



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Evaluación del material Tensylon
(UHMWPE) como alternativa de
blindaje automotriz y de
seguridad personal**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniera Mecánica

P R E S E N T A

Karla Margarita Pérez Rios Ruiseco

ASESOR DE INFORME

M.A. Víctor Manuel Vázquez Huarota



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

Agradecimientos

A mis padres, por absolutamente todo... los amo!

A ti Miguel... simplemente por existir, por estar a mi lado siempre y ser mi apoyo incondicional... Te adoro!

A Oscar y Víctor, por todo el apoyo para realizar este trabajo.

Índice

Antecedentes	1
Capítulo 1. Descripción de la empresa y perfil de puesto	2
1.1 Historia de compañía	2
1.2 Organigrama	3
1.3 Perfil y descripción de puesto	4
1.4 Metodología	5
Capítulo 2. Materiales de blindaje	6
2.1 Introducción	6
2.2 Metálicos	6
2.2.1 Acero	7
2.2.2 Aluminio	8
2.2.3 Titanio	9
2.3 Compuestos	10
2.3.1 Cerámicos monolíticos	10
2.3.2 Compuestos laminares	12
Capítulo 3. Procesos de conformado en plástico y características del Tensylon®	17
3.1 Termoformado mecánico	18
.....3.2 Termoformado laminado por prensa	18
3.3 Termoformado laminado en autoclave	19
3.4 Características del Tensylon®	20
Capítulo 4. Evaluación del comportamiento del Tensylon®	22
4.1 Normas de blindaje	22
4.2 Generalidades de la prueba balística	23
4.3 Ensayo de probetas	24
4.3.1 Probetas para aplicación en blindaje de toldos	25
4.3.2 Probetas para aplicación en blindaje de puertas	26
4.3.3 Probetas para aplicación en blindaje de escudos	27
4.4 Resultados obtenidos	29
4.4.1 Probetas para aplicación en blindaje de toldos	30
4.4.2 Probetas para aplicación en blindaje de puertas	34
4.4.3 Probetas para aplicación en blindaje de escudos	37
4.5 Matriz de decisión	40
4.5.1 Matriz de comparación pareada normalizada	40
4.5.2 Matrices de decisión	42
Capítulo 5. Conclusiones	45
Referencias	47
Anexo 1. Memoria de cálculo para la matriz pareada normalizada	49
Anexo 2. Memoria de cálculo para la tabla de ponderación de la matriz de decisión	89
Anexo 3. Glosario	91

Antecedentes.

La industria del blindaje ha ido en ascenso en la actualidad producto de la inseguridad que se vive en el mundo. Un claro ejemplo está en el mercado nacional, donde se puede ver un incremento aproximado del 35% en un periodo de 6 años, ya que de acuerdo a datos de la Asociación Mexicana de Blindadores Automotores (AMBA), en 2009 se blindaron menos de 2000 vehículos^[1] y en 2015 se blindaron 2700 automóviles.^[2] Es por ello que estar a la vanguardia en cuanto a tecnología, materiales y procesos se refiere es esencial para Blindajes Alemanes, ya que la complejidad en los vehículos es cada vez mayor debido al uso de materiales como el aluminio, nuevas tecnologías como la fibra óptica, o incluso la incursión de vehículos híbridos en el mercado, por ello se requieren soluciones cada vez más ligeras y menos invasivas, que permitan brindar las mejores soluciones técnicas a los clientes. Por otro lado, se tiene el mercado de seguridad personal, el cual es completamente nuevo para la compañía, sin embargo, se busca incursionar con la fabricación de escudos blindados ya que esto permite aprovechar la infraestructura que se tiene en la empresa y brinda la ventaja de tener un producto que no dependa de la industria automotriz (cambio de año modelo), por lo que, se podría trabajar en dos rubros de seguridad completamente independientes.

Este trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar al polietileno de ultra alto peso molecular "Tensylon®" como alternativa de material de blindaje en los rubros automotriz y de seguridad personal mediante el uso de una matriz de decisión. El interés particular en este material se debe a su ligereza y a que en la actualidad es el único UHMWPE que puede ser termoformado en autoclave, por lo que se llevaron a cabo diferentes pruebas balísticas bajo las normas NIJ, UL y NOM. También se realizaron matrices de decisión en donde se evaluó el comportamiento del nuevo material y se comparó con el polietileno unidireccional (UD) que actualmente se utiliza en la compañía, el cual tiene la limitante de ser un material que se vende laminado.

Capítulo 1

Descripción de la empresa y perfil de puesto.

1.1 Historia de la compañía.

El origen de la empresa se remonta al año 1840 en la ciudad de Reutlingen, Alemania bajo el nombre de Wendler, cuyo inicio fue como constructora de carruajes de caballos; años más tarde construyó carrocerías para automóviles de las marcas: Mercedes Benz®, Maybach®, Bentley®, BMW®, Volkswagen® y Porsche® hasta convertirse en una de las primeras compañías de blindaje a nivel mundial.

En el año de 1996 se crea en la Ciudad de México la empresa Blindajes Alemanes bajo la asistencia técnica de Wendler GmbH – Alemania, abriendo sus puertas como una empresa dedicada al Blindaje automotriz “aftermarket” con una producción pequeña, basada en métodos artesanales tanto para el diseño como para el proceso de blindaje de los vehículos. Pero fue hasta el año de 1999 que Blindajes Alemanes® y Wendler® decidieron unirse y formar el Grupo WBA®.

A través de los años con el aumento desmedido de delincuencia y conflictos en Latinoamérica se fueron atendiendo necesidades de distintos mercados (gobierno, ensambladoras, vehículos “aftermarket” y blindaje arquitectónico), creando nuevas oportunidades de desarrollo. En el caso de Gobierno y fuerzas del orden se comenzó blindando patrullas y vehículos oficiales hasta llegar en la actualidad al desarrollo de vehículos tácticos, los cuales han permitido consolidarse en el mercado internacional. Sin embargo, no ha sido este el único sector que ha incrementado su demanda, tal es el caso de las empresas armadoras como Volkswagen®, Toyota®, Audi®, BMW® y Chrysler®, quienes decidieron ofrecer a sus clientes vehículos blindados de fábrica; conscientes de la importancia de la confiabilidad de los procesos nos dimos a la tarea de industrializarlos cada vez más invirtiendo en maquinaria, software y capacitación, culminando con la estandarización del producto mediante procesos certificados y avalados por normas internacionales y por los propios requerimientos de validación y liberación de las distintas ensambladoras.

Otro de los rubros para el blindaje donde ha crecido la demanda es el arquitectónico, tanto en comercios, casas habitación y oficinas de gobierno, donde el uso de ventanales incorporados al diseño es cada vez más frecuente.

Es sin lugar a duda en el área de vehículos “aftermarket” en donde Blindajes Alemanes ha tenido su mayor reto debido a las exigencias del mercado nacional, ya que con el paso del tiempo el peso total del vehículo y los acabados interiores se han convertido en las principales características en las que los clientes hacen énfasis, es por ello que WBA® se encuentra siempre a la vanguardia en la búsqueda de soluciones y en la innovación en cuanto a materiales y tecnología se refiere.

1.2 Organigrama.

La subdirección de ingeniería y proyectos OEM, tiene a su cargo un coordinador de ingeniería el cual ayuda a optimizar el desempeño de las áreas de moldes, corte y diseño CAD. También cuenta con un gerente de producción el cual se encarga de la línea de producción y el área de fabricación de kits.

Mi puesto dentro de la organización es el de gerente de producción. A continuación, se puede observar el organigrama.

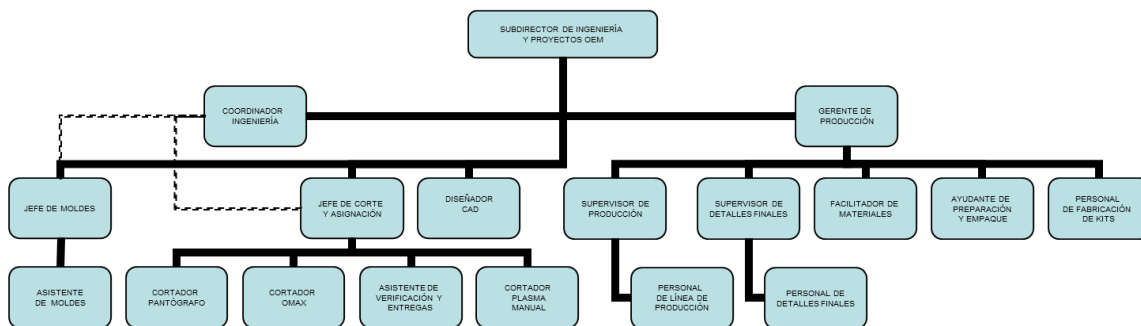


Figura 1.1 Organigrama de la empresa [WBA, 2014]

1.3 Perfil y descripción de puesto.

Nombre del puesto: Gerente de Producción OEM

Jefe inmediato: Subdirector de Ingeniería y Proyectos OEM.

Área: Ingeniería y proyectos OEM.

Personal a su cargo: Supervisores y personal operativo.

Edad: 30 a 50 años.

Sexo: Indistinto.

Escolaridad: Ingeniería Mecánica, Industrial o afín (deseable titulado).

Experiencia: Procesos de producción metal mecánicos, blindaje.

Idioma: Inglés 80% deseable.

Especialización: No necesaria.

Conocimientos técnicos requeridos.

- Deseable en proceso de blindaje.
- Administración de producción.
- Mecánica automotriz.
- Manejo de software CAD.
- Office.

Habilidades requeridas.

- Tolerancia al estrés.
- Comunicación.
- Liderazgo.
- Negociación.
- Planificación.
- Desarrollo del personal.

Responsabilidades:

- Control de costos de la línea de producción.
- Entrega puntual de suministros de blindaje opaco a las líneas de producción.
- Entrega puntual de vehículos a cliente.

Nivel de autoridad:

- Iniciar acciones para prevenir la ocurrencia de no conformidades relacionadas con el producto y/o el proceso.
- Sancionar y reportar cualquier falta de cumplimiento de políticas y normas por el personal en general.

Funciones principales:

- Administrar recursos humanos y materiales para el logro de objetivos.
- Asegurar el cumplimiento de las políticas de la empresa.
- Asegurar el cumplimiento de los estándares de producción.
- Evaluación e implementación de nuevas tecnologías.
- Fabricación de prototipos para nuevos productos.
- Determinar la capacidad instalada de las áreas de producción.
- Capacitación técnica del personal a su cargo.
- Mantenimiento de infraestructura y maquinaria a su cargo.

1.4 Metodología

Para la evaluación del Tensylon®, hice uso de la función de “evaluación e implementación de nuevas tecnologías” que desempeño dentro de la empresa; esto con el objeto de tener una mejor alternativa al UD que actualmente se utiliza. La ventaja que brinda el nuevo material respecto a su competencia es que puede ser termoformado en autoclave, lo cual permite que adquiera geometrías complejas.

Para la validación del uso del nuevo material en primera instancia se fabricaron probetas mediante termoformado en autoclave, estas probetas fueron medidas y pesadas. Posteriormente se enviaron al laboratorio para ser sometidas a las pruebas balísticas; Una vez que el laboratorio emitió el reporte de los resultados éstos se concentraron en una tabla. De forma simultánea se hicieron encuestas en diversas áreas de la empresa para obtener una matriz de comparación pareada normalizada mediante el proceso jerárquico analítico “AHP”, con la cual se generó una tabla de ponderación por atributos para posteriormente, en conjunto con la tabla de resultados realizar la matriz de decisión tanto para el Tensylon® como para el UD y llevar a cabo la comparación entre ambos materiales. Para esta comparación el material que se tomó como referencia fue el UD, por ser el material utilizado actualmente.

Capítulo 2

Materiales de Blindaje.

2.1 Introducción

El blindaje antibalístico se puede definir como el proceso que emplea diversos materiales como barrera de protección ante el impacto de balas con el objetivo de salvaguardar personas o instalaciones. El tipo de material empleado en cada blindaje es definido por las características requeridas en el producto final (nivel de blindaje, nivel de trauma, flexibilidad, inflamabilidad y toxicidad, medio ambiente, peso del vehículo, costo, espacio disponible, características estéticas); siendo los más utilizados, los metálicos y los materiales compuestos como fibras laminadas y vidrios entre otros. A continuación, se detallará la información.

2.2 Metálicos

Son los más conocidos por su presencia a lo largo de la historia. Comenzó a usarse durante la Edad Media en Europa para la protección de los caballeros y la de sus equinos, pero fue hasta principios del siglo XVIII en Francia que este grupo de materiales se comenzó a ocupar para blindar vehículos. Actualmente se utilizan para el blindaje diversas clases de materiales metálicos como los aceros, aleaciones de aluminio y titanio^[3].

Los materiales metálicos resisten los impactos de las balas transformando la energía del proyectil en deformación plástica, sin embargo, en general estos materiales no son capaces de repeler municiones perforantes con corazón de tungsteno por lo que se han desarrollado otro tipo de materiales. En los materiales metálicos se ha observado experimentalmente que existe un cambio en el mecanismo de falla presentado en diversas muestras y que tiene relación con el espesor del material impactado, esto es, que existe un espesor crítico para cada tipo de metal por debajo del cual la fractura se presentará dúctil mientras que por encima de dicho espesor la fractura será frágil^[3].

En balística existe un concepto llamado multi-impactos que es la característica de poder soportar tres impactos separados entre ellos aproximadamente 12 cm, esta característica tiene que ver con el área circundante dañada por el impacto ya que mientras mayor sea ésta, la separación entre impactos deberá crecer para soportarlos. Los metales que a continuación se describen tienen la propiedad de ser multi-impactos^[3].

2.2.1 Acero

El acero de acuerdo a su composición química, proceso de laminado y tratamiento térmico se caracteriza por tener diversas propiedades mecánicas, además de ser un material fácil de transformar mediante el uso de diversos procesos industriales entre los que destacan corte, soldadura, troquelado y doblaje; es importante poner énfasis en el fácil manejo del acero en cuanto a instalación se refiere, ya que este material brinda diversas alternativas tales como soldadura, sujeciones mecánicas y vulcanizado; si a esto se añade el bajo costo que tiene respecto al resto de materiales que se emplean para el blindaje, se entiende que todas estas ventajas técnicas y comerciales lo vuelven una gran opción para el usuario y lo convierten en el material con mayor número de aplicaciones dentro de la industria del blindaje^[3].

Existen dos tipos principales de acero que se han desarrollado para el blindaje. El primero es una familia de aceros con composiciones químicas dentro del rango que se muestra a continuación^[3].

Tabla 2.1 Porcentajes de aleantes para aceros empleados en el blindaje^[3].

%					
C	Si	Mn	P	Cr	Mo
0.23 a 0.3	0.65 a 0.80	0.80 a 1.3	0.006 a 0.015	0.3 a 0.85	0.16 a 0.27

Estos aceros son templados y revenidos para lograr una combinación de dureza y tenacidad tales que en distintos espesores sean suficientes para resistir impactos de una gran variedad de proyectiles^[3].

