hacer para-aramidas. Debido a que las aramidas se descomponen antes de fundir estos son producidos por métodos de hilado en húmedo y en seco.

#### ✚ **Proceso de fabricación del Kevlar.**

El KEVLAR solo puede ser procesado mediante el proceso de fricción en solución, el cual consiste en obtener la fibra desde el proceso de polimerización, ya que en este punto, se puede controlar a voluntad sus propiedades, cabe notar que para las fibras como el KEVLAR solo es posible procesarlas como fibras, ya que su resistencia

mecánica y su estructura cristalina no permite realizar otro proceso de transformado. A continuación se describe como es el proceso de hilado del KEVLAR, cabe mencionar que la información sobre este proceso es muy limitada debido a las restricciones de autor que existen sobre este tema.

La fabricación de fibras se basa en el forzado se polímeros a través de pequeños agujeros agrupados en una hilera a niveles de temperatura y presión extremadamente elevados con el propósito de formar filamentos que se enfriarán a velocidades controladas. Se los estira para hacerlos más resistentes (técnica de hilado/pasado) y se los devana en paquetes de tamaño y peso convenientes. En la actualidad, los pesos de los paquetes comerciales oscilan entre los 3,60 kg y los 45 kg. Se pueden agregar “funciones” adicionales de procesamiento como las cajas recalentadas, los rodillos de pasada, los godets, los tambores volumétricos, etc., como se muestra en la figura 34



**Figura 34** Obtención del Kevlar

Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

En este proceso, en la cámara de polimerización, se tiene la mezcla de meros, en nuestro caso p-fenilendiamina y cloruro de terftailo, los cuales inician el mecanismo

de policondensación, eliminando HCl como residuo de la policondensación, cuando se hace el hilado se empieza por exponer al polímero en un medio con HCl, lo cual permite tener al polímero en estado “maleable”, ya que no ha endurecido totalmente, generando con esto que se pueda hilar y formar las fibras. Con el fin de condensar las fibras después del estiraje principal, el rodillo de salida inferior de la unidad de estiraje ha sido reemplazado por un tambor perforado. Dentro de cada tambor hay un inserto estacionario con una apertura de aspiración, de forma especial, conectada al sistema de succión de la máquina.

La corriente de aire creada por el vacío o succión condensa las fibras que están pasando por encima del tambor perforado. La zona de condensación controla completamente las fibras en todo su recorrido desde el sistema de estiraje hasta la línea de retención. Un cilindro de presión adicional (cilindro estirador trasero) previene que la torsión se propague a la zona de condensación. La eficiencia del compactado es mejorada por medio de un elemento de guía del aire, de diseño especial. Después de este proceso, se tiene el paso de tejido de la fibra para obtener los tejidos de KEVLAR que todos conocen como la tela más fuerte y liviana que existe. Este entrecruzamiento de las fibras se hace utilizando un telar. Las propiedades del mismo se muestran en el cuadro 2.

Esencialmente hay dos tipos de fibras de kevlar: kevlar 29 y kevlar 49.

- ✚ El kevlar 29 es la fibra tal y como se obtiene de su fabricación. 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.
- ✚ 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. El kevlar 49 se emplea como equipamiento para deportes extremos, para altavoces y para la industria aeronáutica, aviones, satélites de comunicaciones y cascos para motos.

**Cuadro 2** Propiedades del Kevlar

CARACTERÍSTICAS	P FÍSICAS	P: QUÍMICAS	P.MECÁNICAS	P. TÉRMICAS
Buena resistencia a la tracción.	Densidad: 1.44 g/cm <sup>3</sup>	Ácidos – concentrados: Mala.	Módulo de Elasticidad 80 GPa y 120 GPa	Calor Específico ( J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ): 1400
Menor densidad que la fibra de vidrio y carbono.	Diámetro de la Fibra: 12µm	Ácidos– diluidos: Aceptable.	Resistencia a la tracción, de en torno a los 3,5 GPa	Coefficiente de Expansión Térmica ( x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ): -2 ejes a lo largo
Baja resistencia a compresión.	Absorción de Humedad: 12%	Alcalis: Buena.	Elongación a rotura de en torno al 3,6 %	· Conductividad Térmica (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ): 0,04 a 23C
Buena resistencia a disolvente y aceites.	·	Alcoholes: Buena.	Tenacidad en torno a los 50 MJ m <sup>-3</sup>	· Temperatura Máxima de Utilización ( C ): 180-245
Fácilmente atacables por ácidos y bases fuertes.		Cetonas: Buena.		· Temperatura Mínima de Utilización ( C ): -200
Alta dureza		Grasas y Aceites: Buena.		
· Resistencia a los Ultra-violetas: Aceptable		Halógenos: Buena.		

Elaborado Melo (2021)

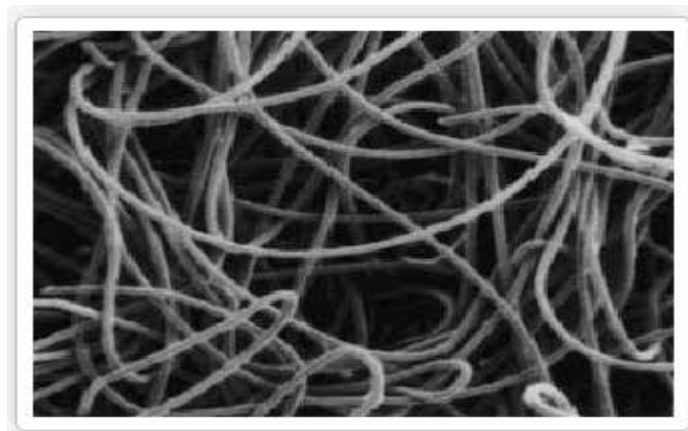
### Estructura química del Kevlar y del Nomex:

El Kevlar y el Nomex pertenecen a la familia de las aramidias, las cuales, a su vez, pertenecen a una familia de nylons. Una sola cadena del polímero de Kevlar podría tener desde cinco hasta un millón de monómeros enlazados juntos. Cada monómero de Kevlar es una unidad química que contiene 14 átomos de carbono, dos átomos de nitrógeno, dos átomos de oxígeno y 10 átomos de hidrógeno. El Kevlar es una poliamida, en la cual todos los grupos amida están separados por grupos para-fenileno,

es decir, los grupos amida se unen al anillo fenilo en posiciones opuestas entre sí, en los carbonos 1 y 4.

El Nomex, por otra parte, posee grupos meta-fenileno, es decir, los grupos amida se unen al anillo fenilo en las posiciones 1 y 3. Las aramidas se utilizan en forma de fibras. (ver figura 35) .Forman fibras aún mejores que las poliamidas no aromáticas, como el nylon 6,6.Las cadenas del polímero se pueden juntar aleatoriamente o se pueden orientar cuidadosamente de lado a lado en una fila. Resulta que la orientación de las cadenas del polímero es muy importante para ciertas características tales como flexibilidad, rigidez, y fuerza.

Esta colocación espacial es lo que proporciona las moléculas con estructura cristalina. La cristalinidad es obtenida por un proceso de fabricación que implica sacar la solución fundida del polímero a través de agujeros pequeños de la extrusora. La cristalinidad de los filamentos del polímero de Kevlar contribuye perceptiblemente a su fuerza y rigidez únicas

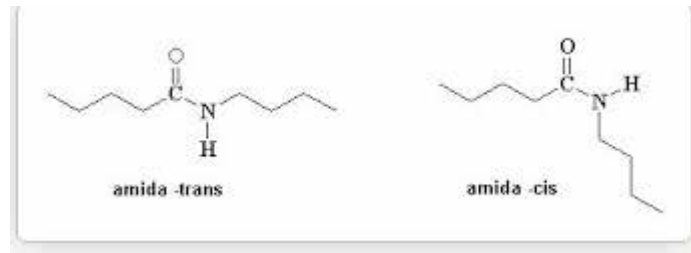


**Figura 35** Fibras de Kevlar

Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

Las aramidas tienen la capacidad de adoptar dos formas diferentes, o conformaciones. Se puede ver esto en la figura 36, de una aramida de bajo peso molecular. Las dos figuras son del mismo compuesto, en dos conformaciones

diferentes. La que está a la izquierda se denomina conformación trans, y la que está a la derecha conformación cis.

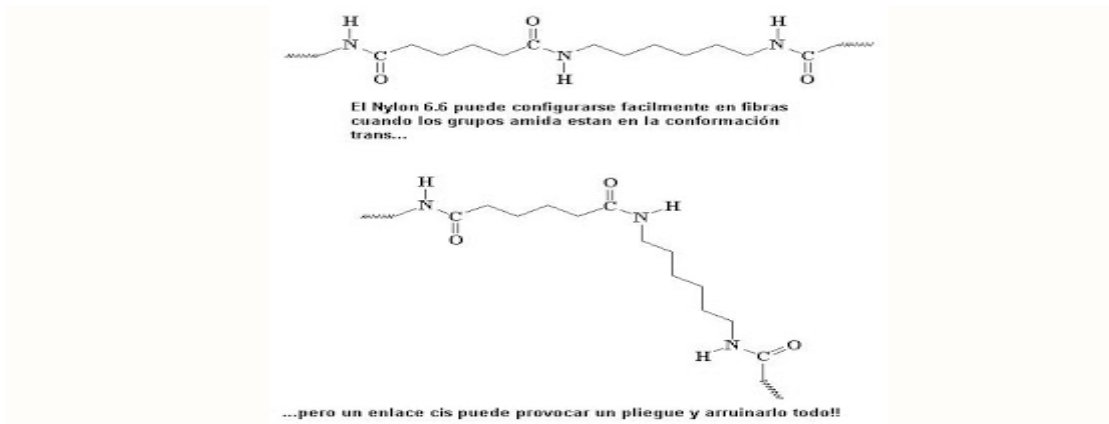


**Figura 36** Aramidas trans y cis

Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

En latín, trans significa "del otro lado". Así, cuando las cadenas hidrocarbonadas de la amida están en lados opuestos al enlace peptídico, el enlace entre el oxígeno del carbonilo y el nitrógeno de la amida, ésta se denomina amida trans. Asimismo, cis en latín significa "en el mismo lado", y cuando las cadenas hidrocarbonadas están del mismo lado del enlace peptídico, la llamamos amida cis.