Las propiedades promedio de esta familia de aceros se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.2 Propiedades promedio de acero utilizado en el blindaje^[3]

Densidad (kg/m ³)	7860
Esfuerzo último (GPa)	1.7
Elongación %	13
Dureza HB	500
Impacto Charpy (J/m ²)	100

El segundo tipo de acero para blindaje se compone de una cara frontal de alta dureza y una posterior de menor dureza, teniendo como propósito que la cara de impacto (frontal) fracture o deforme el proyectil mientras que la cara de soporte (posterior) absorba la energía y detenga el proyectil^[3]. Ambas caras son de acero aleado con Ni-Mo-Cr pero la cara de impacto posee mayor contenido de carbono lo cual le permite tener mayor dureza después del tratamiento térmico. Para unir ambas caras se emplea rolado en caliente hasta lograr una fuerte unión metalúrgica entre ambas^[3].

Debido a las características intrínsecas de este material es necesario realizar las operaciones de corte y conformado en estado recocido y después realizar el tratamiento térmico para lograr las propiedades mecánicas requeridas^[3].

Las propiedades promedio de estos aceros en estado recocido son:

Tabla 2.3 Propiedades promedio de acero Cr-Ni-Mo utilizado en el blindaje^[3].

Densidad (kg/m ³)	7860
Esfuerzo último (GPa)	1.02
Elongación %	14.5
Impacto Charpy (J/m ²)	80
Dureza. Cara de impacto HB	293
Dureza. Cara de soporte HB	240

Ambas clases de acero pertenecen a la familia 4000 que por cuestiones de confidencialidad no se pone el nombre. En este tipo de acero el molibdeno es utilizado generalmente en combinación de cromo, níquel o ambos. El molibdeno favorece ampliamente la formación de carburos y además tiene una gran relevancia mejorando la templabilidad de los aceros, este efecto lo logra desplazando el diagrama TTT del acero en cuestión hacia la derecha. La adición de alrededor de 1% de molibdeno a los aceros de bajo carbono llega a duplicar su resistencia a la tracción^[3].

2.2.2 Aluminio

Además de los aceros también es ampliamente utilizado el aluminio aleado, siendo el más conocido en estas aplicaciones el 2024-T3. El sufijo T3 indica que esta aleación es tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida naturalmente. La proporción de elementos aleantes por la que está compuesta se muestra a continuación:

Tabla 2.4 Porcentajes de aleantes para aluminio 2024-T3 utilizado en el blindaje^[3].

Porcentaje [%]								
Si	Cr	Zn	Ti 0	V	Fe	Cu	Mn	Mg
0.08	0.016	0.07	0.03	0.02	0.22	4.76	0.65	1.38

Las propiedades promedio de este material son las siguientes:

Tabla 2.5 Propiedades promedio de Aluminio 2024-T3 utilizado en el blindaje^[3].

Densidad (g/cm ³)	2.78
Esfuerzo último (MPa)	482.6
Elongación %	18
Dureza HB	120
Impacto Charpy (J/m ²)	70

El aluminio a pesar de ser un material cuyo costo es alto respecto al del acero, brinda varias ventajas al utilizarlo entre las que destacan su ligereza, su excelente capacidad de soldabilidad, resistencia mecánica y resistencia a la corrosión^[3].

2.2.3 Titanio

Titanio en su aleación 6Al-4V además de ser utilizado en balística se llega a encontrar en algunos componentes de motores de aviones y fuselajes, donde la ligereza, la alta resistencia a la corrosión y la capacidad para resistir temperaturas elevadas son características indispensables, sin embargo, es utilizado de manera discreta en aplicaciones balísticas debido a su alto costo^[3].

Las propiedades promedio de este material son las siguientes:

Tabla 2.6 Propiedades promedio del titanio 6Al-4V utilizado en el blindaje^[3].

Densidad (kg/m ³)	4470
Esfuerzo último (MPa)	1172.1
Elongación %	7
Dureza HB	379
Impacto Charpy (J/m ²)	23

2.3 Compuestos

El desarrollo de nuevas armas y municiones, así como las diversas exigencias técnicas y estéticas del mercado, orillaron a la industria del blindaje a buscar nuevas alternativas en cuanto a materiales se refiere, por lo que los materiales compuestos han ido incrementando cada vez más su presencia en el este ámbito.

2.3.1 Cerámicos monolíticos.

Con la finalidad de reducir peso y poder hacer frente a impactos de proyectiles perforantes (de alta dureza) se ha centrado la atención en los materiales cerámicos siendo los monolíticos los de mayor aplicación ya que se forman a partir de un solo compuesto. Este tipo de materiales incluye óxidos, carburos y nitruros. El óxido más utilizado es el de Aluminio (Al_2O_3) debido a su alto nivel de propiedades físicas^[3].

Tabla 2.7 Propiedades promedio del titanio 6Al-4V utilizado en el blindaje^[3].

Densidad (kg/m^3)	3970
Tenacidad a la fractura ($MPa \cdot m^{1/2}$)	3.5
Resistencia a la compresión (MPa)	2757.9
Dureza Vickers (GPa)	11.75

La alúmina es de bajo costo y puede ser manufacturada de varias maneras como vaciado, prensado o inyección, los cuales son métodos de fabricación sencillos que no requieren de equipos costos^[3].

En general los carburos y los nitruros son usados en la protección balística debido a sus altas propiedades físicas y baja densidad que comparados con la alúmina son más efectivos, sin embargo, estos cerámicos son conformados normalmente mediante prensado en caliente lo que los convierte en una opción cara y poco productiva^[3].

Tanto los carburos de silicio y de boro como los nitruros de silicio, de aluminio y de titanio han encontrado gran aplicación en el blindaje. Se muestra a continuación una tabla con las propiedades físicas de esto materiales^[3]:

Tabla 2.8 Propiedades físicas de los carburos utilizados en el blindaje^[3].

Material	Densidad (kg/m ³)	Tenacidad a la fractura (MPa*m ^{1/2})	Resistencia a la compresión (MPa)	Dureza Vickers (kg/m ²)
Carburo de silicio	3200	4.6	4667.75	2.8e ⁹
Carburo de boro	2470	3.2	9652-23442	3.2e ⁹
Nitruro de silicio	3300	6.1	13789-24131	1.7 e ⁹ -2.2 e ⁹
Nitruro de aluminio	3260	2.6	2100	1.1e ⁹
Nitruro de titanio	5220	5	-	2.3e ⁹

Los materiales cerámicos basan su capacidad de soportar impactos balísticos absorbiendo parte de la energía cinética del proyectil por medio de la energía de fractura y apoyándose en su dureza que actúa deformando al proyectil durante la indentación y funcionando como abrasivo sobre el proyectil durante la penetración y la salida, es por esto que muchas veces se forman materiales compuestos utilizando los cerámicos monolíticos como cara de impacto antecediendo a otro material que detenga al proyectil mediante deformación plástica^[3].

Una gran desventaja de estos materiales es que no tienen la capacidad de ser multi-impactos por sí solos debido a que presentan fracturas frágiles ante cargas de impacto, esto consiste en la formación y propagación de fisuras a través de la sección del material en una dirección perpendicular a la carga aplicada que llega a afectar una zona circundante al impacto muy amplia. El crecimiento de grietas normalmente ocurre a través de los granos y a lo largo de determinados planos cristalográficos que son de alta densidad atómica^[3].

La capacidad de un cerámico de resistir la fractura cuando una grieta está presente se especifica en términos de la tenacidad de fractura^[3].

2.3.2 Compuestos laminares.

Buscando solventar las deficiencias de los metales y los cerámicos monolíticos se comenzaron a desarrollar los materiales compuestos para lograr propiedades físicas y mecánicas que con los distintos grupos de materiales por sí solos sería imposible lograr. Si bien es cierto que existen compuestos con refuerzo de fibras o partículas y con matrices distintas, es en los laminares donde se ha tenido el mayor desarrollo, por lo que existe una gran diversidad de materiales compuestos laminares para resistir impactos balísticos^[3].

Los mecanismos que se buscan mejorar mediante el uso de materiales compuestos laminares incluyen la indentación de la punta del proyectil, deformación plástica del laminado, la delaminación y la fricción entre las capas y el proyectil^[3].

Delaminación se puede entender como la separación total o parcial entre las láminas que forman el compuesto^[3].

Los materiales compuestos laminares presentan efecto de borde u orilla libre, esto quiere decir que las propiedades mecánicas del compuesto se verán disminuidas en la vecindad del perímetro si existe esfuerzo de tensión interlaminar que generará delaminación, provocando que el material ya no actúe como un conjunto del compuesto^[3].

Cuando se forman materiales compuestos en los que se utiliza como cara de impacto algún cerámico o metálico se presentará fricción y erosión en el proyectil cuando éste atraviese la interfase entre la cara de impacto y el material de soporte, ya que en esta zona existirán fragmentos del material impactado que servirán como abrasivos, disipando así una parte de la energía^[3].

Los materiales empleados como base para formar los compuestos laminares más utilizados en el blindaje son kevlar, polietileno de ultra alto peso molecular, acero y cerámicos. A continuación, se incluye una descripción de los mismos^[3].

2.3.2.1. Kevlar

El Kevlar es una fibra de la familia de las aramidas, debido a que está formada a partir de una poliamida que contiene anillos de benceno en la estructura del polímero lo cual le da una excelente resistencia a la tracción y al impacto debido a su capacidad de soportar grandes deformaciones^[3].

Los tipos más conocidos de Kevlar son el Kevlar 29 y el Kevlar 49, en aplicaciones balísticas se utiliza el Kevlar 29 debido a que soporta una mayor deformación antes de la fractura, que comparado con el Kevlar 49 aunque éste tiene mejor resistencia su capacidad de absorber energía es menor^[3].

Las propiedades físicas del Kevlar 29 se muestran a continuación:

Tabla 2.9 Propiedades del kevlar 29^[3].

Densidad (kg/m ³)	1440
Resistencia a la tensión (GPa)	2.8
Elongación %	200

Para formar compuestos laminares el Kevlar se utiliza de varias maneras, una es a partir de las fibras entreteladas en forma de textil, cada capa de este textil se une a las otras mediante costura con hilo de la misma fibra y sin que exista entre ellas otra cosa que no sea aire. Este compuesto básicamente logra su resistencia a impactos balísticos tratando de absorber la energía cinética del proyectil transformándola en su totalidad en deformación plástica. Sus mayores ventajas son la flexibilidad ya que puede adoptar gran variedad de formas irregulares y su bajo peso; lo que en conjunto da la posibilidad de movimiento. Estas características son muy importantes en la construcción de chalecos antibalas^[3].

Otra manera de formar compuestos laminares a partir de Kevlar es colocando películas de uretano entre las capas de textil, después aplicando presión y temperatura se unen logrando así mejorar sus propiedades mecánicas^[3].

Las propiedades del uretano son las siguientes:

Tabla 2.10 Propiedades del uretano^[3].

Densidad (kg/m ³)	1300
Resistencia a la tensión (MPa)	68.94
Elongación %	600

Aunque el Kevlar basa su resistencia balística en la deformación plástica del compuesto, colocando la intercara de uretano el compuesto es más rígido por lo que las geometrías que puede adoptar son más limitadas, sin embargo, gracias a las propiedades que le confiere se pueden lograr resistencias balísticas mayores con menor cantidad de capas lo que repercute en costos y volúmenes necesarios para proteger un área determinada^[3].

El Kevlar se ve en gran desventaja ante proyectiles de alta dureza (penetrantes) por lo que se han experimentado compuestos donde se antecede al Kevlar con una placa ya sea de acero balístico o de cerámico monolítico, tratando de mejorar el comportamiento de estos compuestos ante el mecanismo de deformación del proyectil para disipar parte de la energía cinética por ese medio además de aumentar el área de contacto entre el proyectil y el material de soporte (Kevlar). Existe además otro mecanismo de disipación de energía cinética del proyectil que, aunque no está perfectamente cuantificado se sabe que durante la penetración y la salida del proyectil sobre la cara de impacto se produce erosión del proyectil actuando los fragmentos de la cara de impacto como abrasivos^[3].

Es muy importante mencionar que las fibras aramidadas son muy resistentes a la tensión pero su resistencia a la compresión es relativamente baja por lo que este tipo de materiales no pueden ser precedidos de materiales rígidos que impidan la deformación plástica de las fibras^[3].

2.3.2.2. Polietileno de ultra alto peso molecular

El polietileno es un polímero termoplástico, en aplicaciones balísticas se emplea el polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), debido a las propiedades mecánicas que presenta^[3].

Tabla 2.11 Propiedades del polietileno de ultra alto peso molecular^[3].

Tipo	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la Tensión (MPa)	Elongación a la Fractura (%)	Impacto IZOD (J/m)
Ultra alto peso molecular (UHMW)	970	2695.85	350	1601.3

La manera en que se encuentra comercialmente este compuesto es en forma capas de fibras unidireccionales de UHMW con una interfase del mismo polietileno entre cada una de las capas. Las fibras de cada capa se orientan perpendiculares a la capa que preceden, esto se hace para mejorar su resistencia ante cargas en dirección transversal al compuesto^[3].

Este compuesto laminar tiene como ventaja su bajo peso, pero para soportar impactos de municiones penetrantes se requiere colocar (al igual que en el caso de las aramidadas) una lámina de acero o cerámico como cara de impacto^[3].

Estos materiales son poco flexibles y para adecuarlos a formas con curvaturas leves se deberán termo formar para evitar generar delaminación. A pesar de esto el UHMWPE tiene diversas aplicaciones en la industria del blindaje, como protecciones corporales, blindaje arquitectónico, aeroespacial y automotriz^[3].

2.3.2.3 Laminas de acero

En el caso del acero además de colocarse como superficie de impacto para mejorar el comportamiento de las aramidas y el polietileno ante impactos perforantes, se han utilizado formando compuestos laminas recurriendo a unir dos placas de acero soldadas por tramos en su contorno. Las razones para formar esta clase de compuestos son en primera instancia obtener mejores propiedades balísticas que utilizando acero de mayor espesor, esto se debe a que durante la penetración y salida de la cara de impacto ocurrirá erosión en el proyectil lo que disipará parte de la energía cinética de la munición, además la placa de soporte evitará que el acero que la antecede se deforme modificando así su resistencia, además de estos mecanismos existe la ventaja de que aun cuando se genere una grieta en la cara de impacto ésta solo podrá propagarse en la lámina en cuestión. El segundo motivo para ocupar esta clase de compuestos es porque después de determinados espesores de acero se complican las operaciones que conlleven doblez por lo que es una alternativa doblar por separado los aceros que formarán el compuesto y después unirlos^[3].

2.3.2.4 Laminas de cerámicos

El ejemplo más común son los “vidrios blindados” que se forman a partir de láminas de vidrio de sosa-cal y policarbonato con películas polivinil butiral que funciona como adhesivo entre ellas. En este caso se busca obtener un material transparente que logre soportar los impactos, aunque el peso y el costo comparados con los materiales opacos son una desventaja^[3].

Las propiedades físicas de estos tres componentes se muestran a continuación:

Tabla 2.12 Propiedades físicas de los componentes de los vidrios blindados^[3].

Material	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la Tensión (MPa)	Elongación a la fractura (%)	Impacto IZOD (J/m)
Vidrio	2500	48.3	-	-
Polivinil butiral	950	3.44-20.68	150-450	-
Policarbonato	1200	55-75	100-150	854

En este caso en particular se busca que el compuesto sea transparente por lo que a pesar de que existen materiales que ofrecen mayores propiedades mecánicas y menor densidad se utilizan aquellos que no presentan opacidad^[3].

Otra característica propia de todos los compuestos laminares es que tienen un comportamiento altamente anisotrópico por lo que se debe asegurar que los impactos se aplicarán transversalmente y que impactarán sobre la cara dispuesta para tal propósito en el material de blindaje^[3].

Capítulo 3

Procesos de conformado en plástico y características del Tensylon®.