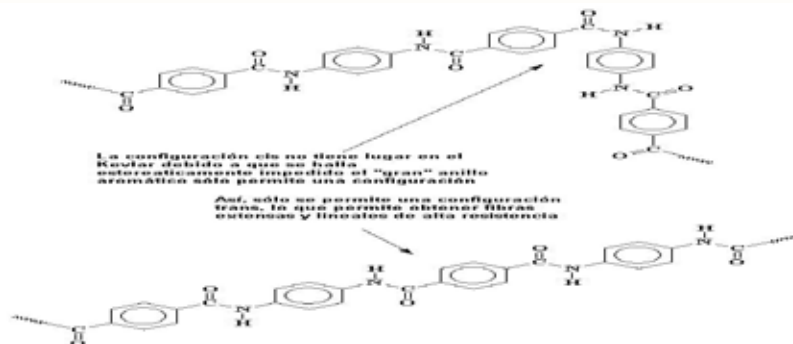
La misma molécula de la amida puede torcerse hacia adelante y hacia atrás entre las conformaciones cis y trans, originando una pequeña energía. En las poliamidas también existen las conformaciones cis y trans. Cuando en una poliamida todos los grupos amida están en su conformación trans, como el nylon 6.6 por ejemplo, el polímero se estira completamente en una línea recta. Esto es exactamente lo que deseamos para las fibras, porque las cadenas largas y completamente extendidas se empaquetan más adecuadamente, dando lugar a la forma cristalina que caracteriza a las fibras. Pero lamentablemente, siempre existen unos pocos enlaces amida en la conformación cis. Por ello las cadenas del nylon 6.6 nunca llegan a estar completamente extendidas.(ver figura 37 )



**Figura 37** Composición molecular del naylon 6.6

Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

Sin embargo el Kevlar es diferente. Cuando intenta adoptar la conformación cis, los hidrógenos de los voluminosos grupos aromáticos se interponen en el camino. La conformación cis coloca a los hidrógenos un poco más cerca de lo que quisieran estar. De este modo, el Kevlar permanece casi enteramente en su conformación trans. Y así, puede extenderse completamente para formar unas hermosas fibras.(ver figura 38 )

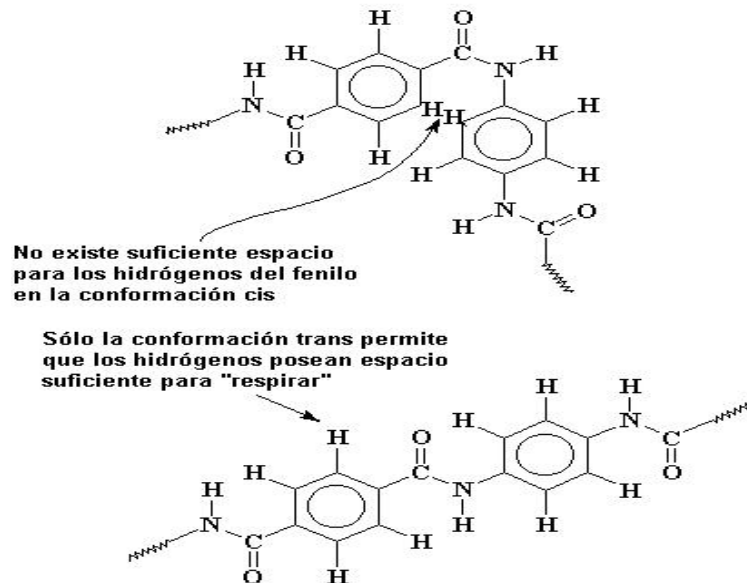


**Figura 38** Intento de colocación Conformación cis del Kevlar

Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

Viendo esto en un primer plano, en la figura 39 se puede apreciar que cuando el Kevlar intenta adoptar la conformación cis, no queda espacio suficiente para los

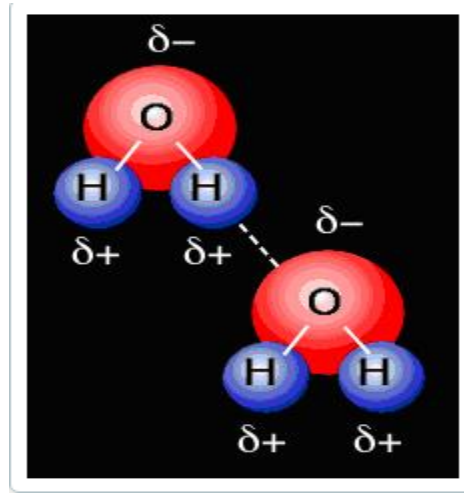
hidrógenos de los fenilos. De modo que la conformación trans es la que se encuentra generalmente



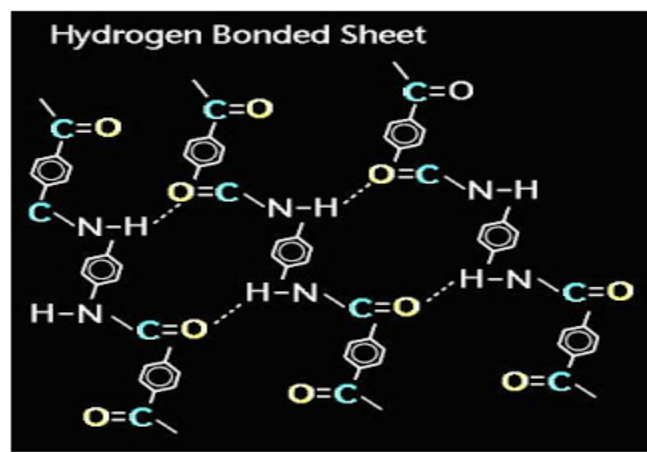
**Figura 39** Conformación trans del Kevlar

Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

En cuanto a los enlaces por puentes de hidrógeno, el Kevlar y el agua tienen algo en común. En ambos compuestos, los átomos de oxígeno tienen una alta densidad de electrones alrededor del núcleo.(ver figura 40) Puesto que los electrones se cargan negativamente, los átomos de oxígeno tendrán una carga negativa leve. Por otra parte, los átomos de hidrógeno tienen una densidad mucho más baja de electrones alrededor del núcleo, teniendo, por tanto, una carga positiva parcial. El hidrógeno y el oxígeno de diversas moléculas se atraen, formando el enlace por puentes de hidrógeno.(ver figura 41)



**Figura 40** Vinculación del hidrogeno en agua  
 Fuente: Artículo Kevlar. Disponible en: [www.tefloon.blogspot.com](http://www.tefloon.blogspot.com)



**Figura 41** Vinculación del hidrogeno en Kevlar  
 Fuente: Artículo Kevlar. Disponible en: [www.tefloon.blogspot.com](http://www.tefloon.blogspot.com)

Además el Kevlar es tejido para brindar una mayor resistencia en diferentes direcciones. Todo esto favorece la disposición para la fabricación de chalecos antibala (ver figuras 42 y 43)

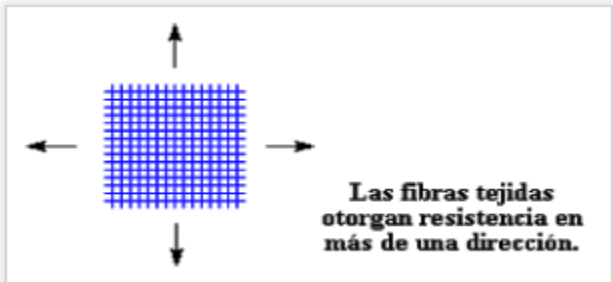
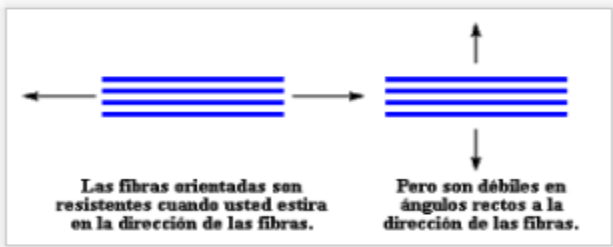


Figura 42 Tejidos de Kevlar  
Fuente Du Pont



Figura 43 Modelos de telas de Kevlar  
Fuente Du Pont

#### 4.2.11 NOMEX

El Nomex es una marca registrada de un material de aramida resistente a las llamas desarrollado a principio de la década de los años 1960 por DuPont, fue comercializado en 1967. Puede ser considerado como un Nylon, una variante del kevlar y Aramida donde partículas adherentes de caucho vulcanizado son inyectadas al material base, resultante en un material flexible similar al nylon. Es vendido en forma de fibra y en forma de láminas y es utilizado donde quiera se necesite resistencia al calor y las llamas. Las láminas de Nomex tipo 410 son uno de los tipos más fabricados, mayormente para propósitos de aislamiento eléctrico. Se utiliza mucho en los trajes de moto GP a nivel mundial un tipo de traje con nomex y teflón que ayuda con el aislamiento del fuego, el flujo (para deslizarse en la pista) para su fortaleza y durabilidad, es el compuesto más utilizado en estos trajes de gama baja y alta.

##### **Aplicaciones del Nomex**

- El Nomex se utiliza para la fabricación de la ropa protectora anti incendios que se extienden desde los uniformes de la tripulación aérea hasta la ropa interior de los soldados.
- La comodidad del Nomex, que puede ser tejido o ser hecho a punto incluso, se diseña específicamente para proporcionar transpiración. Además la ropa puede ser teñida en colores de camuflaje a la reflexión infrarroja.
- La ropa fabricada a partir de fibras de nomex tiene una excepcional durabilidad, de hasta cinco veces mayor que el polyester/algodón usado para el mismo fin.
- Dondequiera que haya una necesidad del aislamiento eléctrico, hay generalmente productos de Nomex para satisfacer dichas necesidades. Aislamiento en transformadores, motores eléctricos, los generadores y todo tipo de equipos eléctricos.
- También se utiliza el Nomex como aislante eléctrico en los trenes más avanzados, para los transformadores, los motores, en todas las conducciones eléctricas, etc.
- El Nomex se utiliza en todos los tipos de motores de CA y CC, en servomotores, a 13.6kV y en generadores industriales vapor-turbina 150MW.

- Protección térmica: Los motores pueden alcanzar temperaturas considerablemente superiores a la de diseño debido a sobrecargas, humedad, desequilibrio de fases, en el arranque y la parada, etc.
- El papel y el cartón prensado de Nomex se utiliza en equipos electrónicos por sus características ignífugas excepcionales. También ofrecen alta resistencia térmica. Se utilizan generalmente en interruptores y controles, en dieléctricos.

#### **Propiedades Mecánicas del Nomex**

Los productos Nomex densificados son resistentes, elásticos (en el caso de los productos más finos), flexibles y tienen buena resistencia a las roturas y la abrasión. A continuación las tablas 7 y 8 muestran sus características mecánicas y térmicas.