Para los procesos de conformado de los materiales compuestos que a continuación se describe, se debe tomar en consideración la materia prima a partir de la cual se comenzará a trabajar, ya que el proceso puede iniciar con un material previamente laminado (normalmente prensado) o bien con un material “prepreg”.^{[6][7]}

El prepreg es una combinación de fibra unidireccional o tejida (multidireccional), pre impregnada de una resina que permite la adherencia entre las diversas capas del material durante el proceso, la cara que tiene la resina está recubierta de capas protectoras termoplásticas que al ser retiradas permiten la laminación del material en el proceso de conformado. Este tipo de materia prima normalmente se suministra en rollos, por lo que la merma que genera es menor y los costos son muy atractivos en producciones elevadas.^[7]



Figura 3.1 a)Fibra unidireccional^[25]



Figura 3.1 b) Fibra tejida^[24]

3.1 Termoformado mecánico.

Parte de un material termoplástico ya laminado y consiste en darle forma a través de las etapas de calentamiento, formado y enfriamiento; este proceso se describe a continuación.

El proceso inicia al introducir una placa de aramida o UHMWPE en un horno con resistencias por un lapso de tiempo específico durante el cual el material llega a su temperatura de reblandecimiento; es en este momento en el que la pieza es colocada entre un par de moldes (hembra y macho) y prensada forzando al material a adquirir la forma del molde; el material debe permanecer entre los moldes hasta que su temperatura iguale la del ambiente, cuando esto sucede la pieza es retirada de los moldes y se recorta el excedente en el perímetro de la pieza dando lugar al producto final.

Este método se caracteriza por la ausencia de vacío o presión de aire; lo que lo vuelve un proceso rentable para la industria en piezas con geometrías simples y de baja producción, sin embargo, también tiene desventajas ya que es un proceso lento y no permite gran complejidad en las formas, por lo que se ha buscado utilizar procesos que permitan piezas de mayor formato, complejidad y rapidez en la manufactura.

Este proceso de conformado emplea principalmente matrices metálicas o de resinas debido a las ventajas que presentan (bajo costo, fácil confección y alta duración); además de requerir poca presión para el formado de las piezas por lo que se requiere maquinaria relativamente pequeña a diferencia del siguiente proceso donde se necesitan hasta 2000 ton por metro cuadrado para el termo formado-laminado, lo cual le permite fabricar altos volúmenes de piezas.^[6]

3.2 Termoformado laminado por prensa.

El termoformado por compresión es un método de alta presión, utilizado para la obtención de piezas con diversas geometrías. Actualmente los compuestos termoplásticos están siendo utilizados en este tipo de máquinas debido a sus características mecánicas.

Las prensas de moldeo por compresión están orientadas verticalmente y contienen dos placas a las cuales se sujetan las mitades del molde. El proceso involucra dos tipos de actuación: 1) carrera ascendente de la placa del fondo o 2) carrera descendente de la placa superior, siendo esta última la configuración más común. Las prensas de compresión del molde se fabrican en una amplia variedad de tamaños. La mayoría utilizan un cilindro hidráulico con el fin de producir la suficiente fuerza durante la operación de moldeo. Las prensas pueden generando presiones que van desde 300 a 4.000 toneladas. El calor y la presión se aplican, con rangos de temperatura de 225°F a 325°F (107°C a 163°C) y 150 a 1.000 psi de presión, necesarios para curar las piezas, los ciclos varían desde menos de uno minuto a cinco minutos. La mayoría de las máquinas cuentan con guías que aseguran el ajuste perfecto entre ambos moldes.^[7]

Actualmente el precalentar la carga antes de colocarla en el molde se ha vuelto una práctica común, con lo cual se logra suavizar el polímero y acortar la duración del ciclo de producción. Algunos de los métodos de precalentamiento empleados son calentadores infrarrojos y calentamiento por convección en estufa.^[7]

3.3 Termoformado laminado en autoclave.

Este proceso de conformado emplea un molde y mediante la aplicación de presión y temperatura controladas se logra la adherencia de varias capas de un material termoplástico que den como resultado una pieza. El proceso se compone de varias etapas las cuales son descritas a continuación.

En una primera etapa se cortan las capas del material termoplástico a laminar (el número de capas estará determinado por el nivel de protección requerido) y se apilan de forma unidireccional. La segunda etapa del proceso consiste en crear una bolsa de vacío dentro de la cual se colocan los siguientes componentes: el molde de la pieza a termo formar, sobre este una película que no permita la adherencia del material al molde, el material termoplástico previamente cortado, un material poroso que ayude a la extracción del aire y la válvula de vacío. La tercera etapa es la aplicación de vacío para llevar la pieza a la forma del molde, posteriormente se conecta a las líneas de vacío de la autoclave y comienza el ciclo (las etapas del ciclo son: calentamiento, mantenimiento y enfriamiento). La última etapa del proceso es sacar la pieza de la autoclave y recortar de acuerdo a la geometría del molde.^[8]

Es importante destacar que las diversas fases del ciclo de termoformado dependen del material a laminar, el espesor y la geometría de la pieza que se quiere obtener. Cada una de las etapas del ciclo tiene un objetivo; en los primeros minutos del ciclo lo que se busca es permitir la consolidación de la pieza aumentando la temperatura, después mediante el incremento de la presión se comprime el material para lograr el espesor deseado y por último el enfriamiento ayudará a que el material adquiera una mejor rigidez.

Este tipo de proceso de conformado presenta muchas ventajas entre las que destacan la obtención de piezas con geometrías complejas, la ligereza de las piezas de blindaje, la estandarización de la producción, un costo relativamente bajo en producciones grandes, entre otras.^[8]

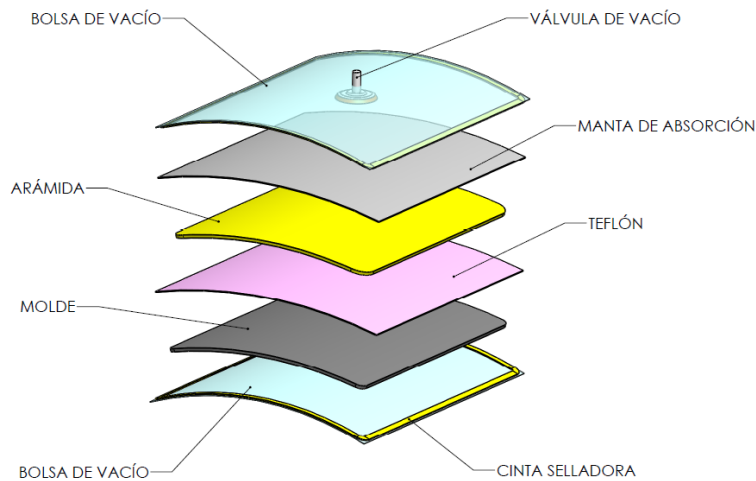


Figura 3.2. Ensamble de aramida para termoformado en autoclave.^[WBA,2016]

3.4 Características del Tensylon®.

El Tensylon® es un laminado bidireccional de polietileno de ultra alto peso molecular, (UHMWPE ultra High Molecular Weight Polyethylene) con tecnología prepreg de alto rendimiento, este material es actualmente un termoplástico único en su clase debido a que permite su laminación mediante autoclave, una característica que solo brinda este producto, por lo que se suministra en rollo, lo cual le brinda una gran versatilidad en cuanto a nivel de blindaje, geometría de piezas y proceso de producción se refiere.

Al ser un polietileno de ultra alto peso molecular tiene una gran resistencia al impacto y al desgaste por abrasión, no presenta absorción de agua y es muy liviano, lo cual lo vuelve una buena opción en diversos rubros del blindaje, tales como: marítimo, aeroespacial, de protección personal (chalecos, escudos, cascos, etc.) y arquitectónico. A diferencia de la mayoría de los materiales de polietileno hilado en gel, Tensylon® tiene menos variación de rendimiento en aplicaciones de alta y baja presión y tiene un cambio mínimo o nulo en el rendimiento balístico en temperaturas extremas.

Otra de las características de este compuesto es que las piezas que se generan con él son muy rígidas, lo cual estructuralmente tiene muchas ventajas; un ejemplo de esto se encuentra en algunos vehículos ya que al colocar el blindaje del techo en acero se genera una deformación en la estructura del vehículo que da lugar a ondulaciones en el toldo; las cuales se pueden eliminar sustituyendo el acero por una pieza termo formada con Tensylon® debido a su ligereza y rigidez.

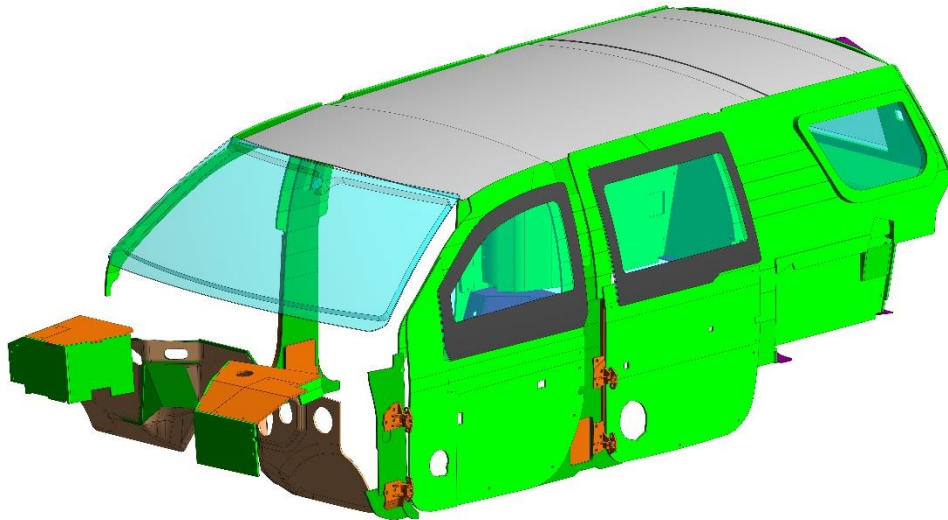


Figura 3.3. Blindaje automotriz diseñado en CAD con cielo en Tensylon® [WBA, 2016]

El Tensylon® es un material multi – impactos que presenta una delaminación reducida y un menor efecto de borde libre, consistente en la presencia de importantes tensiones interlaminares que llegan a provocar delaminación^[12], por lo que su desempeño balístico es mejor que el de otros lamiados que actualmente existen en el mercado.

Otra de las fortalezas de este material es que brinda la posibilidad de laminarse en conjunto con otro tipo de materiales (metálicos y cerámicos principalmente) aumentando con esto el nivel de protección balística y el tipo de industria en el que participa.

Capítulo 4

Evaluación del comportamiento del Tensylon®.

4.1 Normas de blindaje.

Para la evaluación de este material se utilizaron tres normas diferentes. La norma de “Underwriters Laboratory” UL 752 para nivel 7, la norma del “National Institute of Justice” NIJ 0108.01 para nivel 3 y la Norma Oficial Mexicana NOM-142 SCFI 2000 para nivel C. A continuación, se describen las generalidades de estas pruebas.

Tabla 4.1 Características de la norma UL752, nivel 7^[13]

Norma	UL752, Revisión 5, octubre 2005
Nivel de blindaje	7
Calibre del proyectil	.223 5.56 NATO
Tipo de cartucho	55 grain FMJ
Rango de velocidad	3038 a 3388 ft/s
Número de tiros	5
Espacio entre tiros	4.5 in ²
Distancia al objetivo	15 ft
Tamaño de la muestra	12 x 12 in
Placa testigo	0.125 in (espesor del cartón corrugado)
Distancia de la placa testigo	18 in
Temperatura de la prueba	72 °F

Tabla 4.2 Características de la norma NIJ 0108.1, nivel III^[13]

Norma	NIJ 0108.1,
Nivel de blindaje	III
Calibre del proyectil	.30 7.62 NATO
Tipo de cartucho	147 grain M80
Rango de velocidad	2700 a 2800 ft/s
Número de tiros	5
Espacio entre tiros	>2 in
Distancia para medir la velocidad	6.6 ft
Distancia al objetivo	49.2 ft
Tamaño de la muestra	≥ 12 x 12 in
Placa Testigo	0.020 in, hoja de aluminio con aleación tipo 2024-T3 o T4
Distancia de la placa testigo	6 in
Temperatura de la prueba	68 - 82 °F

Tabla 4.3 Características de la norma NOM-142 SCFI 2000, nivel C^[13]

Norma	NOM-142 SCFI 2000
Nivel de blindaje	C
Calibre del proyectil	7.62 X 39
Tipo de cartucho	124 grain M43
Rango de velocidad	710.75 m/s
Número de tiros	3
Espacio entre tiros	12 cm ± 1 cm
Distancia al objetivo	15 m
Tamaño de la muestra	40 x 40 cm ± 0.5 cm
Placa Testigo	Papel aluminio de 0.05 mm ± 0.05 mm, de espesor
Distancia de la placa testigo	5 cm
Temperatura de la prueba	22°C ± 3°C

4.2 Generalidades de la prueba balística.

La prueba balística a la que se someten las probetas¹ consiste en disparar a la cara de impacto² del espécimen haciendo que la trayectoria de la bala³ pase a través de un cronógrafo⁴. La distancia a la que se sitúan los diferentes elementos de la prueba (arma, cronógrafo, probeta y placa testigo⁵), el tamaño de la probeta, el patrón de tiro⁶, las características de la munición y las condiciones ambientales están determinadas por cada una de las diferentes normas existentes.

En la siguiente imagen se aprecia un esquema con los elementos generales que se encuentran presentes en todas las pruebas balísticas.

¹ Muestra representativa del tipo, características y construcción, de los materiales utilizados en cada nivel de blindaje.^[15]

² Superficie de la probeta que recibe el primer contacto de la munición.

³ Proyectil lanzado por un arma de fuego, que utiliza la fuerza de los gases producidos por la combustión de la pólvora de un cartucho para alcanzar gran velocidad, generalmente compuesto por un núcleo de plomo o acero cubierto por un recubrimiento o camisa (normalmente de cobre).^[15]

⁴ Aparato que sirve para registrar gráficamente el tiempo que transcurre entre sucesos consecutivos^[24]

⁵ Material colocado detrás de la probeta para calificar la prueba, cuyas dimensiones deben ser iguales a las de la probeta.^[15]

⁶ Distribución de los impactos de bala en la superficie de la probeta, este patrón de tiro varía de acuerdo a la norma y el nivel de blindaje que se emplea.

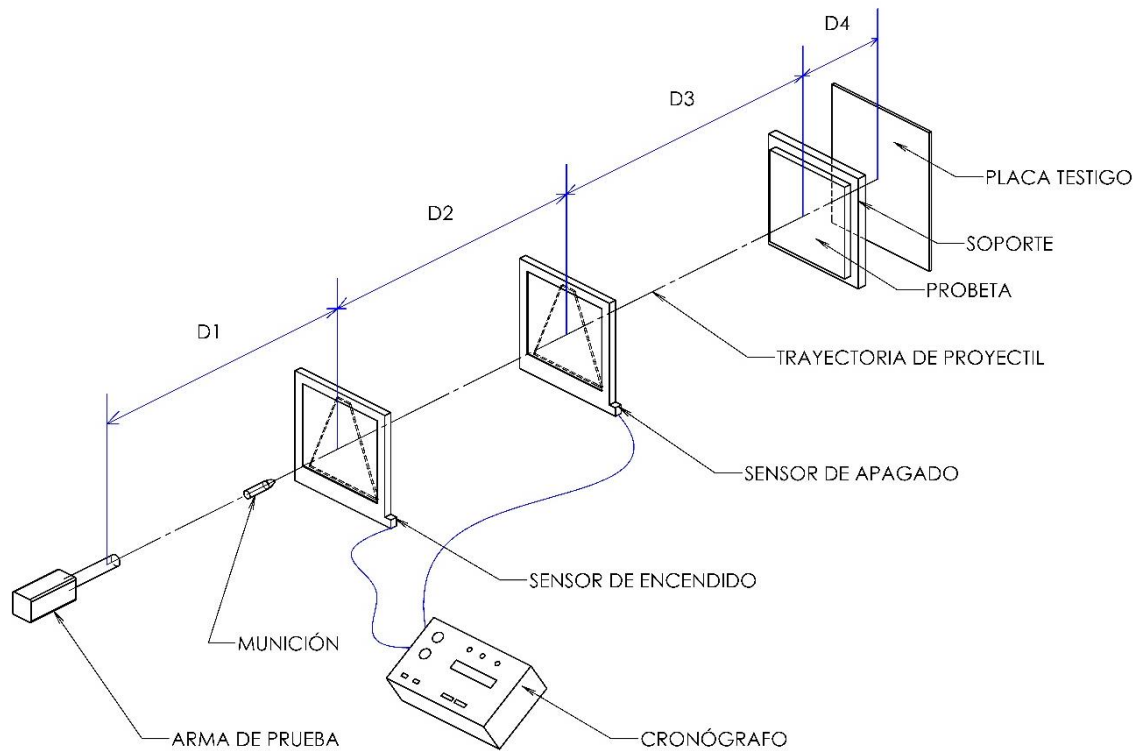


Figura 4.1 Ensamble para prueba balística [WBA, 2016]

4.3 Ensayo de probetas

De acuerdo a la aplicación en distintos rubros del blindaje, se llevaron a cabo pruebas con probetas de diferentes espesores y con combinación de materiales. A continuación, se enlistan las características de los diversos especímenes, así como la prueba balística a la que fueron sometidos.

4.3.1 Probetas para aplicación en blindaje de toldos.

Probeta No. 1

110 capas de Tensylon® con lámina calibre 22, para prueba M193 a 45°. Elaborada 23/04/2015.

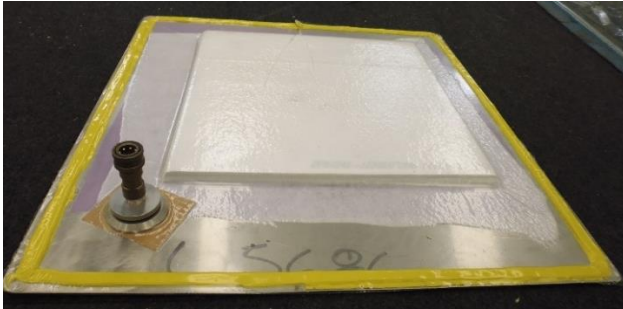


Figura 4.2 a)
Probeta antes del ciclo de termoformado



Figura 4.2 b)
Probeta después del ciclo de termoformado

Mediciones de la probeta.

Espesor promedio sin lámina: 13.92 mm

Peso sin lámina: 1.091 kg

Peso por área: 12.125 kg/m²

Probeta No. 2

140 capas de Tensylon® con lámina calibre 22, para prueba M80 a 45°. Elaborada 9/07/2015

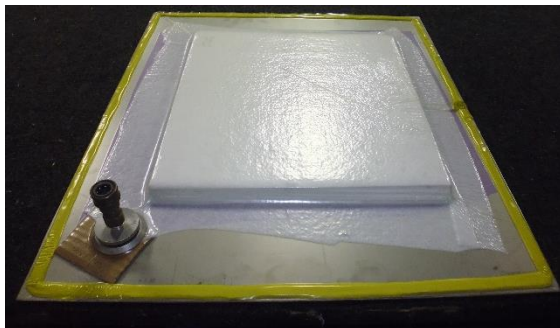


Figura 4.3 a)
Probeta antes del ciclo de termoformado

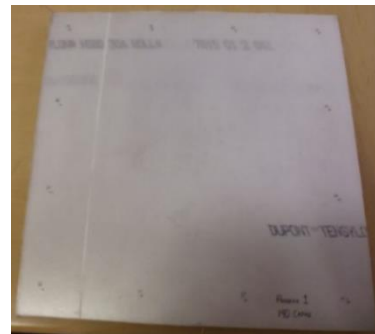


Figura 4.3 b)
Probeta después del ciclo de termoformado

Mediciones de la probeta.

Espesor promedio sin lámina: 16.61 mm

Peso sin lámina: 1.333 kg

Peso por área: 14.812 kg/m²

Probeta No. 3

140 capas de Tensylon® con lámina calibre 22, para prueba M43 a 45°. Elaborada 27/08/2015.

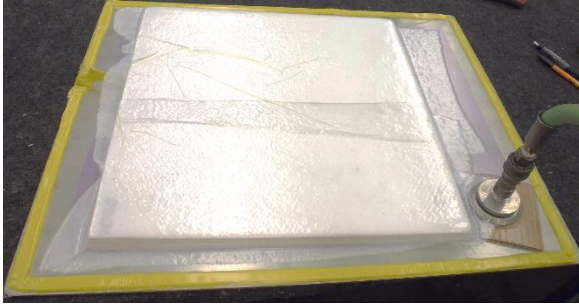


Figura 4.4 a)
Probeta antes del ciclo de termoformado



Figura 4.4 b)
Probeta después del ciclo de termoformado

Mediciones de la probeta.

Espesor promedio sin lámina: 16.79 mm

Peso sin lámina: 2.43 kg

Peso por área: 15.18 kg/m²

4.3.2 Probetas para aplicación en blindaje de puertas.

Probeta No. 1

190 capas de Tensylon® con lámina calibre 22, para prueba M193 a 90°. Elaborada 9/07/2015

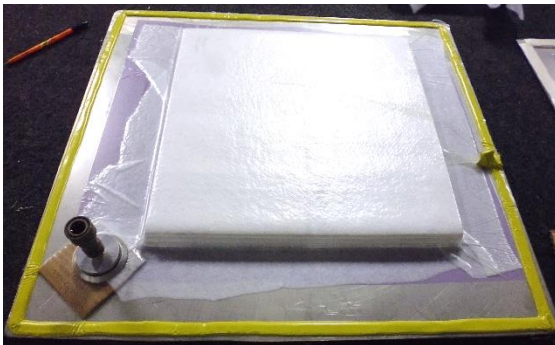


Figura 4.5 a)
Probeta antes del ciclo de termoformado



Figura 4.5 b)
Probeta después del ciclo de termoformado

Mediciones de la probeta.

Espesor promedio sin lámina: 21.99 mm

Peso sin lámina: 1.839 kg

Peso por área: 20.437 kg/m²

Probeta No. 2

210 capas de Tensylon® con lámina calibre 22, para prueba M43 a 90°. Elaborada 27/08/2015.



Figura 4.6 a)
Probeta antes del ciclo de termoformado



Figura 4.6 b)
Probeta después del ciclo de termoformado

Mediciones de la probeta.

Espesor promedio sin lámina: 27.01 mm

Peso sin lámina: 3.97 kg

Peso por área: 23.562 kg/m²

4.3.3 Probetas para aplicación en blindaje de escudos.

Probeta No. 1

190 capas de Tensylon®, para prueba M80 a 90°. Elaborada 20/07/2015



Figura 4.7 a)
Probeta antes del ciclo de termoformado

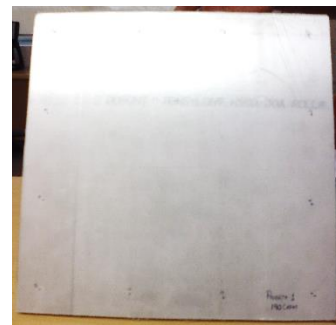


Figura 4.7 b)
Probeta después del ciclo de termoformado

Mediciones de la probeta.

Espesor promedio sin lámina: 22.85 mm

Peso sin lámina: 1.85 kg

Peso por área: 20.55 kg/m²

Probeta No. 2

190 capas de Tensylon® con lámina calibre 22, para prueba M43 a 90°.
Elaborada 9/07/2015.

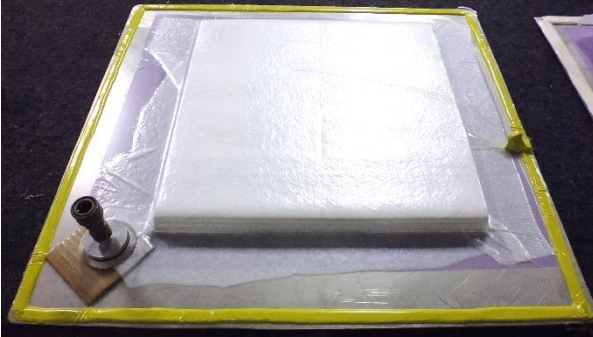


Figura 4.8 a)
Probeta antes del ciclo de termoformado



Figura 4.8 b)
Probeta después del ciclo de termoformado

Mediciones de la probeta.

Espesor promedio sin lámina: 23.38 mm

Peso sin lámina: 3.35 kg

Peso por área: 20.812 kg/m²

4.4 Resultados obtenidos

A continuación, se muestran los resultados de cada una de las probetas después de ser sometidas a la prueba balística; esta información se encuentra en las tablas 4.4, 4.5 y 4.6, los resultados están agrupados de acuerdo al área del vehículo para la cual se empleará el material. Adicionalmente se desglosan los resultados para cada una de las muestras; en cada caso se observan los siguientes datos: características de la probeta, tipo prueba a la que fueron sometidas, norma bajo la cual el laboratorio lleva a cabo el ensayo, fecha en la que se realizó la prueba y un fragmento del reporte que emite el laboratorio. En algunos casos se incluyen fotografías de la parte frontal y posterior de las muestras. Debido a las normas de seguridad en Estados Unidos no siempre es posible tener todas las fotografías por parte de los laboratorios.

Tabla 4.4 Resultados de probetas para blindaje en toldos.

Aplicación del Blindaje	No. De Probeta	Descripción	Norma	Calibre y ángulo de incidencia	Fecha de la prueba	Resultado
Toldo	1	110 capas con lámina C-22	UL 752 NIVEL 7	5.56x45 M193 (45°, V0)	27/05/2015	OK
Toldo	2	140 capas con lámina C-22	NIJ 0108.01 NIVEL III	7.62 X 51 M80 (45°, V0)	12/08/2015	OK
Toldo	3	140 capas con lámina C-22	NOM 142 SCFI 2000 MODIFICADA NIVEL C	7.62 X 39 M43 (45°, V0)	25/09/2015	X

Tabla 4.5 Resultados de probetas para blindaje en puertas.

Aplicación del Blindaje	No. De Probeta	Descripción	Norma	Calibre y ángulo de incidencia	Fecha de la prueba	Resultado
Puertas	1	190 capas con lámina C-22	UL 752 NIVEL 7	5.56x45 M193 (0°, V0)	12/08/2015	OK
Puertas	2	210 capas con lámina C-22	NOM 142 SCFI 2000 NIVEL C	7.62 X 39 M43 (0°, V0)	25/09/2015	OK

Tabla 4.6 Resultados de Probetas para blindaje en escudos.

Aplicación del Blindaje	No. De Probeta	Descripción	Norma	Calibre y ángulo de incidencia	Fecha de la prueba	Resultado
Escudos	1	190 capas	NIJ 0108.01 NIVEL III	7.62 X 51 M80 (0°, V0)	08/10/2015	OK
Escudos	2	190 capas	NOM 142 SCFI 2000 NIVEL C	7.62 X 39 M43 (0°, V0)	12/08/2015	X

4.4.1 Probetas para aplicación en blindaje de toldos.

Probeta No. 1

110 capas de Tensylon® con lámina calibre 22.

Prueba M193 a 45°, de acuerdo a la norma UL 752 para nivel 7.

Realizada 27/05/2015.

Resultado. Satisfactorio

En la figura 4.9 se observa el patrón de tiro (4 tiros en las esquinas y un tiro al centro), la munición utilizada 5.56 X 45 M193, el ángulo de incidencia (45°). También se observa que no hubo penetración en ninguno de los 5 tiros, por lo cual el resultado es satisfactorio.

Test Date: 5/27/2015				Sample No.: 5.56 x 45- (45 deg., V0)							
Size: 12.00 x 12.00 in Thickness: 0.674 in; 0.643 in; 0.690 in; 0.657 in Avg. Thick: 0.666 in				Heat No.: NA Weight: 4.17 lbs Hardness: NA Plies/Laminates: NA				Date Received: 5/18/2015 Via: DHL Returned: FedEx			
Setup											
Shot Spacing: 5 shots on a 4.5 in square with 1 in center Witness Panel: .125 in Cardboard Obliquity: 45.0° Backing Material: NA Condition: Ambient				Primary Vel. Screens (ft): 5.000, 5.333, 9.667, 10.000 Primary Vel. Location (ft): 7.500 Range to Target (ft): 15.000 Target to Witness (in): 18.000				Range No.: 2 Temp: 68.5 °F BP: 30 inHg RH: 51.9% Barrel/Gun: CT-4044 Gunner: Ramon Chavez Recorder: M. Contreras			
Ammunition											
Projectile				Lot No.				Powder			
(1) 5.56 x 45-mm, 55-grain M193 Ball				Military				N 110			
Applicable Standards or Procedures											
(1) Customer request (2) UL- 752 Level 7 (Modified)											
Shot No.	Ammo	Weight (gr)	Time 1 (µs)	Vel. 1 (ft/s)	Time 2 (µs)	Vel. 2 (ft/s)	Avg. Vel. (ft/s)	Striking Vel. (ft/s)	Penetration	Deformation (mm)	Footnotes
1	1	54.5	1571	3183	1362	3182	3182	3173	None		
2	1	54.8	1571	3183	1361	3184	3183	3174	None		
3	1	55	1580	3165	1370	3163	3164	3154	None		
4	1	54.6	1573	3179	1363	3179	3179	3169	None		
5	1	54.5	1570	3185	1361	3184	3184	3175	None		
Remarks: Required velocity: 3080-3388 ft/s											
Footnotes:											

Figura 4.9. Resultado de la prueba balística M193 a 45° UL-752 Nivel 7 Modificada. Emitido por el laboratorio.

Probeta No. 2

140 capas de Tensylon® con lámina calibre 22.

Prueba M80 a 45°, de acuerdo a la norma NIJ 0108.01 para nivel III

Realizada: 12/08/2015

Resultado satisfactorio.

En la figura 4.10 se observan las condiciones en las que se realizó la prueba, el número de tiros (5), la munición utilizada 7.62 X 51 M80, el ángulo de incidencia (45°). También se observa que no hubo penetración en ninguno de los 5 tiros, por lo cual el resultado es satisfactorio.

Test Conditions

Temperature: 71 °F
 Humidity: 49 %
 Test Spec.: Modified/Abbreviated NIJ 0108.01, September 1985
 Threat Level: III
 Paragraph No.: Table 1 & Paragraph 5.2.5
 No. of Shots: 5

Range 4

Muzzle to Screen 1: 1.118 m
 Screen 1 - 2: 1.740 m
 Screen 2 - Target: 12.382 m
 Midpoint to Target: 13.25 m
 Target to Witness: 152.4 mm.
 Witness: 2024-T3 Alum.
 Barrel Length: 26 in.