**Tabla 7** Propiedades Mecánicas del Nomex

Espesor nominal (mm)	0,0 6	0,0 8	0,1 1	0,1 3	0,1 8	0,2 6	0,3 1	0,3 9	0,5 2	0,6 1	0,7 8
Peso base (g/m <sup>2</sup> )	41	64	88	115	174	249	310	395	549	692	839
Densidad g/	0.7 2	0.8 1	0.8 3	0.8 8	0.9 5	0.9 6	1.0 0	1.0 2	1.0 6	1.1 3	1.0 8
Resistencia a la tracción (N/cm)	19	34	49	71	116	161	208	252	374	500	592
Elongación (%)	7	9	9	13	15	18	18	16	17	14	14
Resistencia inicial al desgarre (N)	6	9	14	17	27	41	55	71	114	153	193
Porcentaje de contracción en 300 °C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0

Fuente: Artículo Kevlar. Disponible en: [www.tefloon.blogspot.com](http://www.tefloon.blogspot.com)

**Tabla8** Propiedades Térmicas del Nomex

Espesor nominal (mm)	0.05	0.18	0.25	0.38	0.76
Densidad (g/ )	0.72	0.95	0.96	1.02	1.08
Conductividad Térmica (W/m.K)	0,103	0,143	0,139	0,149	0,175

Fuente: Artículo Kevlar. Disponible en: [www.tefloon.blogspot.com](http://www.tefloon.blogspot.com)

Por todo lo expuesto anterior se justifica el uso de estas aramidias, Kevlar y Novex para la fabricación de chalecos antibala, equipos de seguridad de protección contra el fuego y el calor, ya que lo que se busca es la protección de los usuarios. A continuación el cuadro 3 muestra las propiedades de ambos materiales

**Cuadro 3 Propiedades y usos del Kevlar y el Nomex**

	PROPIEDADES	USO
<b>PARA-ARAMIDAS</b>  <b>NOVEX</b>	Tienen una resistencia muy alta (5 veces más fuerte que el acero). *Poca pérdida de fuerza durante la abrasión repetida, la flexión y el estiramiento. *Tiene una estabilidad dimensional excelente. Fuerza dieléctrica inherente Dureza mecánica Estabilidad termal Compatibilidad química Capacidades criogénicas Insensibilidad a la humedad Resistencia de la radiación	Sustituir el amianto en los forros de freno y embrague. *Como refuerzo de neumáticos y en materiales compuestos como materiales para aviones, barcos, coches de alto rendimiento y equipamiento deportivo.
<b>META-ARAMIDA</b>  <b>KEVLAR</b>	Excelente estabilidad térmica. *Llama retardante. *Aislamiento eléctrico. *Estabilidad química. *Resistencia a la radiación Alta fuerza extensible.	Para la ropa de protección. *Filtración de gas caliente. *Aislamiento eléctrico. *Chaquetas e impermeables. *Cuerdas. *Bolsas de aire. *Hilo para coser.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Alargamiento bajo o rigidez estructural.</li> <li>*Conductividad eléctrica baja.</li> <li>*Alta resistencia química.</li> <li>*Contracción termal baja.</li> <li>*Alta dureza.</li> <li>*Estabilidad dimensional excelente.</li> <li>*Alta resistencia al corte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Guantes contra cortes, raspones y otras lesiones.</li> <li>*Guantes aislantes térmicos.</li> <li>*Kayaks resistencia de impacto, sin peso adicional.</li> </ul>
--	---	---

Fuente: Artículo Kevlar. Disponible en: [www.tefloon.blogspot.com](http://www.tefloon.blogspot.com)

### **4.3 Analizar y describir las propiedades mecánicas y térmicas de la fibra de carbono para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.**

La fibra de carbono es una fibra sintética constituida por finos filamentos de 5–sto principalmente por carbono. Cada fibra de carbono es la unión de miles de filamentos de carbono. Se trata de una fibra sintética porque se fabrica a partir del poliacrilonitrilo. Tiene propiedades mecánicas similares al acero y es tan ligera como la madera o el plástico. Por su dureza tiene mayor resistencia al impacto que el acero. La fibra de carbono es un polímero de una cierta forma de grafito. El grafito es una forma de carbono puro. En el grafito los átomos de carbono están dispuestos en grandes láminas de anillos aromáticos hexagonales.

#### **4.4.5 Obtención de la fibra de carbono**

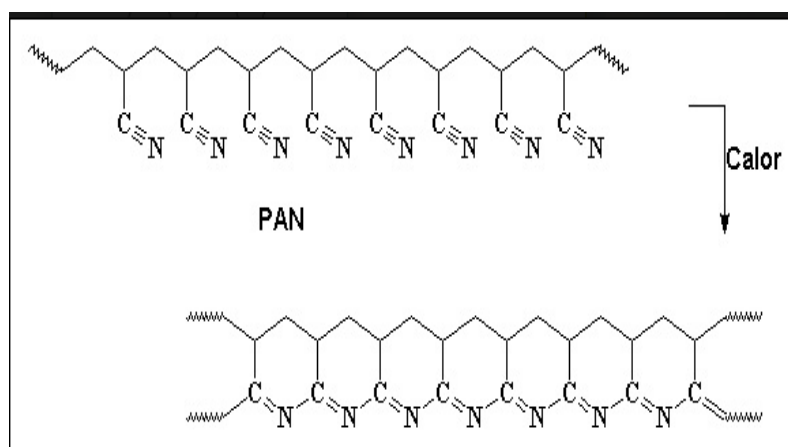
La fibra de carbono se fabrica a partir de otro polímero, llamado poliacrilonitrilo, a través de un complicado proceso de calentamiento. La composición química del poliacrilonitrilo, también denominado PAN, se muestra en la figura 44



**Figura 44** Composición química del poliacrilonitrilo

Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

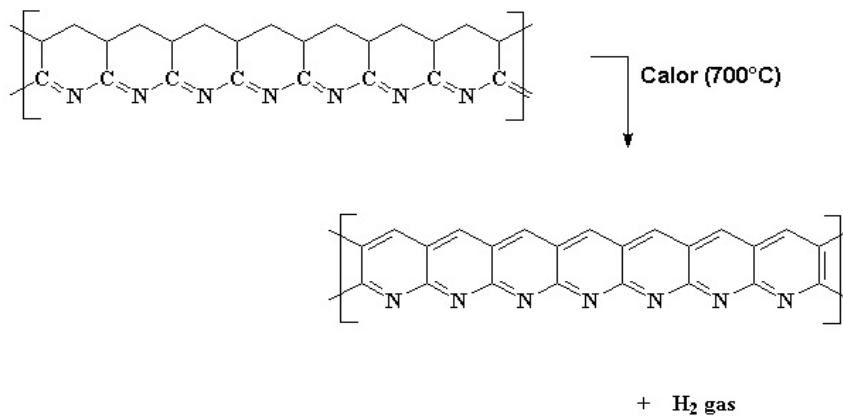
Cuando se calienta el poliacrilonitrilo, el calor hace que las unidades repetitivas ciano formen anillos.(ver figura 45)



**Figura 45** Proceso de calentamiento de poliacrilonitrilo

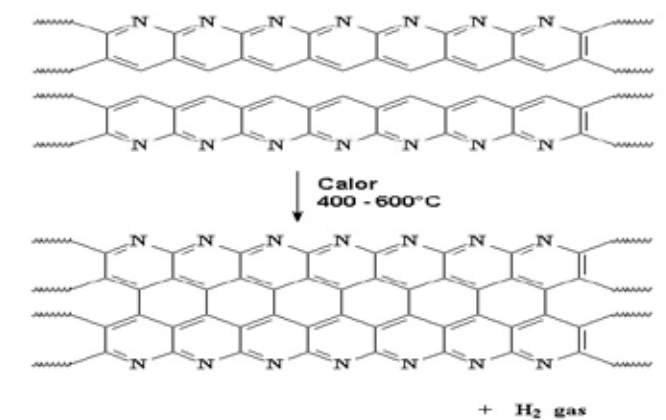
Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

Al aumentar el calor, los átomos de carbono se deshacen de sus hidrógenos y los anillos se vuelven aromáticos. Este polímero constituye una serie de anillos piridínicos fusionados.



**Figura 46** Anillos piridínicos fusionados  
 Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

Luego se incrementa la temperatura a unos 400-600°C. De este modo, las cadenas adyacentes se unen.(ver figura 47)



**Figura 47** Cadenas adyacentes unidas al aumentar el calor  
 Fuente: Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002)

### 4.3.2 Estructura y propiedades

Cada hilo de filamento de carbono es un conjunto de muchos miles de filamentos de carbono. Uno de estos filamentos es un tubo delgado con un diámetro de 5.8 micrómetros y se compone casi exclusivamente de carbono. La primera generación

de fibras de carbono (es decir, T300 y AS4) tenían un diámetro de 7.8 micrómetros. Más tarde, se alcanzaron fibras (IM6) con diámetros que son aproximadamente de 5 micras.(ver figura 48)



**Figura 48** Fibras de carbono  
Fuente Llano Uribe (2012)

#### **✚ Propiedades de la fibra de carbono**

- Muy elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Baja densidad, en comparación con otros materiales como por ejemplo el acero.
- Elevado precio de producción.
- Resistencia a agentes externos.
- Gran capacidad de aislamiento térmico.
- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, solo si se utiliza matriz termoestable.

Las razones del elevado precio de los materiales realizados con fibra de carbono se deben a varios factores:

- El refuerzo, fibra, es un polímero sintético que requiere un caro y largo proceso de producción. Este proceso se realiza a alta temperatura –entre 1100 y 2500 °C- en atmósfera de hidrógeno durante semanas (o incluso meses) dependiendo de la calidad que se desee obtener, ya que pueden realizarse procesos para mejorar algunas de sus características una vez que se ha obtenido la fibra.

- El uso de materiales termoestables dificulta el proceso de creación de la pieza final, ya que se requiere de un complejo utillaje especializado, como el horno autoclave.

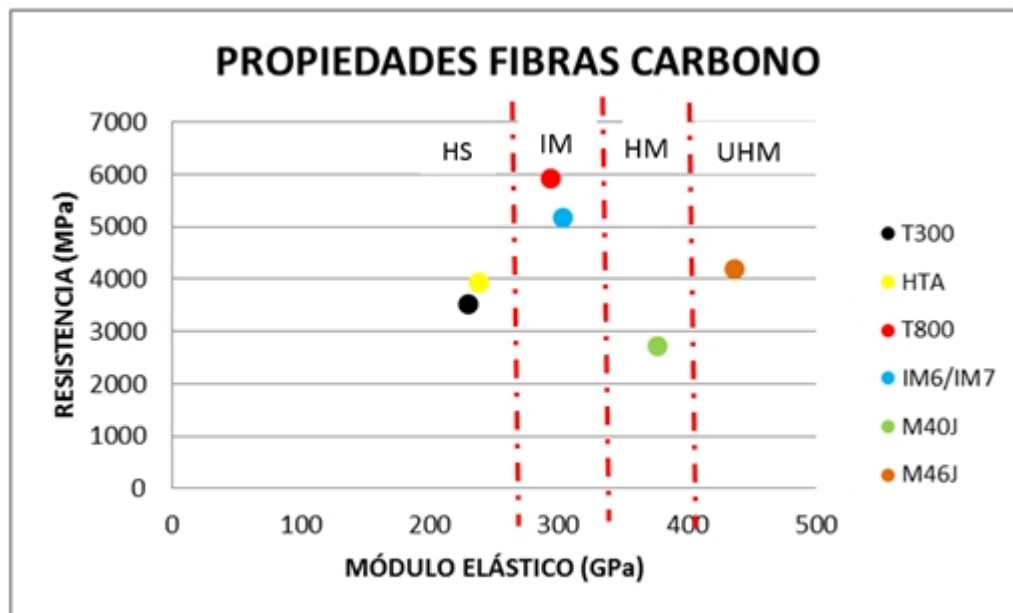
En función de su rigidez, las fibras se agrupan como se aprecia en la figura 49

-**HS**: High Strength, alta Resistencia (no es que sea especialmente alta, pero se llama así)

-**IM**: Intermediate Modulus: Módulo intermedio, normalmente también de alta resistencia.