Sample Description			Test / Ammunition Description					Chronograph		Results
Sample / Heat Number	Sample Thickness (mm.)	Sample Weight (kg.)	Shot No.	Shot Location	Degree Obliquity	Caliber	Bullet Weight (g) /Type	TIME s±5	VELOCITY mps	Penetration
1	20.12	3.50	1	TL	45°	7.62mm	9.7 / FMJ	209.0	833	No Penetration
1	20.12	3.50	2	TR	45°	7.62mm	9.7 / FMJ	207.2	840	No Penetration
1	20.12	3.50	3	BR	45°	7.62mm	9.7 / FMJ	208.2	836	No Penetration
1	20.12	3.50	4	BL	45°	7.62mm	9.7 / FMJ	206.6	842	No Penetration
1	20.12	3.50	5	C	45°	7.62mm	9.7 / FMJ	206.5	843	No Penetration
This test was performed in accordance with the specification requirements and the results properly reflect the ballistic performance of the listed sample.			National Technical Systems, Inc. 7447 W. 33rd St. N. Wichita, KS 67205 U.S.A.				Phone Fax Email	316-832-1600 316-832-1602 ustl@nts.com		
WARNING – This document may contain technical data whose export is restricted by the Arms Export Control Act (Title 22, U.S.C. 2751, et. seq.) or the Export Administration Act of 1979 as amended, Title 50 U.S.C. App 2401 et. seq. Violations of these export laws are subject to severe criminal penalties. Disseminate in accordance with provisions of DoD Directive 5230.25.										
REMARKS / NOTES: •Sample secured using frame and clamps.										
Test Round Used: 7.62mm (.308 Winchester) 150 gr. (9.7 g) FMJ (M80) @ NIJ 0108.01 Level III velocity of 2750 +/- 50 fps (838 +/- 15 m/s)										

Figura 4.10. Resultado de la prueba balística M80 a 45° NIJ Nivel III. Emitido por el laboratorio

En las figuras 4.11 a) y b) se observa la parte frontal de la probeta (cara de impacto) y la parte posterior de la probeta sin ninguna perforación de bala.



Figura 4.11 a) Parte frontal de la probeta

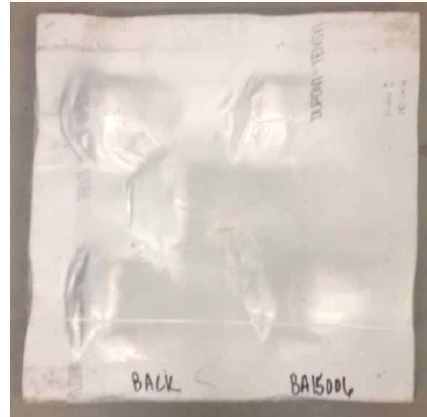


Figura 4.11 b) Parte posterior de la probeta

Probeta No. 3

140 capas de Tensylon® con lámina calibre 22.

Prueba M43 a 45°, de acuerdo a la NOM-142 SCFI 2000 modificada. Nivel C. Realizada 25/09/2015.

Resultado. Fallido.

En la figura 4.12 se observa el patrón de tiro (un tiro al centro), la munición utilizada 7.62 X 39 M43, el ángulo de incidencia (45°). Se observa que hubo penetración de esquirlas por lo que el resultado no es satisfactorio.

Test Date: 9/25/20015				Sample No.: #4 (PS ball V0)							
Size: 16.00 x 16.00 in Avg. Thick: 0.653 in Thickness: 0.653 in; 0.653 in; 0.653 in; 0.654 in;				Weight: 5.37 lbs Plies/Laminates: NA				Date Received: 9/11/2015 Via: DHL Returned: FedEx			
Setup											
Shot Spacing: 1 shot Center Witness Panel: 0.02 in 2024-T3 Al Obliquity: 45° Backing Material: NA Condition: Ambient				Primary Vel. Screens (ft): 10.000, 10.333, 19.667, 20.000 Primary Vel. Location (ft): 15.000 Range to Target (ft): 25.000 Target to Witness (in): 6.000				Range No.: 5 Temp: 66.7 °F BP: 30.1 inHg RH: 41.4% Barrel/Gun: CT-4014 Gunner: Aaron Rixham Recorder: Joe Moore			
Ammunition											
Projectile				Lot No.				Powder			
(1) 7.62 x 39-mm, 123-grain PS Ball				Russian				IMR 4227			
Applicable Standards or Procedures											
(1) Customer request											
Shot No.	Ammo	Weight (gr)	Time 1 (µs)	Vel. 1 (ft/s)	Time 2 (µs)	Vel. 2 (ft/s)	Avg. Vel. (ft/s)	Striking Vel. (ft/s)	Penetration	Deformation (mm)	Footnotes
1	1	122.1	4301	2325	4010	2328	2326	2317	Bullet/Spall		
Remarks: Required velocity: 2297-2363 ft/s											
Footnotes:											

Figura 4.12. Resultado de la prueba balística M43 a 45° NOM 142 Nivel C. Emitido por el laboratorio

4.4.2 Probetas para aplicación en blindaje de puertas

Probeta No. 1

190 capas de Tensylon® con lámina calibre 22.
 Prueba M193 a 90°, bajo la norma UL 752 Nivel 7.
 Realizada: 12/08/2015.
 Resultado satisfactorio.

En la figura 4.13 se observan las condiciones en las que se realizó la prueba, el número de tiros (5), la munición utilizada 5.56 X 45 M193, el ángulo de incidencia (0°). También se observa que no hubo penetración de ninguna bala por lo que el resultado es satisfactorio.

Test Conditions

Temperature: 71 °F.
 Humidity: 49 %
 Test Spec.: UL 752
 Threat Level: Level 7
 Conditioning: Ambient

Range 4

Muzzle to Screen 1: 1.118 m
 Screen 1 - 2: 1.740 m
 Screen 2 - Target: 1.714 m
 Midpoint to Target: 2.584 m
 Target to Witness: 457.2 mm.
 Witness Plate: 1/8" corrugated cardboard
 Barrel Length: 26 in.

Sample Description			Test / Ammunition Description				Chronograph		Results
Sample Number	Sample Thickness (mm.)	Sample Weight (kg.)	Shot No.	Degree Obliquity	Caliber	Bullet Weight (g) / Type	TIME sx-5	VELOCITY mps	Penetration No Penetration
2	25.30	4.44	1	0	5.56mm	3.56 FMJ	178.1	977	No Penetration
2	25.30	4.44	2	0	5.56mm	3.56 FMJ	176.7	985	No Penetration
2	25.30	4.44	3	0	5.56mm	3.56 FMJ	177.5	980	No Penetration
2	25.30	4.44	4	0	5.56mm	3.56 FMJ	179.3	970	No Penetration
2	25.30	4.44	5	0	5.56mm	3.56 FMJ	177.3	981	No Penetration

This test was performed in accordance with the specification requirements and the results properly reflect the ballistic performance of the listed sample.

National Technical Systems, Inc. Phone 316-832-1600
 7447 W. 33rd St. N. Fax 316-832-1602
 Wichita, KS 67205 U.S.A.

WARNING – This document may contain technical data whose export is restricted by the Arms Export Control Act (Title 22, U.S.C. 2751, et. seq.) or the Export Administration Act of 1979 as amended, Title 50 U.S.C. App 2401 et. seq. Violations of these export laws are subject to severe criminal penalties. Disseminate in accordance with provisions of DoD Directive 5230.25.

REMARKS/NOTES:
 Sample secured using frame and clamps.

Test Round Used:
 5.56mm, 55 gr. (3.56 g) (M193) Full Metal Jacket (FMJ) @ UL 752 Level 7 velocity of 3080-3388 fps (939-1033 m/s).

Figura 4.13. Resultado de la prueba balística M193 a 90° UL 752 Nivel 7. Emitido por el laboratorio

En las figuras 4.14 a) y b) se observa la parte frontal de la probeta (cara de impacto) y la parte posterior de la probeta sin ninguna perforación de bala.

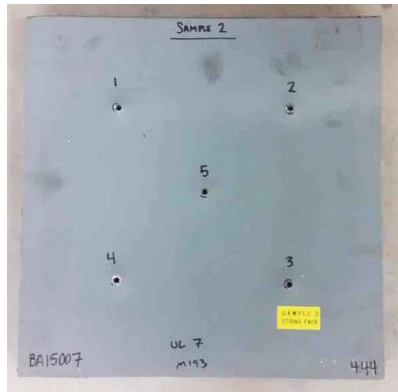


Figura 4.14 a) Parte frontal de la probeta

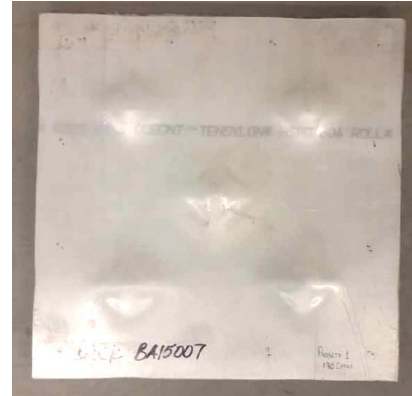


Figura 4.14 b) Parte posterior de la probeta

Probeta No. 2

210 capas de Tensylon[®] con lámina calibre 22.
 Prueba M43 a 90°, bajo la NOM-142 SCFI 2000, Nivel C.
 Realizada: 25/09/2015.
 Resultado satisfactorio.

En la figura 4.15 se observa el patrón de tiro (3 tiros formando un triángulo), la munición utilizada 7.62 X 39 M43, el ángulo de incidencia (0°). Se observa que no hubo penetración de ninguna bala por lo que el resultado es satisfactorio.

Test Date: 9/25/2015				Sample No.: # 2 (PS ball V0)							
Size: 16.00 x 16.00 in Avg. Thick: 1.100 in Thickness: 1.114 in; 1.109 in; 1.089 in; 1.090 in;				Weight: 10.73 lbs Plies/Laminates: NA				Date Received: 9/11/2015 Via: DHL Returned: FedEx			
Setup											
Shot Spacing: 3 shots on a 12 cm triangle Witness Panel: 0.02 in 2024-T3 Al Obliquity: 0.0° Backing Material: NA Condition: Ambient				Primary Vel. Screens (ft): 10.000, 10.333, 19.667, 20.000 Primary Vel. Location (ft): 15.000 Range to Target (ft): 25.000 Target to Witness (in): 6.000				Range No.: 5 Temp: 67.6 °F BP: 30.1 inHg RH: 41% Barrel/Gun: CT-4014 Gunner: Aaron Rixham Recorder: Joe Moore			
Ammunition											
Projectile				Lot No.				Powder			
(1) 7.62 x 39-mm, 123-grain PS Ball				Russian				IMR 4227			
Applicable Standards or Procedures											
(1) Customer request											
Shot No.	Ammo	Weight (gr)	Time 1 (µs)	Vel. 1 (ft/s)	Time 2 (µs)	Vel. 2 (ft/s)	Avg. Vel. (ft/s)	Striking Vel. (ft/s)	Penetration	Deformation (mm)	Footnotes
1	1	121.8	4216	2372	3930	2375	2373	2364	None		
2	1	121.9	4238	2360	3952	2362	2361	2351	None		
3	1	122.2	4270	2342	3981	2344	2343	2334	None		
Remarks: Required velocity: 2297-2363 ft/s											
Footnotes:											

Figura 4.15. Resultado de la prueba balística M43 a 90° NOM 142 Nivel C. Emitido por el laboratorio

4.4.3 Probetas para aplicación en blindaje de escudos

Probeta No. 1

190 capas de Tensylon[®],
 Prueba M80 a 90°, bajo la norma NIJ 0108.01 Nivel III.
 Realizada el 10/08/2015
 Resultado Satisfactorio.

En la figura 4.16 se observa el número de tiros (5), la munición utilizada 7.62 X 51 M80, el ángulo de incidencia (0°). Se observa que no hubo penetración de ninguna bala por lo que el resultado es satisfactorio.

Test Date: 08/10/2015				Sample No.: #2 (NIJ 08-III)						
Size: 12.00 x 12.00 in. Avg. Thick: 0.699 in Thickness: 0.080 in; 0.891 in; 0.911 in; 0.913 in;				Weight: 4.08 lbs. Plies/Laminates: NA			Date Received: 8/3/2015 Via: DHL Returned: FedEx			
Setup										
Shot Spacing: NIJ-STD-0108.01 Level III Witness Panel: 0.02 in 2024-T3 Al Obliquity: 0.0° Backing Material: NA Condition: Ambient				Primary Vel. Screens (ft): 6.500, 9.500 Primary Vel. Location (ft): 8.000 Range to Target (ft): 50.000 Target to Witness (in): 6.000			Range No.: 5 Temp: 67.6 °F BP: 29.8 inHg RH: 43.7% Barrel/Gun: CT-4061 Gunner: J. Thomas Recorder: S. McDowell			
Ammunition										
Projectile				Lot No.				Powder		
(1) 7.62 x 51-mm, 149-grain M80 FMJ				Military				H133		
Applicable Standards or Procedures										
(1) NIJ-STD-0108.01 Level III (2) Customer request										
Shot No.	Ammo	Weight (gr)	Time 1 (µs)	Vel. 1 (ft/s)	Time 2 (µs)	Vel. 2 (ft/s)	Avg. Vel. (ft/s)	Penetration	Deformation (mm)	Footnotes
1	1	147.5	1080	2778	1081	2775	2776	None		
2	1	147.8	1080	2778	1080	2778	2778	None		
3	1	147.6	1082	2773	1083	2770	2771	None		
4	1	147.1	1086	2762	1087	2760	2761	None		
5	1	148.3	1090	2752	1091	2750	2751	None		
Remarks: Required velocity: 2750 +/- 50 ft/s										

Figura 4.16. Resultado de la prueba balística M80 a 90° NIJ Nivel III. Emitido por el laboratorio

En las figuras 4.17 a) y b) se observa la parte frontal de la probeta (cara de impacto) y la parte posterior de la probeta sin ninguna perforación de bala.



Figura 4.17 a) Parte frontal de la probeta



Figura 4.17 b) Parte posterior de la probeta

Probeta No. 2

190 capas de Tensylon®

Prueba M43 a 90°, bajo la NOM-142 SCFI 2000, nivel C.

Realizada: 12/08/2015.

Resultado Fallido.

En la figura 4.18 se observan las condiciones en las que se realizó la prueba, el número de tiros (3), la munición utilizada 7.62 X 39 M43, el ángulo de incidencia (0°). También se observa que hubo penetración de las tres balas por lo que el resultado no es satisfactorio.

Test Conditions

Temperature: 71 °F.
 Humidity: 49 %
 Test Spec.: VPAM BSW 2006, Edition: 2009-05-14
 Threat Level: 6

Range 4

Muzzle to Screen 1: 6.570 m
 Screen 1 - 2: 1.740 m
 Screen 2 - Target: 1.690 m
 Midpoint to Target: 2.560 m
 Target to Witness: 150 mm.
 Witness: 0.5mm Aluminum
 Barrel Length: 20 in.

Sample Description		Test/Ammunition Description					Chronograph		Results
Sample Number	Sample Weight (kg)	Shot No.	Shot Location	Angle of Incidence	Caliber	Bullet Weight (g) / Type	TIME sx-5	VELOCITY mps	Penetration No Penetration
3	4.49	1	1	0°	7.62x39mm	8.0 FMJ/PB/FeC	240.3	724	Penetration
3	4.49	2	2	0°	7.62x39mm	8.0 FMJ/PB/FeC	244.7	711	Penetration
3	4.49	3	3	0°	7.62x39mm	8.0 FMJ/PB/FeC	244.7	711	Penetration

This test was performed in accordance with the specification requirements and the results properly reflect the ballistic performance of the listed sample.

National Technical Systems, Inc.
 7447 W. 33rd St. N.
 Wichita, KS 67205 U.S.A.

Phone 316-832-1600
 Fax 316-832-1602
 Email ustl@nts.com

WARNING – This document may contain technical data whose export is restricted by the Arms Export Control Act (Title 22, U.S.C. 2751, et. seq.) or the Export Administration Act of 1979 as amended, Title 50 U.S.C. App 2401 et. seq. Violations of these export laws are subject to severe criminal penalties. Disseminate in accordance with provisions of DoD Directive 5230.25.

REMARKS/NOTES:
 Sample secured using frame and clamps.

Test Round Used:
 7.62x39mm, 123 gr. (8.0g) Full Metal Jacket / Pointed Bullet / Fe-Core
 at a velocity of 2362 +/- 33 fps (720 +/- 10 m/s)

Figura 4.18 Resultado de la prueba balística M43 a 90° NOM 142 Nivel C. Emitido por el laboratorio

En las figuras 4.19 a) y b) se observa la parte frontal de la probeta (cara de impacto) y la parte posterior de la probeta con tres perforaciones de bala.

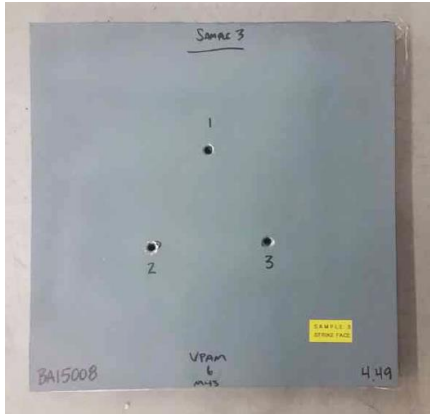


Figura 4.19 a) Parte frontal de la probeta



Figura 4.19 b) Parte posterior de la probeta

4.5 Matriz de decisión

La matriz de decisión es una herramienta muy valiosa como método de análisis ya que permite decidir entre varias opciones de un producto o proceso tomando en cuenta diferentes factores que pueden afectar; por lo que permite anticipar distintos panoramas así como las estrategias más adecuadas a seguir en cada caso.

4.5.1 Matriz de comparación pareada normalizada.

Para esta matriz se realizaron encuestas en las diversas áreas de la empresa que tienen interacción con el desarrollo de nuevos productos. A cada una de las personas se les preguntó los aspectos que consideraban necesarios en un nuevo material de blindaje y el nivel de importancia de cada uno de ellos. Para ello se utilizó el proceso jerárquico analítico "AHP" (Analytic Hierarchy Process).

Para este proceso se utilizó la tabla de ponderación que a continuación se muestra, donde C representa las columnas y R los renglones de la matriz.

Tabla 4.7 Tabla de ponderación.^[17]

1	3	5	7	9
Los elementos C y R tienen la misma importancia	El elemento C es ligeramente más importante que el elemento R	El elemento C es más importante que el elemento R	El elemento C es mucho más importante que el elemento R	El elemento C es completamente más importante que el elemento R

A continuación, se muestra una de las matrices obtenidas durante las encuestas. El resto de ellas pueden ser consultadas en el Anexo 1.

Tabla 4.8 Matriz de comparación pareada inicializada No. 1

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	7	3	1/5	7	1/3	7	1/5
Certificaciones	1/7	1	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/7
Conformabilidad	1/3	7	1	1/5	1	1/5	1/3	1/3
No genere merma	5	5	5	1	5	1/5	3	1/5
Ligero	1/7	5	1	0.2	1	1/5	1	1/3
Espesor	3	5	5	5	5	1	5	3
Fácil de trabajar	1/7	3	3	1/3	1	1/5	1	3
Durabilidad en condiciones ambientales	5	7	3	5	3	1/3	1/3	1

Una vez que se obtuvo la matriz se normalizó para obtener el porcentaje de importancia de cada uno de los aspectos a tomar en consideración para la selección del material.

Tabla 4.9 Matriz de comparación normalizada No.1

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.039	0.272	0.117	0.008	0.272	0.013	0.272	0.008	1.00
Certificaciones	0.060	0.423	0.060	0.085	0.085	0.085	0.141	0.060	1.00
Conformabilidad	0.032	0.673	0.096	0.019	0.096	0.019	0.032	0.032	1.00
No genere merma	0.205	0.205	0.205	0.041	0.205	0.008	0.123	0.008	1.00
Ligero	0.016	0.563	0.113	0.023	0.113	0.023	0.113	0.038	1.00
Espesor	0.094	0.156	0.156	0.156	0.156	0.031	0.156	0.094	1.00
fácil de trabajar	0.012	0.257	0.257	0.029	0.086	0.017	0.086	0.257	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.203	0.284	0.122	0.203	0.122	0.014	0.014	0.041	1.00
Promedio [%]	0.08	0.35	0.14	0.07	0.14	0.03	0.12	0.07	1.00

Una vez que han sido normalizadas cada una de las matrices que se obtuvieron en las encuestas (anexo 1), se ha hecho el promedio de los porcentajes obtenidos (anexo 2), el resultado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.10 Porcentajes obtenidos de acuerdo a las encuestas aplicadas

Concepto	Porcentaje Obtenido [%]
Certificaciones	33.20
Ligero	15.91
Conformabilidad	11.86
fácil de trabajar	11.19
Precio competitivo	9.75
Durabilidad en condiciones ambientales	7.18
No genere merma	7.08
Espesor	3.83

Los conceptos han sido ordenados de mayor a menor importancia para la evaluación de los materiales.

4.5.2 Matrices de decisión

Para las matrices de decisión se han tomado en cuenta los mismos aspectos de la matriz de comparación y a cada uno de ellos se le ha asignado un valor de acuerdo a la importancia relativa para la decisión.

4.11 Tabla de ponderación de acuerdo a los resultados de las encuestas.

Concepto	Porcentaje Obtenido [%]	Peso de acuerdo a la matriz de comparación normalizada
Certificaciones	33.20	10
Ligero	15.91	9
Conformabilidad	11.86	8
fácil de trabajar	11.19	7
Precio competitivo	9.75	6
Durabilidad en condiciones ambientales	7.18	5
No genere merma	7.08	4
Espesor	3.83	3

La puntuación para cada uno de estos atributos se ha considerado de la siguiente forma: una escala de 0 (pobre) a 3 (muy bueno).

En las siguientes páginas se encuentran las matrices de decisión para el polietileno de ultra alto peso molecular Tensylon[®], que fue el nuevo material a evaluar y su competencia directa, el polietileno unidireccional “UD” que es el material que actualmente se utiliza. Ambas alternativas fueron evaluadas bajo los mismos parámetros, con lo cual al final de este ejercicio, se compararon los resultados de cada uno y se encontró la mejor alternativa en cada rubro.

Matriz de decisión para Tensylon®

Opciones	Factores	Certificaciones		Ligero		Conformabilidad		fácil de trabajar		Precio competitivo		Durabilidad en condiciones ambientales		No genere merma		Espesor		PUNTAJE TOTAL
	Pesos de acuerdo a la matriz de comparación normalizada	10		9		8		7		6		5		4		3		
Blindaje en techo		2	20	3	27	3	24	1	7	1	6	3	15	2	8	2	6	113
Blindaje en puertas		3	30	3	27	2	16	1	7	1	6	3	15	2	8	1	3	112
Blindaje para escudos		3	30	3	27	3	24	2	14	1	6	3	15	3	12	3	9	137

Matriz de decisión para UD

Opciones	Factores	Certificaciones		Ligero		Conformabilidad		fácil de trabajar		Precio competitivo		Durabilidad en condiciones ambientales		No genere merma		Espesor		PUNTAJE TOTAL
	Pesos de acuerdo a la matriz de comparación normalizada	10		9		8		7		6		5		4		3		
Blindaje en techo		3	30	3	27	1	8	1	7	2	12	3	15	2	8	2	6	113
Blindaje en puertas		3	30	3	27	1	8	1	7	2	12	3	15	2	8	2	6	113
Blindaje para escudos		3	30	3	27	0	0	0	0	2	12	3	15	2	8	3	9	101

Capítulo 5

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en las matrices de decisión y las pruebas balísticas se pueden generar las siguientes conclusiones:

El Tensylon[®] es un material que tiene un buen desempeño balístico para la zona de blindaje del toldo en los niveles UL 7 y NIJ III, además de aumentar la rigidez estructural de los vehículos debido a que este material permite ser termoformado y adopta la silueta de la estructura del toldo, una característica que lo vuelve muy valioso para el blindaje de algunos modelos y que lo pone en ventaja al ser comparado contra el UD. Sin embargo, se observa en la matriz de decisión que los certificados balísticos fueron evaluados con dos puntos a pesar de haber acreditado las pruebas, esto se debe a que el polietileno unidireccional (UD), detiene la bala 7.62 X 39 M43 que, a pesar de **no ser un requisito de la norma**, es un proyectil común en el mercado. Por lo que ambas alternativas funcionan para el blindaje aunque tienen ventajas diferentes, en el caso de utilizar Tensylon[®] se ganará al reforzar la estructura pero se perderá el beneficio de detener la munición de AK47 (cuerno de chivo), y si se utiliza UD será el caso inverso, por lo cual el material a emplear dependerá de las características del producto, de lo que técnicamente sea más conveniente y del presupuesto para el proyecto.

En el rubro del blindaje de puertas, se observa que ambos materiales tienen una evaluación muy similar en la matriz de decisión y que es el precio competitivo lo que posiciona al polietileno unidireccional UD a penas por un punto como una mejor alternativa; por lo que ambas opciones UD o Tensylon[®] pueden ser empleadas en el blindaje de las puertas de manera indistinta para el nivel III de la norma NIJ y nivel C de la NOM 142. La decisión del material a emplear será basada principalmente en aspectos técnicos y estéticos, ya que en esta zona del vehículo hay restricciones de espacio significativas que pueden hacer que la funcionalidad del vidrio se vea comprometida y que el aspecto final del vehículo diste de la expectativa del cliente.

Es sin lugar a dudas en el aspecto de protección personal, donde se encuentran las mayores ventajas del Tensylon[®], ya que como se observó en la matriz de decisión para el blindaje de escudos (nivel C de la norma NOM 142) se sitúa muy por encima del UD. Esto debido a que al ser un material que se procesa en la autoclave brinda la oportunidad de obtener geometrías ergonómicas; adicional a esta característica se debe resaltar la rigidez que adquiere este polietileno, por lo que no es necesario utilizar un material adicional para obtener este beneficio, el resultado son escudos más ligeros que el promedio en el mercado.

Es importante destacar que el proceso de termoformado en autoclave para corridas de producción pequeñas es más versátil y rentable que el prensado, ya que los moldes y el costo de operación de la maquinaria son más baratos; este aspecto es de gran relevancia si se toma en consideración que el consumo de escudos en el mercado es mucho menor comparado con el de chalecos blindados; lo cual convierte al Tensylon® en una excelente alternativa para incursionar en un nuevo mercado donde se requiera de protección balística con volúmenes de producción pequeños o medianos y gran versatilidad de geometrías.

Referencias.

1. <http://eleconomista.com.mx/industrias/2010/01/24/ventas-autos-blindados-bajan-20>.
2. <http://www.anca.com.mx/Herramientas/Publicaciones/Publicacion2.asp?IdPublicacion=3024>
3. Ascencio, O. *Selección de materiales para un óptimo desempeño ante impactos balísticos*. (2004) Ciudad de México: UNAM.
4. Zhang, D., Sun, Y., Chen, L., Zhang, S., Pan N. *Influence of fabric structure and thickness on the ballistic impact behavior of ultrahigh molecular weight polyethylene composite laminate*. *Materials and Design* 54 (2014) 315-322.
5. http://www.metalactual.com/revista/27/materiales_blindados.pdf
6. http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/conformado%20de%20plasticos.pdf
7. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/10/moldeo-por-compresion.html>
8. <http://www.google.com/patents/US8535467>. Process for manufacturing an anti-ballistic article US 8535467 B2
9. Materiales compuestos, Antonio Miravete y Luis Castejón, Universidad de Zaragoza. *Temas de disseny*, ISSN 0213-6023, No. 20, 2002 (<https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=203883>).
10. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/polietileno-de-ultra-alto-peso.html>
11. <http://www.gazechim.es/procesos-de-aplicacion/prepreg.html>
12. <http://www.dupont.com/products-and-services/personal-protective-equipment/vehicle-armor/products/dupont-tensylon.html>
13. <http://www.closefocusresearch.com/national-institute-justice-ballistic-standards>
14. <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/099859.pdf>
15. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/scfi/scfi142.pdf>
16. <http://ingenieriasimple.com/problemas/index.html>
17. <http://mat.gsia.cmu.edu/classes/mstc/multiple/node4.html>
18. Karthikeyan, K., Russell B.P., *Polyethylene ballistic laminates: Failure mechanics and interface effect*. *Materials and Design* 63 (2014) 115-125.
19. Wen, H.M., *Penetration and perforation of thick FRP laminates*. *Composites Science and Technology* 61 (2001) 1163-1172.
20. Cheeseman, B.A., Borgetti T.A., *Ballistic impact into fabric and complaint composite laminates*. *Composite Structures* 61 (2003) 161-173.
21. http://www.metalactual.com/revista/27/materiales_blindados.pdf
22. <http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/detallenoticia.aspx?noticiaID=50>
23. https://books.google.com.mx/books?id=qd8TkbuC_bAC&pg=PT150&lpg=PT150&dq=ballistics+material+handbook&source=bl&ots=apiiS2ulvO&sig=-RMCQRADm7meB-95_9XeaF_pu_M&hl=es-419&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwj1dbRwYzLAhXrnYMKHWiICDAQ6AEIOjAE#v=onepage&q&f=false

24. <http://dle.rae.es/?id=BM00C1c>
25. <http://www.compositestoday.com/2013/11/teijin-introduce-twaron-pvb-prepreg/>
(4,octubre, 2016)
26. <http://www.compositestoday.com/2013/11/teijin-aramid-launch-new-unidirectional-laminate/>(4,octubre, 2016)

Anexo 1

Memoria de cálculo para la matriz pareada normalizada.

Matriz inicializada obtenida de una encuesta.

Matriz 1

Matriz de comparación inicializada 1

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1							
Certificaciones	1/7	1						
Conformabilidad	1/3	7	1					
No genere merma	5	5	5	1				
Ligero	1/7	5	1	0.2	1			
Espesor	3	5	5	5	5	1		
Fácil de trabajar	1/7	3	3	1/3	1	1/5	1	
Durabilidad en condiciones ambientales	5	7	3	5	3	1/3	1/3	1

Una vez obtenida la matriz de comparación pareada inicializada, para llenar las celdas vacías se debe colocar el valor inverso de la respuesta obtenida.

Matriz de comparación pareada 1

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	7	3	1/5	7	1/3	7	1/5
Certificaciones	1/7	1	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/7
Conformabilidad	1/3	7	1	1/5	1	1/5	1/3	1/3
No genere merma	5	5	5	1	5	1/5	3	1/5
Ligero	1/7	5	1	0.2	1	1/5	1	1/3
Espesor	3	5	5	5	5	1	5	3
Fácil de trabajar	1/7	3	3	1/3	1	1/5	1	3
Durabilidad en condiciones ambientales	5	7	3	5	3	1/3	1/3	1

A continuación, se realiza la normalización de la matriz pareada.