-**HM**: High Modulus. Más rígido que la fibra IM, pero también más frágil.

-**UHM**: Ultra High Modulus: Más rígido que el HM y también más resistente, pero no el más resistente.



**Figura 49** Propiedades de la fibra de carbono

Fuente Llano Urine (2012)

#### 4.4 Comparar el kevlar con la fibra de carbono para la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas.

En este objetivo se hará referencia a un experimento realizado en la Escuela de Ciencia de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC), (2018) Universidad Autónoma de Baja California, ( Nava A , Siqueiros M. , González B. , Vega Y. y Mendoza I.) donde se realizó un estudio de las propiedades mecánicas, el cual se llevó a cabo mediante pruebas de tensión realizadas bajo el régimen de la norma ASTM D638; se manufacturaron cinco especímenes de matriz polimérica los cuales llevaron un proceso de preparación de moldeo adecuado para la optimización de probetas tipo I.(ver figura 50) El objetivo fue conocer las propiedades de la matriz polimérica (kevlar o Novex) para así reforzarla con fibras de carbono y mejorar las propiedades del material compuesto.

Posteriormente se analizaron las propiedades mecánicas del material compuesto en el cual se utilizó el refuerzo de fibra de carbono 3k.(ver figura 51) Para el análisis se fabricaron especímenes con una orientación [0/+45/-45]s; las pruebas realizadas en los especímenes de material compuesto fueron cinco ensayos de tracción basados en la norma ASTM D3039. El proceso de manufactura empleado para la realización de los especímenes de material compuesto fue el método VACCUM BAG WET LAY-UP. Se comprobó que las probetas de matriz polimérica generan burbujas por el mezclado y por el curado al ambiente; así mismo estas burbujas trabajan como concentradores de tensiones que debilitan el material en pruebas de tracción. En comparación con las propiedades mecánicas del material compuesto, estos muestran un mejor comportamiento por el refuerzo de fibra de carbono y por el proceso de manufactura al vacío.

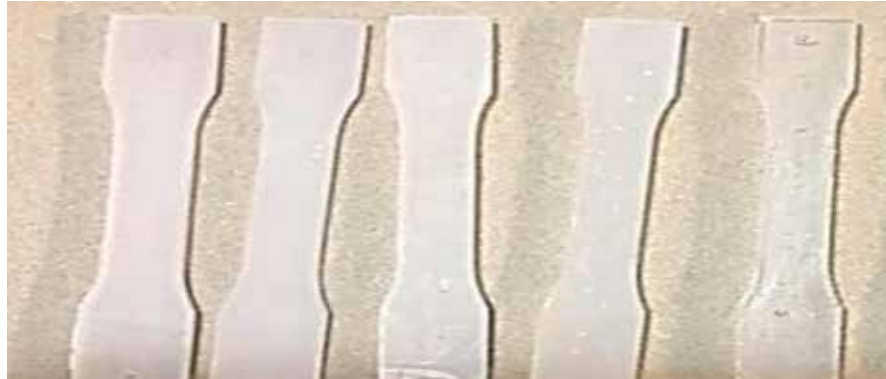


Figura 50 Probetas tipo I de matriz polimerica

Fuente Navas y otros (2018)

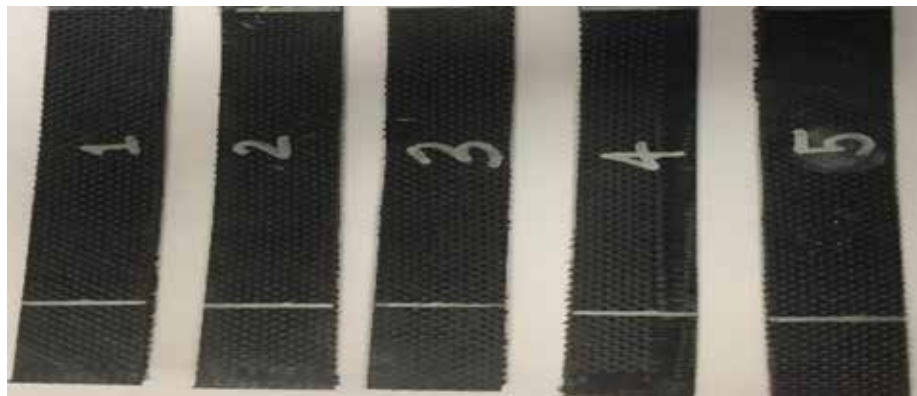


Figura 51 Probetas tipo II combinadas con fibra de carbono

Fuente Navas y otros (2018)

Para los ensayos de tensión se utilizó la maquina universal de ensayos SHIMADZU, cuenta con una celda de carga de 100 KN, la velocidad empleada para los especímenes fue de 2 mm/min , la cual es especificada en las normas ASTM D638 Y D3039.

#### 4.4.1 Resultados de los esfuerzos de tensión

Como se observa en la figura 52, (Nava y otros 2018) los especímenes de matriz polimérica sometidos a pruebas de tensión, muestran el resquebrajamiento localizado en la zona calibrada de la probeta.



**Figura 52** Matriz polimérica sometidos a pruebas de tensión

Fuente Navas y otros (2018)

Los especímenes de material compuesto al ser sometidos a pruebas de tensión presentaron fallas laterales a lo ancho de las probetas, delaminaciones y fallas a 45°, todas dentro del área calibrada. Un ejemplo de ello fue la probeta 2, así como se muestra en la figura 53



**Figura 53** Especímenes de material compuesto

Fuente Navas y otros (2018)

#### 4.4.2 Evaluación de los ensayos de tensión

Una vez realizadas las pruebas de tensión en los especímenes de matriz polimérica tipo I, estos fueron sometidos a observación en el punto de ruptura en un Microscopio Mitutoyo MSM-414L (ver figura 54) con magnificación de 40X. Los daños causados por las pruebas de tensión se exhiben en la zona calibrada de los especímenes, en donde se presentan burbujas en el interior del material.



**Figura 54** Microscopio Mitutoyo

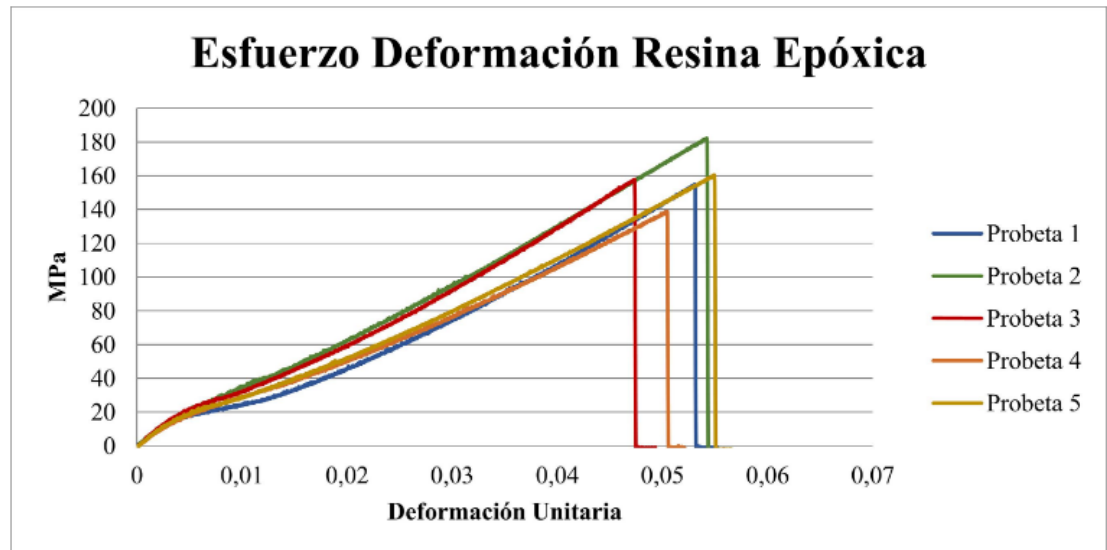
Fuente Navas y otros (2018)

Los primeros resultados ( Navas y otros 2018) se enfocan en la obtención de valores máximos de esfuerzos en las probetas tipo I de resina epóxica o matriz polimerica (sin refuerzo de fibra de carbono) (ver tabla 9 y gráfico2)

**Tabla 9** Resultados máximos de esfuerzo-deformación para resina epóxica

RESINA EPÓXICA	ESFUERZO(MPA)	DEFORMACIÓN (%)
Probeta 1	182,2	5,42%
Probeta 2	138,7	5,03%
Probeta 3	160,4	5,49%
Probeta 4	140,9	4,34%
Probeta 5	160,42	5,49%

Fuente Navas y otros (2018)



**Gráfico 2** Curvas Esfuerzo-Deformación de matriz polimérica (Resina Epóxica)

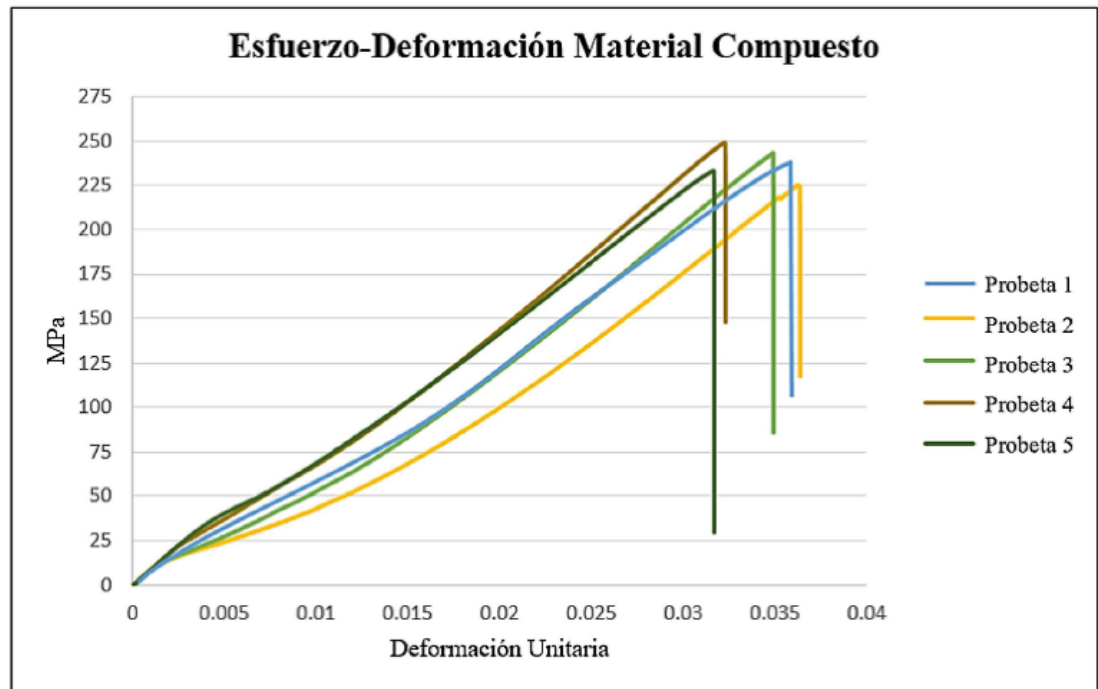
Fuente Navas y otros (2018)

Así mismo, se muestran los esfuerzos máximos soportados en pruebas de tracción de los especímenes de material compuesto se presentan en la tabla 10. Donde se muestra una superioridad de esfuerzo en la probeta 4, a pesar que en las 5 muestras se observa una correlación tanto en el esfuerzo y la deformación.

**Tabla 10** Material compuesto

MATERIAL COMPUESTO	ESFUERZO(MPA)	DEFORMACIÓN (%)
Probeta 1	237,6	3,38%
Probeta 2	225,1	3,62%
Probeta 3	243,3	3,49%
Probeta 4	249,3	3,22%
Probeta 5	233,0	3,17%

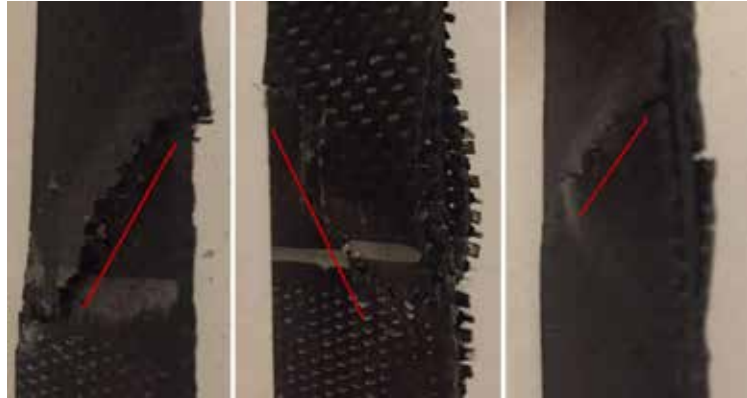
Fuente Navas y otros (2018)



**Gráfico 3** Curvas Esfuerzo-Deformación de material compuesto

Fuente Navas y otros (2018)

En este ensayo (Nava y otros 2018) se pudo constatar que el material compuesto, durante los ensayos de tensión, los esfuerzos aplicados son más elevados, ya que, al contener fibra de carbono, esta trabaja en paralelo a las cargas aplicadas, lo cual permite distribuir las uniformemente a través de los filamentos de fibra de carbono. Las fracturas ocasionadas en los especímenes se dieron en puntos similares dentro de la zona calibrada y a un ángulo  $45^\circ$ , tal como se observa en la figura 55; donde se exhibe el esfuerzo máximo soportando en los especímenes, el cual no da lugar a una fractura abrupta y a una separación completa de las muestras.



**Figura 55** Fractura de tres probetas ensayadas por tensión

Fuente Navas y otros (2018)

#### 4.4.3 Comparación del comportamiento de los materiales

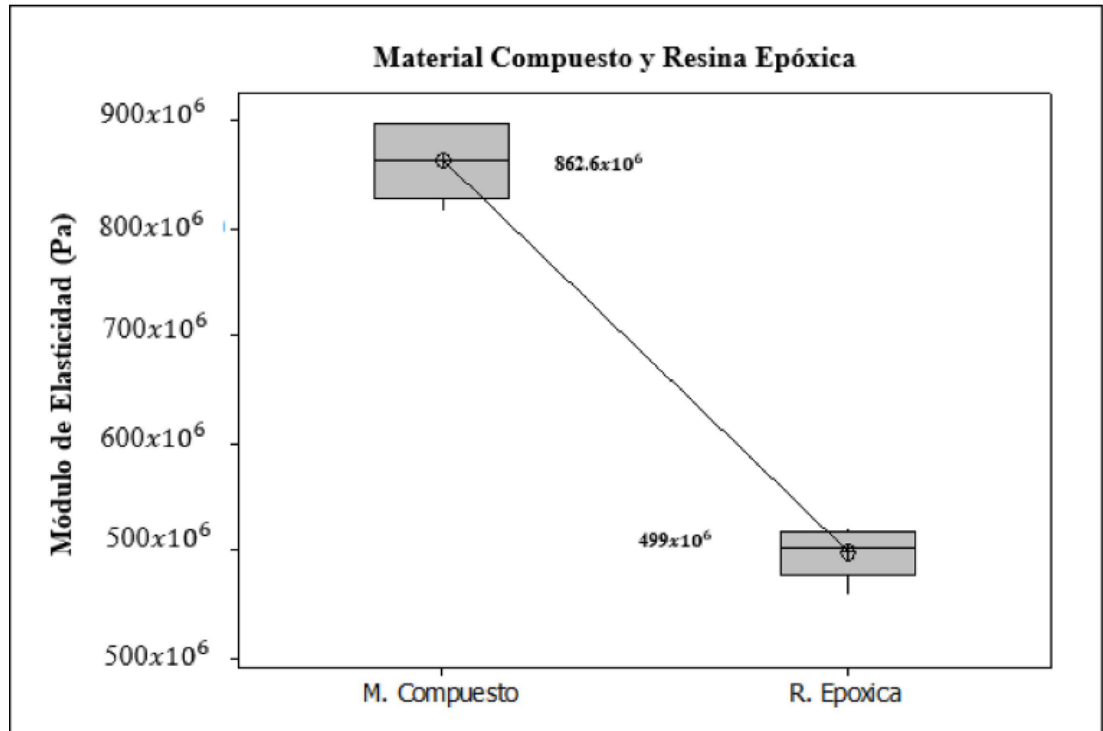
El comportamiento de los especímenes de matriz polimerica sometidos a pruebas de tensión es de clase hookeano antes del punto de fluencia. Lo cual afirma que el esfuerzo aplicado es proporcional a la deformación resultante. Los resultados promedios se presentan en la tabla 11, donde se exhibe el módulo de Young € el

El análisis muestra características superiores representativas para el material compuesto cuasi isotrópico, en comparación al de su matriz polimérica, ya que presenta una mejora del 72% en el módulo de elasticidad. Así mismo en la gráfica 4 se muestra una comparación del módulo de elasticidad de los materiales estudiados, resultando evidente la superioridad del material compuesto.

**Tabla 11** Valores promedio de los resultados mecánicos de pruebas de tensión

PROPIEDADES MECÁNICAS	RESINA EPÓXICA	MATERIAL COMPUESTO	PORCENTAJE DE MEJORA
E	499 MPa	863 MPa	72%
$\sigma$ máx.	156,22 MPa	238 MPa	52,35%
$\epsilon$ máx.	5,15%	3,38%	-34,36%

. Fuente Navas y otros (2018)



**Gráfica 4** Comparación del módulo de elasticidad promedio del material compuesto y la de su matriz polimérica.  
Fuente Navas y otros (2018)

En general los resultados obtenidos son aceptables, ya que se comprueba que las propiedades mecánicas del material compuesto aumentan significativamente respecto a la matriz polimérica; esto se debe a la homogeneidad de los valores obtenidos en las pruebas de tracción y en los análisis estadísticos. El nivel de esfuerzos se ve mejorado por la fibra de carbono con un 52%, aumentando la resistencia del material compuesto

#### 4.4.4 Propiedades mecánicas Kevlar-Fibra de carbono

A continuación las tablas 12 y 13 muestran las propiedades del Kevlar y la fibra de carbono, dos materiales usados en la fabricación de chalecos antibala y equipos blindados.

**Tabla 12** Propiedades mecánicas fibra de carbono-Kevlar

Propiedades	Kevlar	Fibra de Carbono
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,44	1,75
Alargamiento de rotura %	2,8 a 4	1,5 a 1,9
Modulo de Young (Gpa)	550	228
Resistencia a la tracción (Gpa)	3,6 a 4,1	3,5

**Tabla 13** Propiedades térmica fibra de carbono-Kevlar

Propiedades	Kevlar	Fibra de Carbono
Calor específico (J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	1400	712
Coefficiente de expansión térmica (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	-2 (ejes a lo largo)	-0,6
Conductividad térmica (W/m.K)	0,04	14
Temperatura máxima de utilización (°C)	180 – 245	3000
Temperatura mínima de utilización (°C)	-200	-

#### 4.4.5 Equipos blindados y sus materiales de fabricación

Un carro de combate, o tanque de guerra, es un vehículo blindado de combate (AFV por sus siglas en inglés) con tracción de orugas o ruedas, diseñado principalmente para enfrentarse a fuerzas enemigas utilizando fuego directo. Los carros fueron utilizados por primera vez durante la Primera Guerra Mundial para romper la guerra de trincheras, y su papel evolucionó hasta asumir el puesto de la caballería en el campo de batalla. El nombre de tanque, tank en inglés, apareció en las fábricas británicas: se engañó a los trabajadores para mantener el secreto militar diciéndoles que estaban construyendo depósitos de agua móviles para el ejército, pero estaban produciendo un vehículo de combate.

La mayoría de los vehículos de combate blindados son fabricados con planchas de aleaciones de acero soldadas, o más raramente debido a su costo, formada en una sola pieza, y en algunos casos aluminio u otras aleaciones ligeras como fibras sintéticas. La efectividad relativa de un determinado blindaje es expresada por la comparación de su resistencia con una plancha de acero laminado homogéneo (RHA o Rolled Homogeneous Armour). El carro de combate AMX-56 Leclerc utiliza blindaje compuesto.(ver figura 56)



**Figura 56** Tanque AMX-56 Leclerc

Los carros no están protegidos por un blindaje de espesor uniforme, si no que el grosor depende de la probabilidad de recibir un impacto en cada zona. Por ello, la parte donde habrá un mayor nivel de protección será el mantelete de la torreta. En ella va el armamento, y en la mayor parte de las ocasiones hay que exponer dicha zona al fuego enemigo al disparar. La inclinación del blindaje es variable, aunque todos los diseños modernos la tienen, incluso los modelos con blindajes composite, especialmente difíciles de moldear.

Sin embargo, en la actualidad existen armas tan poderosas como los penetradores cinéticos o KE. Son largas barras de aleaciones de metales pesados estabilizadas con aletas que concentran todo su peso y velocidad tras el disparo en un

área muy pequeña, de forma que su enorme energía cinética destruye por fuerza bruta el blindaje e introduce restos de metralla en el interior del habitáculo del tanque, que rebotan en las paredes interiores y causan la muerte de los tripulantes. El espesor del blindaje es la única protección ante estos bulldozers voladores, muchos capaces de perforar más de 500 mm de acero RHA a 2000 metros y los más sofisticados de uranio empobrecido superan los 800 mm de penetración en planchas RHA.