Para ello, el primer paso es realizar la sumatoria de los renglones como se muestra a continuación.

Precio competitivo	$1 + 7 + 3 + 1/5 + 7 + 1/3 + 7 + 1/5 = 25.73$
Certificaciones	$1/7 + 1 + 1/7 + 1/5 + 1/5 + 1/5 + 1/3 + 1/7 = 2.36$
Conformabilidad	$1/3 + 7 + 1 + 1/5 + 1 + 1/5 + 1/3 + 1/3 = 10.40$
No genere merma	$5 + 5 + 5 + 1 + 5 + 1/5 + 3 + 1/5 = 24.40$
Ligero	$1/7 + 5 + 1 + 1/5 + 1 + 1/5 + 1 + 1/3 = 8.88$
Espesor	$3 + 5 + 5 + 5 + 5 + 1 + 5 + 3 = 32.00$
fácil de trabajar	$1/7 + 3 + 3 + 1/3 + 1 + 1/5 + 1 + 3 = 11.68$
Durabilidad en condiciones ambientales	$5 + 7 + 3 + 5 + 3 + 1/3 + 1/3 + 1 = 24.67$

Los valores serán registrados en la columna sumatoria, como se observa en la matriz de comparación pareada normalizada 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 1

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	1	7	3	1/5	7	1/3	7	1/5	25.73
Certificaciones	1/7	1	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/7	2.36
Conformabilidad	1/3	7	1	1/5	1	1/5	1/3	1/3	10.40
No genere merma	5	5	5	1	5	1/5	3	1/5	24.40
Ligero	1/7	5	1	1/5	1	1/5	1	1/3	8.88
Espesor	3	5	5	5	5	1	5	3	32.00
fácil de trabajar	1/7	3	3	1/3	1	1/5	1	3	11.68
Durabilidad en condiciones ambientales	5	7	3	5	3	1/3	1/3	1	24.67
Promedio [%]									

Para obtener el promedio lo primero es dividir cada uno de los valores de los renglones entre el resultado de la sumatoria.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	$1 \div 25.73 = 0.039$	$7 \div 25.73 = 0.272$	$3 \div 25.73 = 0.117$	$1.5 \div 25.73 = 0.008$	$7 \div 25.73 = 0.272$	$1.3 \div 25.73 = 0.013$	$7 \div 25.73 = 0.272$	$1.5 \div 25.73 = 0.008$	25.73
Certificaciones	$1.7 \div 2.36 = 0.060$	$1 \div 2.36 = 0.423$	$1.7 \div 2.36 = 0.060$	$1.5 \div 2.36 = 0.085$	$1.5 \div 2.36 = 0.085$	$1.5 \div 2.36 = 0.085$	$1.3 \div 2.36 = 0.141$	$1.7 \div 2.36 = 0.060$	2.36
Conformabilidad	$1.3 \div 10.40 = 0.032$	$7 \div 10.40 = 0.673$	$1 \div 10.40 = 0.096$	$1.5 \div 10.40 = 0.019$	$1 \div 10.40 = 0.096$	$1.5 \div 10.40 = 0.019$	$1.3 \div 10.40 = 0.032$	$1.3 \div 10.40 = 0.032$	10.40
No genere merma	$5 \div 24.40 = 0.205$	$5 \div 24.40 = 0.205$	$5 \div 24.40 = 0.205$	$1 \div 24.40 = 0.041$	$5 \div 24.40 = 0.205$	$1.5 \div 24.40 = 0.008$	$3 \div 24.40 = 0.123$	$1.5 \div 24.40 = 0.008$	24.40
Ligero	$1.7 \div 8.88 = 0.016$	$5 \div 8.88 = 0.563$	$1 \div 8.88 = 0.113$	$1.5 \div 8.88 = 0.023$	$1 \div 8.88 = 0.113$	$1.5 \div 8.88 = 0.023$	$1 \div 8.88 = 0.113$	$1.3 \div 8.88 = 0.038$	8.88
Espesor	$3 \div 32.00 = 0.094$	$5 \div 32.00 = 0.156$	$5 \div 32.00 = 0.156$	$5 \div 32.00 = 0.156$	$5 \div 32.00 = 0.156$	$1 \div 32.00 = 0.031$	$5 \div 32.00 = 0.156$	$3 \div 32.00 = 0.094$	32.00
fácil de trabajar	$1.7 \div 11.68 = 0.012$	$3 \div 11.68 = 0.257$	$3 \div 11.68 = 0.257$	$1.3 \div 11.68 = 0.029$	$1 \div 11.68 = 0.086$	$1.5 \div 11.68 = 0.017$	$1 \div 11.68 = 0.086$	$3 \div 11.68 = 0.257$	11.68
Durabilidad en condiciones ambientales	$5 \div 24.67 = 0.203$	$7 \div 24.67 = 0.284$	$3 \div 24.67 = 0.122$	$5 \div 24.67 = 0.203$	$3 \div 24.67 = 0.122$	$1.3 \div 24.67 = 0.014$	$1.3 \div 24.67 = 0.014$	$1 \div 24.67 = 0.041$	24.67
Promedio [%]									

Para llevar a cabo la comprobación de este cálculo se debe hacer la sumatoria por renglón de los valores obtenidos, y en todos los casos el resultado deberá ser igual a 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 1

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.039	0.272	0.117	0.008	0.272	0.013	0.272	0.008	1.00
Certificaciones	0.060	0.423	0.060	0.085	0.085	0.085	0.141	0.060	1.00
Conformabilidad	0.032	0.673	0.096	0.019	0.096	0.019	0.032	0.032	1.00
No genere merma	0.205	0.205	0.205	0.041	0.205	0.008	0.123	0.008	1.00
Ligero	0.016	0.563	0.113	0.023	0.113	0.023	0.113	0.038	1.00
Espesor	0.094	0.156	0.156	0.156	0.156	0.031	0.156	0.094	1.00
fácil de trabajar	0.012	0.257	0.257	0.029	0.086	0.017	0.086	0.257	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.203	0.284	0.122	0.203	0.122	0.014	0.014	0.041	1.00
Promedio [%]									

Ahora se debe hacer la sumatoria por **columna** de los resultados obtenidos en el paso anterior y dividirlos entre el número de renglones que se tienen (8 en este caso).

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	0.039	0.272	0.117	0.008	0.272	0.013	0.272	0.008	1.00
Certificaciones	0.060	0.423	0.060	0.085	0.085	0.085	0.141	0.060	1.00
Conformabilidad	0.032	0.673	0.096	0.019	0.096	0.019	0.032	0.032	1.00
No genere merma	0.205	0.205	0.205	0.041	0.205	0.008	0.123	0.008	1.00
Ligero	0.016	0.563	0.113	0.023	0.113	0.023	0.113	0.038	1.00
Espesor	0.094	0.156	0.156	0.156	0.156	0.031	0.156	0.094	1.00
fácil de trabajar	0.012	0.257	0.257	0.029	0.086	0.017	0.086	0.257	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.203	0.284	0.122	0.203	0.122	0.014	0.014	0.041	1.00
Promedio [%]	$(0.039+0.060+0.032+0.205+0.016+0.094+0.012+0.203) \div 8 = 0.083$	$(0.272+0.423+0.673+0.205+0.563+0.156+0.257+0.284) \div 8 = 0.354$	$(0.117+0.060+0.096+0.205+0.113+0.156+0.257+0.122) \div 8 = 0.141$	$(0.008+0.085+0.019+0.041+0.023+0.156+0.029+0.203) \div 8 = 0.070$	$(0.272+0.085+0.096+0.205+0.113+0.156+0.086+0.122) \div 8 = 0.142$	$(0.013+0.085+0.019+0.008+0.023+0.031+0.017+0.014) \div 8 = 0.026$	$(0.272+0.141+0.032+0.123+0.113+0.156+0.086+0.014) \div 8 = 0.117$	$(0.008+0.060+0.032+0.008+0.038+0.094+0.257+0.041) \div 8 = 0.067$	

El último paso es emitir la comprobación del promedio llevando a cabo la sumatoria del renglón correspondiente.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 1

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.039	0.272	0.117	0.008	0.272	0.013	0.272	0.008	1.00
Certificaciones	0.060	0.423	0.060	0.085	0.085	0.085	0.141	0.060	1.00
Conformabilidad	0.032	0.673	0.096	0.019	0.096	0.019	0.032	0.032	1.00
No genere merma	0.205	0.205	0.205	0.041	0.205	0.008	0.123	0.008	1.00
Ligero	0.016	0.563	0.113	0.023	0.113	0.023	0.113	0.038	1.00
Espesor	0.094	0.156	0.156	0.156	0.156	0.031	0.156	0.094	1.00
fácil de trabajar	0.012	0.257	0.257	0.029	0.086	0.017	0.086	0.257	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.203	0.284	0.122	0.203	0.122	0.014	0.014	0.041	1.00
Promedio [%]	0.08	0.35	0.14	0.07	0.14	0.03	0.12	0.07	1.00

Matriz 2

Matriz de comparación inicializada 2

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1							
Certificaciones	1/7	1						
Conformabilidad	5	7	1					
No genere merma	1	1	3	1				
Ligero	1	5	1	1/3	1			
Espesor	7	5	5	1	3	1		
Fácil de trabajar	5	3	1	1/3	1	1/3	1	
Durabilidad en condiciones ambientales	3	1	5	1/3	5	1	3	1

Colocando el valor inverso de los valores obtenidos.

Matriz de comparación pareada 2

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	7	1/5	1	1	1/7	1/5	1/3
Certificaciones	1/7	1	1/7	1	1/5	1/5	1/3	1
Conformabilidad	5	7	1	1/3	1	1/5	1	1/5
No genere merma	1	1	3	1	3	1	3	3
Ligero	1	5	1	1/3	1	1/3	1	1/5
Espesor	7	5	5	1	3	1	3	1
Fácil de trabajar	5	3	1	1/3	1	1/3	1	1/3
Durabilidad en condiciones ambientales	3	1	5	1/3	5	1	3	1

Se realiza la normalización de la matriz pareada. Se obtiene la sumatoria de los renglones de la matriz.

Precio competitivo	$1 + 7 + 1/5 + 1 + 1 + 1/7 + 1/5 + 1/3 = 10.88$
Certificaciones	$1/7 + 1 + 1/7 + 1 + 1/5 + 1/5 + 1/3 + 1 = 4.02$
Conformabilidad	$5 + 7 + 1 + 1/3 + 1 + 1/5 + 1 + 1/5 = 15.73$
No genere merma	$1 + 1 + 3 + 1 + 3 + 1 + 3 + 3 = 16.00$
Ligero	$1 + 5 + 1 + 1/3 + 1 + 1/3 + 1 + 1/5 = 9.87$
Espesor	$7 + 5 + 5 + 1 + 3 + 1 + 3 + 1 = 26.00$
fácil de trabajar	$5 + 3 + 1 + 1/3 + 1 + 1/3 + 1 + 1/3 = 12.00$
Durabilidad en condiciones ambientales	$3 + 1 + 5 + 1/3 + 5 + 1 + 3 + 1 = 19.33$

Registrando los valores en la columna de sumatoria la matriz queda de la siguiente forma:

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 2

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	1	7	1/5	1	1	1/7	1/5	1/3	10.88
Certificaciones	1/7	1	1/7	1	1/5	1/5	1/3	1	4.02
Conformabilidad	5	7	1	1/3	1	1/5	1	1/5	15.73
No genere merma	1	1	3	1	3	1	3	3	16.00
Ligero	1	5	1	1/3	1	1/3	1	1/5	9.87
Espesor	7	5	5	1	3	1	3	1	26.00
fácil de trabajar	5	3	1	1/3	1	1/3	1	1/3	12.00
Durabilidad en condiciones ambientales	3	1	5	1/3	5	1	3	1	19.33
Promedio [%]									

Para obtener el promedio lo primero es dividir cada uno de los valores de los renglones entre el resultado de la sumatoria.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	$1 \div 10.88 = 0.092$	$7 \div 10.88 = 0.644$	$1/5 \div 10.88 = 0.018$	$1 \div 10.88 = 0.092$	$1 \div 10.88 = 0.092$	$1/7 \div 10.88 = 0.013$	$1/5 \div 10.88 = 0.018$	$1/3 \div 10.88 = 0.031$	10.88
Certificaciones	$1/7 \div 4.02 = 0.036$	$1 \div 4.02 = 0.249$	$1/7 \div 2.36 = 0.036$	$1 \div 4.02 = 0.249$	$1/5 \div 4.02 = 0.050$	$1/5 \div 4.02 = 0.050$	$1/3 \div 4.02 = 0.083$	$1 \div 4.02 = 0.249$	4.02
Conformabilidad	$5 \div 15.73 = 0.318$	$7 \div 15.73 = 0.445$	$1 \div 10.40 = 0.064$	$1/3 \div 15.73 = 0.021$	$1 \div 15.73 = 0.064$	$1/5 \div 15.73 = 0.013$	$1 \div 15.73 = 0.064$	$1/5 \div 15.73 = 0.013$	15.73
No genere merma	$1 \div 16.00 = 0.063$	$1 \div 16.00 = 0.063$	$3 \div 24.40 = 0.188$	$1 \div 16.00 = 0.063$	$3 \div 16.00 = 0.188$	$1 \div 16.00 = 0.063$	$3 \div 16.00 = 0.188$	$3 \div 16.00 = 0.188$	16.00
Ligero	$1 \div 9.87 = 0.101$	$5 \div 9.87 = 0.507$	$1 \div 8.88 = 0.101$	$1/3 \div 9.87 = 0.034$	$1 \div 9.87 = 0.101$	$1/3 \div 9.87 = 0.034$	$1 \div 9.87 = 0.101$	$1/5 \div 9.87 = 0.020$	9.87
Espesor	$7 \div 26.00 = 0.269$	$5 \div 26.00 = 0.192$	$5 \div 32.00 = 0.192$	$1 \div 26.00 = 0.038$	$3 \div 26.00 = 0.115$	$1 \div 26.00 = 0.038$	$3 \div 26.00 = 0.115$	$1 \div 26.00 = 0.038$	26.00
fácil de trabajar	$5 \div 12.00 = 0.417$	$3 \div 12.00 = 0.250$	$1 \div 11.68 = 0.083$	$1/3 \div 12.00 = 0.028$	$1 \div 12.00 = 0.083$	$1/3 \div 12.00 = 0.028$	$1 \div 12.00 = 0.083$	$1/3 \div 12.00 = 0.028$	12.00
Durabilidad en condiciones ambientales	$3 \div 19.33 = 0.155$	$1 \div 19.33 = 0.052$	$5 \div 24.67 = 0.259$	$1/3 \div 19.33 = 0.017$	$5 \div 19.33 = 0.259$	$1 \div 19.33 = 0.052$	$3 \div 19.33 = 0.155$	$1 \div 19.33 = 0.052$	19.33
Promedio [%]									

Para llevar a cabo la comprobación de este cálculo se debe hacer la sumatoria por renglón de los valores obtenidos, y en todos los casos el resultado deberá ser igual a 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 2