Otros proyectiles son más modernos, como las ojivas HESH utilizan explosivos plásticos que se aplastan contra el blindaje del vehículo y detonan, descargando una poderosa onda de choque de tal magnitud y frecuencia que provoca el astillamiento de la cara interior del blindaje, matando a los tripulantes sin necesidad de penetrar el blindaje. Como defensa, aparte del espesor del blindaje, algunos vehículos llevan capas de materiales anti metralla en su interior, como el M1A1 HA que equipa pesadas planchas de uranio empobrecido.(ver cuadro 9)


Las características de blindaje de este tanque son:


**Cuadro 4** Tipos del blindaje


CONTRA MUNICIONES QUIMICAS	CONTRA MUNICIONES CINÉTICAS
<p>Frontal: Contra munición química: Chasis superior/inferior: 1300mm Zona superior donde se ubica la escotilla del conductor: 250mm Zona intermedia de la torreta y chasis: 350mm Torreta: 1700mm</p>	<p>Contra munición cinética Chasis superior/inferior: 880mm (sin contar inclinacion) Zona superior donde se ubica la escotilla del conductor: 1100mm Zona intermedia de la torreta y chasis: 250mm Torreta: 1050mm (sin contar inclinacion)</p>


### **Países donde se fabrican tanques blindados**

Los países con gran tradición de fabricación han tenido sus propias influencias:

 El Reino Unido ha optado históricamente por mejor potencia de fuego y protección a expensa de algo de movilidad. Gran Bretaña mantiene un pequeño ejército profesional, bien entrenado, por lo que la supervivencia de la tripulación es importante. Tradicionalmente se usa acero, o alguna combinación.

 Estados Unidos tiene un ejército numeroso con armamento sofisticado y un entramado complejo de servicios de apoyo móviles. Mientras que se espera que sus tanques estén alejados de unidades de apoyo y reparación, se pone menos énfasis en la capacidad de la tripulación de mantener el tanque por ellos mismos o continuar luchando una vez que se ha recibido daño.

 La Unión Soviética tradicionalmente tuvo tanques sencillos de producir y mantener, como el T-34. El desarrollo de los diseños, controlado por el estado, se realizaba en cambios incrementales. El mantenimiento extensivo se hacía en depósitos especializados.

 Israel es una pequeña pero relativamente rica nación, con limitado personal, en un ambiente político hostil. Su preocupación principal es, por lo tanto, la supervivencia de la tripulación. Con este fin ha sido la única nación en construir un carro de combate principal (MBT) con el motor situado en la parte delantera, para incrementar la protección de su tripulación.

### **Blindaje de carros urbanos**

El blindaje de carros se realiza a través de un proceso de aplicación de materiales de resistencia balística a la estructura del automóvil y de la instalación de vidrios altamente resistentes al impacto de armas de fuego y a colisiones. Para comprobar y garantizar el nivel de protección que ofrecen los materiales utilizados en este proceso, estos se someten a pruebas balísticas (ver figura 57) las cuales son realizadas en laboratorios especializados los cuales deben tener instalaciones que deben cumplir con lo requerido en normas oficiales de este rubro, las cuales consisten en

comprobar su resistencia ante el impacto balístico en laboratorio o en una galería de tiro certificada, con armas de calibres específicos para comprobar la resistencia mínima que deben ofrecer en cada nivel de blindaje, para desarrollar estas pruebas se usa de referencia el llamado ángulo de incidencia que es el ángulo que la bala sigue al impactarse en el material de blindaje y posterior trayectoria que sigue la misma después del impacto.

Las fibras de Kevlar y el acero son materiales utilizados principalmente para blindar la estructura del vehículo, pero los vidrios también son elaborados bajo un proceso altamente especializado para proporcionar este tipo de protección al mismo tiempo que mantengan funcionalidad en la visibilidad y deben ser elaborados que proporcionen una excelente estética al vehículo sin que se presenten distorsiones ópticas. Es por esta razón que para la fabricación de vidrios blindados se usa un proceso de multi-laminación y curvado que más tarde se evalúa para asegurar que no se presente distorsión en ningún punto, finalmente se debe considerar la coloración del cristal, pues esta es fundamental para la estética, sin olvidar que también pueda proporcionar discreción al interior de la unidad.



**Figura 57** Pruebas balísticas

Según el nivel de blindaje seleccionado, son los materiales elegidos. Por ello, antes de comenzar con el proceso de blindaje se evalúan los riesgos a los que se encuentra expuesto el usuario y partiendo de esta información se decide el nivel de protección que requiere. Existen cinco diferentes niveles de blindaje: II, III, IV, V y VI; los materiales que usados garantizan que los procesos bajo los cuales son fabricados cumplen con las pruebas balísticas de las que hicimos mención.

### **Blindajes Opacos**

#### **Acero balístico**

El acero balístico se presenta en diferentes espesores dependiendo del nivel de protección.(ver figura 58)

Acero de 1/8": Detiene proyectiles de armas cortas

Acero de 1/4": Frena ataques de AK-47 (7.62x39mm)

Acero de 3/8": Protege contra municiones de M-16 (5.56x45mm) y FAL (7.62x51mm)



**Figura 58** Acero balístico

#### **Aramida**

La Aramida son polímeros que contiene enlaces de fibras sintéticas como lana y seda que incluye Kevlar y Nomex , ambos son resistentes y de bajo peso.(ver figura 59)



**Figura 59** Aramidas

### **Fibras de polietileno**

Es un material muy liviano pero 10 veces más resistente que el acero convencional.

Permite reemplazar el uso del acero balístico en blindajes para reducir peso. Resistencia Balística( ver figura 60)

- Para detener impactos de 5.56 x 45mm (M-16) se requiere Polietileno de 72 capas
- Para detener impactos de 7.62 x 51mm (FAL) se necesita Polietileno de 86 capas



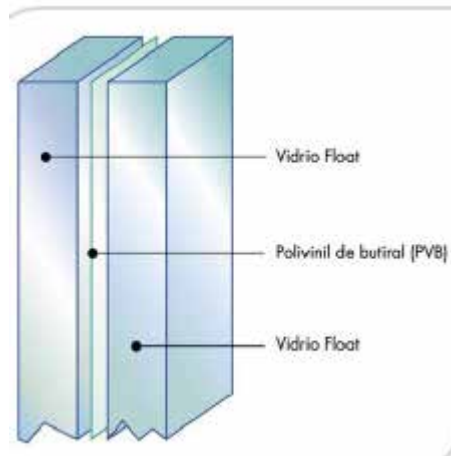
**Figura 60** Fibras de polietileno

### **Blindajes Transparentes**

Se utilizan vidrios certificados a nivel mundial y se componen de láminas de vidrio y polímeros. Características principales (ver figura 61)

- Resistencia al impacto, excelente adhesión entre cada capa de materiales,

- Propiedades anti-envejecimiento, ayudan a evitar la generación de esquirlas después del impacto sobre el vidrio.



**Figura 61** Blindaje transparente

#### **4.5 Evaluar las propiedades del Nomex como complemento de resistencia al fuego.**

NOMEX es un polímero aromático sintético de poliamida que proporciona altos niveles de la integridad eléctrica, química y mecánica. Esto es lo que hace que NOMEX no se contraiga, ni dilate, ni se ablande ni derrita durante la exposición a corto plazo a temperaturas tan altas como 300°C.

Los polímeros de aramida Nomex y Kevlar (y otros de tipo aramida) están relacionados con partículas adherentes de caucho vulcanizado, resultante en un material flexible similar al nylon, pero tienen aromaticidad, lo que los hace más rígidos y más duraderos. Nomex es el primer ejemplo de aramida “meta”, mientras que el Kevlar es una aramida “para”. Esto hace que, a diferencia del Kevlar, el Nomex no se pueda alinear durante la formación de filamentos y tenga una resistencia más pobre en comparación. Sin embargo, es un excelente material polímero en cuanto a su resistencia térmica, química y a la radiación.

##### **4.5.1 Propiedades del Nomex**

- A largo plazo puede estar trabajando como aislante tanto térmico como eléctrico o químico soportando continuamente temperaturas de hasta 220°C durante más de 10 años.
- Esencialmente inerte a la mayoría de los disolventes, y es totalmente resistente a los ataques de ácidos y álcalis.
  - Resistencia a la mayoría de productos químicos
  - Protección permanente contra las llamas y el calor
  - Larga vida útil
  - Facilidad de limpieza
- no fluye o fundir por calentamiento y no se degrade o char a temperaturas hasta más de 370 grados Celsius.
- Resistente al calor y la llama
- Resistencia ultravioleta de alta
- Alta resistencia química
- Contracción térmica de baja
- moldeable para las piezas moldeadas
- Elongación baja para romper
- baja conductividad eléctrica

El índice de limitación de oxígeno (LOI, Limiting Oxygen Index) del Nomex a temperatura ambiente varía entre el 27 % y el 32 %, según el grosor y la densidad. A 220°C, el LOI del Nomex varía entre el 22 % y el 25 %. Los materiales con un LOI superior al 20,8 %, el valor crítico de combustión en el aire, no permiten la combustión.

#### **4.5.2 Normas internacionales para diseño y uso de vestimenta contra incendio y calor**

Thermo-Man es el sistema de evaluación de quemaduras térmicas a tamaño real más avanzado del mundo. Las unidades Thermo-Man (ver figura 62) utilizan tecnología de vanguardia para demostrar la durabilidad y la resistencia superior a las llamas que ofrece Nomex en comparación con otras soluciones de protección ignífuga. Los incendios son impredecibles, así que para probar el rendimiento de los tejidos Nomex respecto a los peligros a los que se enfrenta, DuPont recurre a Thermo-Man, desarrollado por DuPont y las Fuerzas Aéreas de EE.UU., es el sistema de evaluación de lesiones por quemaduras térmicas en tamaño real más avanzado del mundo y consiste en un maniquí que usa software de modelado de piel para predecir lesiones por quemaduras. Thermo-Man, que simula los peores supuestos posibles, se ha convertido un referente del sector (ISO 13506). Muchas empresas de pruebas han modelado sus propios maniqués basándose en DuPont Thermo-Man



**Figura 62** DuPont Thermo-Man

#### **Norma EN ISO 11612**

Esta norma internacional establece los requisitos mínimos de rendimiento para las prendas utilizadas para proteger el cuerpo del usuario (excepto las manos, los pies y la cabeza) contra el calor y las llamas. Es aplicable a prendas que podrían utilizarse para una amplia variedad de usos finales, y de las que, además de las propiedades de

propagación limitada de las llamas. Para cada uno de los peligros enumerados en la presente norma, hay tres niveles de rendimiento que indican si la exposición es de riesgo bajo, medio o alto. También hay un cuarto nivel de rendimiento a tener en cuenta para la protección contra la exposición extrema al calor por radiación. Este nivel se aplica a los materiales de alto rendimiento como los materiales aluminizados. Dentro de la ISO 11612 hay una prueba opcional de exposición total a las llamas (conflagración) del maniquí según la ISO 13506-1 o -2 con un mínimo de 4 segundos de exposición. Para elegir el nivel adecuado de protección, debe realizarse una valoración de riesgos.

#### **Norma EN ISO 11611**

Esta norma es aplicable a vestimenta que tiene como objetivo proteger al usuario en procesos de soldadura o técnicas relacionadas

Salpicaduras (pequeñas salpicaduras de metal fundido) simulando diferentes tecnologías de soldadura,

Contacto breve con llamas,

Calor por radiación de arco eléctrico usado para soldadura y otros procesos relacionados. No incluye los requisitos para los protectores de pies, manos, cara u ojos; las especificaciones para estos se detallan en otras normas internacionales.

#### **Norma EN 14560**

Esta norma ha sido desarrollada como adición a todas las normas EN y a la mayoría de las normas ISO relativas a la vestimenta para ayudar al usuario final a seleccionar las prendas adecuadas para hacer frente al calor y las llamas. Proporciona información sobre la evaluación de los peligros y riesgos, sobre los resultados de los diversos ensayos de rendimiento frente al calor y las llamas, así como un resumen de todos los requisitos normativos de la vestimenta de protección.

#### **Norma NFPA 2112/2113**

**NFPA 2112:**

Norma sobre prendas ignífugas para la protección del personal industrial contra la exposición térmica de corta duración en incendios. La misma especifica los requisitos mínimos para los tejidos ignífugos que se utilizan para proteger a los trabajadores de la exposición al fuego de corta duración. En concreto, incluye el diseño, la estructura y evaluación de una prenda estandarizada fabricada con el tejido que se va a probar. Para cumplir con la NFPA 2112, las prendas estándar, cuando se prueban exponiéndolas brevemente a un fuego durante 3 segundos a 84 kW, deben:

Lograr un 50 % o menos de quemadura corporal prevista.

No derretirse, gotear ni quemarse tras haber sido expuestas a llamas.

Además, la prenda final debe cumplir con lo siguiente:

Tener el etiquetado apropiado en un lugar visible.

Cumplir cada requisito y ensayo especificado en la NFPA 2112.

Tener etiqueta de la certificación UL colocada en la etiqueta de la prenda ignífuga o puesta directamente junto a ella

#### **NFPA 2113:**

Normas para garantizar la selección, uso, cuidado y mantenimiento correctos de los equipos de protección individual para proteger al personal frente a la exposición térmica de corta duración en incendios. Esta norma se ha elaborado para minimizar los riesgos para la salud y la seguridad asociados a la selección, el uso y el mantenimiento de EPI incorrectos, así como la contaminación y el deterioro de las prendas ignífugas conformes a la norma NFPA 2112. Además de todas estas normas se tienen las ISO 13506-1/ISO 13506-2, Esta norma ISO se divide en dos partes: el método de ensayo para prendas completas y la predicción de lesiones por quemaduras en la piel.

#### **4.5.3. Nomex y COVID-19**

La empresa DuPont ofrece DuPont Kevlar para la protección balística, protección contra cortes y refuerzo de potencia; la fibra resistente a las llamas DuPont Nomex para prendas de protección, componentes automotrices,

aplicaciones compuestas y de filtración, y papel eléctrico usado en transformadores, motores y generadores

DuPont Personal Protection (2020) ha confirmado que su probado tejido Nomex, reconocido por sus propiedades inherentes de protección frente a las llamas, se puede utilizar con prendas resistentes al fuego como respuesta a las necesidades de protección de COVID-19. Las mascarillas fabricadas con Nomex que ofrecen protección frente a las llamas, ya disponibles a través de los distribuidores de DuPont, están indicadas para su uso en los sectores de compañías eléctricas, fabricación, petróleo, gas y química, y proporcionan una protección sin parangón frente a arcos eléctricos junto con el cumplimiento de la directriz de distanciamiento social de CDC (Centers for Disease Control and Prevention

“Las mascarillas fabricadas con Nomex ayudan a mejorar la protección gracias a su superior resistencia contra las llamas”, declaró David Domnisch, director de negocio global de DuPont Personal Protection. “Disponer de una solución resistente a las llamas con una prenda de Nomex y una mascarilla de Nomex es primordial para proteger al trabajador. Muchas mascarillas pueden cumplir las directrices de CDC para proteger la cara pero no ofrecen resistencia al fuego. De hecho, algunas mascarillas pueden resultar peligrosas para el usuario porque se pueden derretir o bien pueden gotear o arder. Ahora más que nunca, es fundamental que el EPI recomendado esté a la altura de los retos que suponen los peligros cercanos para contribuir a la seguridad de los trabajadores”.

La Asociación Española de Normalización, UNE, ha celebrado la jornada online Especificación UNE-ISO/PAS 45005, el estándar global para reducir riesgos frente a la COVID-19 en el trabajo, en la que destacados expertos han subrayado el relevante papel de este nuevo estándar mundial en la lucha contra el coronavirus.(ver figura 63 )



**Figura 63** Organización española de Normalización

#### **4.5.4 Kevlar y Nomex efectos ambientales**

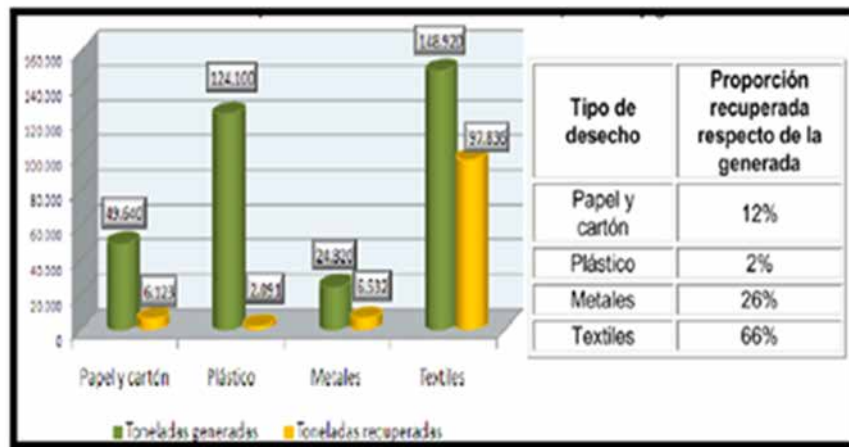
El consumo de polímeros o plásticos ha aumentado en los últimos años, han sustituido parcial y a veces totalmente a muchos materiales naturales como la madera, el algodón y otros. El cuadro 5 muestra algunos materiales, sus componentes y sus efectos nocivos o contaminantes.

La mayor parte de los materiales usados no son recuperados al final de su vida útil, los plásticos tampoco, salvo casos muy específicos. Esto es debido a su gran variedad y su heterogeneidad, junto a su relativa “juventud”, como es el caso del Kevla y el Nomex, respecto a los materiales convencionales y su generalmente bajo costo unitario. En las últimas décadas se ha expandido el conocimiento de las enormes posibilidades que ofrece la reutilización o el reciclado de los materiales plásticos. Cuando se utilizan productos reciclados disminuye la contaminación en general y el consumo de energía. Esto implica la utilización de menos combustibles fósiles, que a su vez, generaría menos CO<sub>2</sub> que no contribuiría al cambio climático.

**Cuadro 5 Componentes y sus efectos nocivos**

Clasificación	Materias primas y/o Productos Intermedios	Efectos Nocivos
<b>Fibras Textiles</b>	<b>Químicas:</b> Polietileno Trofil, Dyneema, Poliolefinas, Polipropileno, Leonelle, Fluorurofibra, Teflón, PTFE, Halar, Meraklon, Derivados Polivinílicos (Acrílica Orlon, Dralon, Dolan), Modacrílica Teklan, Kanekalon, SEF, Poliuretano segmentado (Elastano , Lycra), Poliamida Nylon Lilion, Antron, Carbyl, Aramida (Nomex, Kevlar), Poliéster (Poliéster Tergal) y Poliisopreno sintético (Elastodieno Lastex, Lactron)	Las fibras sintéticas pueden producir en la piel alergias y dermatitis el personas sensibles a alguna de las sustancias químicas de que están hecha la ropa
<b>Plástico 0073, juguetes y envases</b>	Poliétilen - tereftalato, Polietileno de Alta Densidad, Policloruro de Vinilo, Polietileno de Baja Densidad, Polipropileno, Poliestireno y PVC	Tarda décadas, o incluso milenios en degradarse, y si se incineran emiten CO <sub>2</sub> a la atmosfera y en cuanto al PVC su abandono en la naturaleza no contamina el suelo, y es de fácil reciclado
<b>Resinas</b>	Resinas epoxidicas, Melamina, Urea y Resina fenólica	En su fabricación emiten a la atmosfera hexaclorobenceno, benzo[a]antraceno, xileno
<b>Pegamentos</b>	Naturales y Sintéticos	Algunos contienen disolventes, que son tóxicos
<b>Tintas</b>	Agua, Monomérica, Solvente y Aceite	Son tintas ecológicas, su base es el agua (Agua), no emiten sustancias tóxicas al aire porque la base no evapora (Monomérica), emiten sustancias toxicas a la atmosfera (Solvente), cuando se secan se evapora agua (Aceite)

La comparación entre los productos generados y los productos reciclados (ver figura 64) muestra una diferencia preocupante, ya que se demuestra el poco conocimiento que se tiene del problema de desechos que inunda al planeta de basura y de contaminación.



**Figura 64** Relación de desechos sólidos generados vs reciclados

**Fuente** Arcay Enma, Velazquez Fidel (2013)

En un documento Informativo de Aplicación Tecnológica llamado “Recycling and Design - Recommendations for Design and Production” de la Empresa Bayer, se encuentra lo siguiente: “Mientras el objetivo generalmente debe ser alcanzar la mayor vida de servicio posible del producto, los desarrollos innovadores como “los aparatos eléctricos ecológicos”, puede significar que el reemplazo del producto más rápido tiene más sentido del ángulo económico y ecológico

Así mismo, cada componente debe tener una disposición propia y esta debe estar especificada, en función de su nivel de contaminación y la calidad del producto residual.” Las tecnologías actuales para el reciclado de los materiales plásticos pueden resumirse como de muestran en el cuadro 6.

**Cuadro 6** Métodos de reciclaje

RECICLADO MECÁNICO	El reciclado mecánico se hace desde los orígenes de la industria plástica donde se usan los descartes de su producción. Desde el productor de materia prima que reutilizaba o vendía los polímeros fuera de especificaciones, hasta el moldeador que molía y reusaba piezas mal moldeadas, refiles, etc., constituidas por material limpio,
--------------------	---

	<p>conocido, que luego mezclaba con material virgen, para seguir moldeando. Así mismo, es el que logra el máximo valor para el producto, que volvía a la línea o a los compuestos. En éste proceso, la limpieza es fundamental, debiéndose evitar contacto con grasas, aceites, adhesivos, tintas, etc.</p>
<p>RECICLADO QUÍMICO</p>	<p>El reciclado químico se aplica solamente a los materiales termoplásticos logrados por poli-condensación. Se basa en aprovechar la reversibilidad de la reacción, reobteniéndose los monómeros iniciales.</p> <p>Los monómeros pueden ser reutilizados en la industria para fabricar más polímeros, contribuyendo a la economía circular y mejorando el medio ambiente. Se evita de esta forma la síntesis de nuevos monómeros, disminuyendo el impacto medioambiental de esta industria.</p>
<p>RECICLADO TERMOQUÍMICO</p>	<p>Termoquímico puede trabajar con mezclas de plástico, eliminándose las selecciones, pero es la que más desvaloriza el desecho.</p> <p>Las opciones de este sistema son la pirólisis, hidrogenación y gasificación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La pirólisis se realiza a 500-900 ° C, sin presión y sin oxígeno.</li> <li>• La hidrogenación a 300-500 ° C a 10 – 40 Mpa y atmósfera de hidrógeno</li> <li>• La gasificación a 900 – 1400 °C con 0-6 Mpa, oxígeno y agua.</li> </ul> <p>Los primeros dos procesos entregan gas, aceite y sólido; el último, hidrógeno y monóxido de carbono. Si hay cloro presente se remueve como ácido clorhídrico que se neutraliza. El proceso de gasificación es el más usado dentro de los procesos termoquímicos.</p> <p>La mayor desventaja de este método es, por un lado, el uso extensivo de energía y, por otro, que las fibras obtenidas no presentan buenas propiedades, en gran parte debido a su ensuciamiento con los productos carbonosos derivados del tratamiento térmico.</p>
<p>RECUPERACIÓN DE ENERGÍA</p>	<p>Ya que la combustión se realiza en hornos los residuos plásticos, termina en energía térmica. Los gases de combustión si es necesario deben ser tratados antes de ser liberados al ambiente.</p>

Existen estrategias mixtas que combinan dos o más tipos de métodos para mejorar el rendimiento y los resultados del proceso, como los procedimientos termoquímicos desarrollados por una spin-off del CSIC, TRC S.L. En este caso, tras el tratamiento, se recuperan gases y líquidos combustibles y fibras totalmente limpias que mantienen la mayor parte de sus propiedades físicas y, por tanto, pueden ser utilizadas para la fabricación de nuevos materiales compuestos

## CONCLUSIONES

Al realizar la revisión documental, se constató que en Venezuela existen dos empresas que fabrique chalecos, una de ellas Antibala Industries un grupo que representa un consorcio extranjero Armourshield LTD de Inglaterra, líder mundial en fabricación de equipos de protección balística, en alianza con CAVIM, ente regulador de armas y explosivos en Venezuela. Son equipos de alta calidad, tanto en materiales como en manufactura. También esta Superbuidados especialistas en blindaje de vehículos y personal. Un hecho a resaltar, Venezuela es el segundo país donde mueren más oficiales por armas de fuego, hecho que preocupa, en lo respecta a sistemas de seguridad contra los delincuentes.

Los documentos revisados muestran que estos chalecos no son impenetrables, pero resguardan en un 80% dependiendo del material y su diseño. Es por esta razón que deben cumplir las normas establecidas para su construcción, uso y mantenimiento.

Otro aspecto importante de resaltar es el cumplimiento de las pruebas de resistencia balísticas aplicada a los chalecos, para constatar su efectividad. Esto se lleva a cabo usando dos cronómetros que miden la velocidad del proyectil, al pasar por dos dispositivos llamados marca.

Con respecto a los materiales Kevlar y Nomex, son fibras de aramidas las cuales se obtienen por la polimerización. Estas tienen una buena resistencia a la tracción, alta elongación a la ruptura, alta tenacidad. Otro aspecto a señalar, que debido a las propiedades mecánicas del kevlar, garantiza un buen desempeño en el uso para diseño de chalecos antibala, con unos 550 GPa de módulo de Young, muy superior a la fibra de carbono.

Mediante los experimentos investigados y que sirvieron de bases teóricas para la investigación se verificó que cuando se someten a esfuerzos de tensión, dos grupos de probetas, una solo con kevlar y otras compuestas con fibra de carbono, el material solo muestra mayor resquebrajamiento en las zona media de las probetas analizadas. Mientras que las probetas compuestas con fibras de carbono presentaron fallas laterales

o a lo ancho de las probetas, pero mostraron una superioridad ante el esfuerzo y la deformación.

Se puede concluir que al combinar kevlar más fibras de carbono se aumentan sus propiedades en un 72% con lo que respecta al módulo de Young, así mismo se aumenta en un 52% su esfuerzo máximo y la elongación. Todo esto favorece enormemente su uso para diseños de chalecos antibala, ya que se obtiene un compuesto de mayor módulo de elasticidad, lo que permita que el impacto de la bala se atenué y disminuya su efecto en la persona.

Con respecto a los blindaje de tanques y vehículos, se constató que el uso del kevlar ha sido eficiente, sin embargo los fabricantes de proyectiles siempre están un paso adelante en sus nuevos diseños. Lo que obliga a aumentar el grosor del blindaje, para minimizar el impacto y disminuir la fuerza de destrucción de los mismos.

El nomex es el otro material estudiado, se concluye que por sus características mecánicas térmicas y químicas es usado para diseño de trajes y equipos contra incendio, esto hace que no se contraiga, ni dilate, ni se ablande ni derrita durante la exposición a corto plazo a temperaturas tan altas como 300°C. Debido a que tiene un índice de limitación de oxígeno superior a 20% , no permite la combustión. Esta característica lo ha convertido en el material más usado en la fabricación de trajes para los corredores de la fórmula 1, ya que garantiza, en un rango corto de tiempo, salvar la vida del piloto por quemaduras.

Con respecto a la contaminación ambiental producida por los desechos sólidos, uno de los más contaminantes son los plásticos, debido a su larga vida, es por ello que se incluye en la tesis los diferentes procesos para tratar a los productos con kevlar y nomex. Se recomienda tomar medidas para su reciclaje

## **RECOMENDACIONES**

Debido a que Venezuela tiene un índice alto en niveles de criminalidad de los agentes policiales, por armas de fuego, se recomienda hacer estudios que permitan implementar la fabricación de equipos, y así aumentar su distribución entre los usuarios, lo que aportaría una solución a un gran problema como es la seguridad personal de los agentes policiales.

Se recomienda colocar materias electivas en el pensum de la carrera que incentiven la investigación por parte de los estudiantes de este tipo de materiales, su uso, nuevas combinaciones, así como proyectos de investigación en las maquinarias usadas en su obtención.

También se recomienda proponer otras tesis para investigar sobre otros productos usados en estos últimos años como son el Twaron de la empresa Akzo Nobel y Spectra producida por Allied Signal y por DMS de Holanda.

Por último, investigar los efectos de estos materiales en la contaminación del medio ambiente, ya que tiene un periodo de vidas muy largo antes que se destruyan, hay que incentivar su reciclaje, para disminuir sus efectos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arias, F. (2006). **Mitos y errores en la elaboración de proyectos de investigación**. Caracas: Episteme.
- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación**. Caracas: Episteme.
- Armijo, M. (2009). **Manual de Planificación Estratégica e Indicadores de Desempeño en el Sector Público**. Área de Políticas Presupuestarias y Gestión Pública ILPES/CEPAL
- Balestrini, M. (2001). **¿Cómo se elabora el Proyecto de Investigación?**. Consultores Asociados DL. Quinta Edición: Caracas.
- Budynas, & Nisbett. (2008). **Diseño en ingeniería mecánica de Shiley (8a**
- Callister, W. D. (2009). **Introducción a la ciencia e ingeniería de los**
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela**. (1999). Recuperado de:  
“[https://es.wikipedia.org/wiki/Constituci%C3%B3n\\_de\\_Venezuela](https://es.wikipedia.org/wiki/Constituci%C3%B3n_de_Venezuela)”.
- ed.). Madrid: Mc Graw Hill.
- Gamboa R., (2011), "**Estudio y caracterización de un blindaje termoplástico a base de fibras de aramida**" **Tesis de grado**. Centro de Investigación Científica de Yucatán-Mérida
- Hernández, Fernández y Baptista (2006). **Metodología De La Investigación**. Edición N°5. México D.F.
- Llano Uribe C., (2012) **Las fibras de carbono son cuatro veces más flexibles que las mejores aleaciones de acero y pesan una cuarta parte. (Fuente: Fibra de Carbono, Presente y futuro de un material Revolucionario; Revista Metal Actual Pág. 11)**.
- Manual de Tesis de Grado y Especialización y Maestría y Tesis Doctorales** de la Universidad Pedagógica Libertador.UPEL (2016). “<http://files.innova-edu.webnode.com/200003215-a4f06b3b1/NormasUPEL2006.pdf>”.Caracas: UPEL
- Mendoza–Nava, (2014) “**Caracterización de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono fabricados por el método de infusión para aplicaciones**

- aeronáuticas”, In: Memorias del XX Congreso Internacional Anual de la SOMIM, pp.838-845, Querétaro, México,**
- Nava Anabel, Siqueiros M., González B. Vega Y. y Mendoza I (2018) **Evaluar propiedades térmicas y mecánicas del poliparafenileno tereftalamida (kevlar y nomex) comparadas con la fibra de carbono en la fabricación de equipos blindados y chaleco antibalas Blvd.** Universitario #1000, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana Baja California, México
- Neely, J. E. (2002). **Metalurgia y materiales industriales. México: Limusa.**
- Nuñez L. (2014) **estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz epóxica reforzada con tejido mixto elaborado con fibras de carbono y kevlar y su incidencia en las propiedades mecánicas de partes externas de autos.** universidad técnica de Ambato. Facultad de ingeniería civil y mecánica. Ecuador
- Normas RENAR MA.01 (2001) **Chalecos antibala. República de Argentina**
- Pérez P., (2015), **"Diseño de un casco de combate frente a cargas dinámicas",** Tesis de grado Universidad Carlos III de Madrid-España
- Rocha-Rangel, E.(2011) **“Estudio de la Resistencia Mecánica de Materiales Compuestos Poliméricos Re-forzados con Fibra de Carbono.”,** In: Avances en Ciencias e Ingeniería (Executive Business School Chile ,v. 2, n.4, pp.81-88, 2011. [ Links ]
- Seymour, R. B.; Carraher, C. E.,(2002) **Introducción a la química de los polímeros,** Ed. Reverté S. A.
- Smith, W. F. (1999). **Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales (3a**
- UERRERO, V.H.,(2011) **“Materiales Compuestos”, In: Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales, 1 ed., chapter 2, Quito – Ecuador, impreff,**
- Valencia Y., (2006), **Chaleco antibalas. Constitución y desempeño antibalístico",** Tesis de grado . Centro de Investigación de Química Aplicada de Saltillo-Coahuila