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.092	0.644	0.018	0.092	0.092	0.013	0.018	0.031	1.00
Certificaciones	0.036	0.249	0.036	0.249	0.050	0.050	0.083	0.249	1.00
Conformabilidad	0.318	0.445	0.064	0.021	0.064	0.013	0.064	0.013	1.00
No genere merma	0.063	0.063	0.188	0.063	0.188	0.063	0.188	0.188	1.00
Ligero	0.101	0.507	0.101	0.034	0.101	0.034	0.101	0.020	1.00
Espesor	0.269	0.192	0.192	0.038	0.115	0.038	0.115	0.038	1.00
fácil de trabajar	0.417	0.250	0.083	0.028	0.083	0.028	0.083	0.028	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.155	0.052	0.259	0.017	0.259	0.052	0.155	0.052	1.00
Promedio [%]									

Ahora se hace la sumatoria por **columna** de los resultados obtenidos.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	0.092	0.644	0.018	0.092	0.092	0.013	0.018	0.031	1.00
Certificaciones	0.036	0.249	0.036	0.249	0.050	0.050	0.083	0.249	1.00
Conformabilidad	0.318	0.445	0.064	0.021	0.064	0.013	0.064	0.013	1.00
No genere merma	0.063	0.063	0.188	0.063	0.188	0.063	0.188	0.188	1.00
Ligero	0.101	0.507	0.101	0.034	0.101	0.034	0.101	0.020	1.00
Espesor	0.269	0.192	0.192	0.038	0.115	0.038	0.115	0.038	1.00
fácil de trabajar	0.417	0.250	0.083	0.028	0.083	0.028	0.083	0.028	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.155	0.052	0.259	0.017	0.259	0.052	0.155	0.052	1.00
Promedio [%]	$(0.092+0.036+0.318+0.063+0.101+0.269+0.417+0.155) \div 8 = 0.181$	$(0.644+0.249+0.445+0.063+0.507+0.192+0.250+0.252) \div 8 = 0.300$	$(0.018+0.036+0.064+0.188+0.101+0.192+0.083+0.259) \div 8 = 0.118$	$(0.092+0.249+0.021+0.063+0.034+0.038+0.028+0.017) \div 8 = 0.068$	$(0.092+0.050+0.064+0.188+0.101+0.115+0.083+0.259) \div 8 = 0.119$	$(0.013+0.050+0.013+0.063+0.034+0.038+0.028+0.052) \div 8 = 0.036$	$(0.018+0.083+0.064+0.188+0.101+0.115+0.083+0.155) \div 8 = 0.101$	$(0.031+0.249+0.013+0.188+0.020+0.038+0.028+0.052) \div 8 = 0.077$	

El último paso es emitir la comprobación del promedio llevando a cabo la sumatoria del renglón correspondiente.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 2

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.092	0.644	0.018	0.092	0.092	0.013	0.018	0.031	1.00
Certificaciones	0.036	0.249	0.036	0.249	0.050	0.050	0.083	0.249	1.00
Conformabilidad	0.318	0.445	0.064	0.021	0.064	0.013	0.064	0.013	1.00
No genere merma	0.063	0.063	0.188	0.063	0.188	0.063	0.188	0.188	1.00
Ligero	0.101	0.507	0.101	0.034	0.101	0.034	0.101	0.020	1.00
Espesor	0.269	0.192	0.192	0.038	0.115	0.038	0.115	0.038	1.00
fácil de trabajar	0.417	0.250	0.083	0.028	0.083	0.028	0.083	0.028	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.155	0.052	0.259	0.017	0.259	0.052	0.155	0.052	1.00
Promedio [%]	0.083	0.354	0.141	0.070	0.142	0.026	0.117	0.067	1.00

Matriz 3

Matriz de comparación inicializada 3

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1							
Certificaciones	1/5	1						
Conformabilidad	1/7	5	1					
No genere merma	7	7	7	1				
Ligero	1/3	3	1	1/5	1			
Espesor	1/5	5	3	1/3	5	1		
Fácil de trabajar	1/3	5	1	1/3	5	3	1	
Durabilidad en condiciones ambientales	3	5	5	3	5	1/5	3	1

Colocando el valor inverso de los valores obtenidos.

Matriz de comparación pareada 3

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	5	1/7	7.00	1/3	1/5	1/3	3
Certificaciones	1/5	1	1/5	1/7	1/3	1/5	1/5	1/5
Conformabilidad	1/7	5	1	1/7	1	1/3	1	1/5
No genere merma	7	7	7	1	5	3	3	1/3
Ligero	1/3	3	1	1/5	1	1/5	1/5	1/5
Espesor	1/5	5	3	1/3	5	1	1/3	5
Fácil de trabajar	1/3	5	1	1/3	5	3	1	1/3
Durabilidad en condiciones ambientales	3	5	5	3	5	1/5	3	1

Se realiza la normalización de la matriz pareada. Se obtiene la sumatoria de los renglones de la matriz.

Precio competitivo	$1 + 5 + 1/7 + 7 + 1/3 + 1/5 + 1/3 + 3 = 17.01$
Certificaciones	$1/5 + 1 + 1/5 + 1/7 + 1/3 + 1/5 + 1/5 + 1/5 = 2.48$
Conformabilidad	$1/7 + 5 + 1 + 1/7 + 1 + 1/3 + 1 + 1/5 = 8.82$
No genere merma	$7 + 7 + 7 + 1 + 5 + 3 + 3 + 1/3 = 33.33$
Ligero	$1/3 + 3 + 1 + 1/5 + 1 + 1/5 + 1/5 + 1/5 = 6.13$
Espesor	$1/5 + 5 + 3 + 1/3 + 5 + 1 + 1/3 + 5 = 19.87$
fácil de trabajar	$1/3 + 5 + 1 + 1/3 + 5 + 3 + 1 + 1/3 = 16.00$
Durabilidad en condiciones ambientales	$3 + 5 + 5 + 3 + 5 + 1/5 + 3 + 1 = 25.20$

Registrando los valores en la columna de sumatoria la matriz queda de la siguiente forma:

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 3

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	1	5	1/7	7	1/3	1/5	1/3	3	17.01
Certificaciones	1/5	1	1/5	1/7	1/3	1/5	1/5	1/5	2.48
Conformabilidad	1/7	5	1	1/7	1	1/3	1	1/5	8.82
No genere merma	7	7	7	1	5	3	3	1/3	33.33
Ligero	1/3	3	1	1/5	1	1/5	1/5	1/5	6.13
Espesor	1/5	5	3	1/3	5	1	1/3	5	19.87
fácil de trabajar	1/3	5	1	1/3	5	3	1	1/3	16.00
Durabilidad en condiciones ambientales	3	5	5	3	5	1/5	3	1	25.20
Promedio [%]									

Para obtener el promedio lo primero es dividir cada uno de los valores de los renglones entre el resultado de la sumatoria.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	$1 \div 17.01 = 0.059$	$5 \div 17.01 = 0.294$	$1/7 \div 17.01 = 0.008$	$7 \div 17.01 = 0.412$	$1/3 \div 17.01 = 0.020$	$1/5 \div 17.01 = 0.012$	$1/3 \div 17.01 = 0.020$	$3 \div 17.01 = 0.176$	17.01
Certificaciones	$1/5 \div 2.48 = 0.081$	$1 \div 2.48 = 0.404$	$1/5 \div 2.48 = 0.081$	$1/7 \div 2.48 = 0.058$	$1/3 \div 2.48 = 0.135$	$1/5 \div 2.48 = 0.081$	$1/5 \div 2.48 = 0.081$	$1/5 \div 2.48 = 0.081$	2.48
Conformabilidad	$1/7 \div 8.82 = 0.016$	$5 \div 8.82 = 0.567$	$1 \div 8.82 = 0.113$	$1/7 \div 8.82 = 0.016$	$1 \div 8.82 = 0.113$	$1/3 \div 8.82 = 0.038$	$1 \div 8.82 = 0.113$	$1/5 \div 8.82 = 0.023$	8.82
No genere merma	$7 \div 33.33 = 0.210$	$7 \div 33.33 = 0.210$	$7 \div 33.33 = 0.210$	$1 \div 33.33 = 0.030$	$5 \div 33.33 = 0.150$	$3 \div 33.33 = 0.090$	$3 \div 33.33 = 0.090$	$1/3 \div 33.33 = 0.010$	33.33
Ligero	$1/3 \div 6.13 = 0.054$	$3 \div 6.13 = 0.489$	$1 \div 6.13 = 0.163$	$1/5 \div 6.13 = 0.033$	$1 \div 6.13 = 0.163$	$1/5 \div 6.13 = 0.033$	$1/5 \div 6.13 = 0.033$	$1/5 \div 6.13 = 0.033$	6.13
Espesor	$1/5 \div 19.87 = 0.010$	$5 \div 19.87 = 0.252$	$3 \div 19.87 = 0.151$	$1/3 \div 19.87 = 0.017$	$5 \div 19.87 = 0.252$	$1 \div 19.87 = 0.050$	$1/3 \div 19.87 = 0.017$	$5 \div 19.87 = 0.252$	19.87
fácil de trabajar	$1/3 \div 16.00 = 0.021$	$5 \div 16.00 = 0.313$	$1 \div 16.00 = 0.063$	$1/3 \div 16.00 = 0.021$	$5 \div 16.00 = 0.313$	$3 \div 16.00 = 0.188$	$1 \div 16.00 = 0.063$	$1/3 \div 16.00 = 0.021$	16.00
Durabilidad en condiciones ambientales	$3 \div 25.20 = 0.119$	$5 \div 25.20 = 0.198$	$5 \div 25.20 = 0.198$	$3 \div 25.20 = 0.119$	$5 \div 25.20 = 0.198$	$1/5 \div 25.20 = 0.008$	$3 \div 25.20 = 0.119$	$1 \div 25.20 = 0.040$	25.20
Promedio [%]									

Para llevar a cabo la comprobación de este cálculo se debe hacer la sumatoria por renglón de los valores obtenidos, y en todos los casos el resultado deberá ser igual a 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 3

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.059	0.294	0.008	0.412	0.020	0.012	0.020	0.176	1.00
Certificaciones	0.081	0.404	0.081	0.058	0.135	0.081	0.081	0.081	1.00
Conformabilidad	0.016	0.567	0.113	0.016	0.113	0.038	0.113	0.023	1.00
No genere merma	0.210	0.210	0.210	0.030	0.150	0.090	0.090	0.010	1.00
Ligero	0.054	0.489	0.163	0.033	0.163	0.033	0.033	0.033	1.00
Espesor	0.010	0.252	0.151	0.017	0.252	0.050	0.017	0.252	1.00
fácil de trabajar	0.021	0.313	0.063	0.021	0.313	0.188	0.063	0.021	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.119	0.198	0.198	0.119	0.198	0.008	0.119	0.040	1.00
Promedio [%]									

Ahora se hace la sumatoria por **columna** de los resultados obtenidos.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	0.059	0.294	0.008	0.412	0.020	0.012	0.020	0.176	1.00
Certificaciones	0.081	0.404	0.081	0.058	0.135	0.081	0.081	0.081	1.00
Conformabilidad	0.016	0.567	0.113	0.016	0.113	0.038	0.113	0.023	1.00
No genere merma	0.210	0.210	0.210	0.030	0.150	0.090	0.090	0.010	1.00
Ligero	0.054	0.489	0.163	0.033	0.163	0.033	0.033	0.033	1.00
Espesor	0.010	0.252	0.151	0.017	0.252	0.050	0.017	0.252	1.00
fácil de trabajar	0.021	0.313	0.063	0.021	0.313	0.188	0.063	0.021	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.119	0.198	0.198	0.119	0.198	0.008	0.119	0.040	1.00
Promedio [%]	$(0.059+0.081+0.016+0.210+0.054+0.010+0.021+0.119) \div 8 = 0.071$	$(0.294+0.404+0.567+0.210+0.489+0.252+0.313+0.198) \div 8 = 0.341$	$(0.008+0.081+0.113+0.210+0.163+0.151+0.063+0.198) \div 8 = 0.123$	$(0.412+0.058+0.016+0.030+0.033+0.017+0.021+0.119) \div 8 = 0.088$	$(0.020+0.135+0.113+0.150+0.163+0.252+0.313+0.198) \div 8 = 0.168$	$(0.012+0.081+0.038+0.090+0.033+0.050+0.188+0.008) \div 8 = 0.062$	$(0.020+0.081+0.113+0.090+0.033+0.017+0.063+0.119) \div 8 = 0.067$	$(0.176+0.081+0.023+0.010+0.033+0.252+0.021+0.040) \div 8 = 0.079$	1.00

El último paso es emitir la comprobación del promedio llevando a cabo la sumatoria del renglón correspondiente.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 3

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.059	0.294	0.008	0.412	0.020	0.012	0.020	0.176	1.00
Certificaciones	0.081	0.404	0.081	0.058	0.135	0.081	0.081	0.081	1.00
Conformabilidad	0.016	0.567	0.113	0.016	0.113	0.038	0.113	0.023	1.00
No genere merma	0.210	0.210	0.210	0.030	0.150	0.090	0.090	0.010	1.00
Ligero	0.054	0.489	0.163	0.033	0.163	0.033	0.033	0.033	1.00
Espesor	0.010	0.252	0.151	0.017	0.252	0.050	0.017	0.252	1.00
fácil de trabajar	0.021	0.313	0.063	0.021	0.313	0.188	0.063	0.021	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.119	0.198	0.198	0.119	0.198	0.008	0.119	0.040	1.00
Promedio [%]	0.071	0.341	0.123	0.088	0.168	0.062	0.067	0.079	1.00

Matriz 4

Matriz de comparación inicializada 4

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1							
Certificaciones	1/5	1						
Conformabilidad	1/3	7	1					
No genere merma	5	5	5	1				
Ligero	1/7	5	1	1/5	1			
Espesor	3	5	5	7	1	1		
Fácil de trabajar	1/7	3	1	1/5	1/3	1/5	1	
Durabilidad en condiciones ambientales	1/7	1	7	7	7	1/7	7	1

Colocando el valor inverso de los valores obtenidos.

Matriz de comparación pareada 4

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	5	3	1/5	7	1/3	7	7
Certificaciones	1/5	1	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1
Conformabilidad	1/3	7	1	1/5	1	1/5	1	1/7
No genere merma	5	5	5	1	5	1/7	1/5	1/7
Ligero	1/7	5	1	1/5	1	1	3	1/7
Espesor	3	5	5	7	1	1	5	7
Fácil de trabajar	1/7	3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/7
Durabilidad en condiciones ambientales	1/7	1	7	7	7	1/7	7	1

Se realiza la normalización de la matriz pareada. Se obtiene la sumatoria de los renglones de la matriz.

Precio competitivo	$1 + 5 + 3 + 1/5 + 7 + 1/3 + 7 + 7 = 30.53$
Certificaciones	$1/5 + 1 + 1/7 + 1/5 + 1/5 + 1/5 + 1/3 + 1 = 3.28$
Conformabilidad	$1/3 + 7 + 1 + 1/5 + 1 + 1/5 + 1 + 1/7 = 10.88$
No genere merma	$5 + 5 + 5 + 1 + 5 + 1/7 + 1/5 + 1/7 = 21.49$
Ligero	$1/7 + 5 + 1 + 1/5 + 1 + 1 + 3 + 1/7 = 11.49$
Espesor	$3 + 5 + 5 + 7 + 1 + 1 + 5 + 7 = 34.00$
fácil de trabajar	$1/7 + 3 + 1 + 1/5 + 1/3 + 1/5 + 1 + 1/7 = 6.02$
Durabilidad en condiciones ambientales	$1/7 + 1 + 7 + 7 + 7 + 1/7 + 7 + 1 = 30.29$

Registrando los valores en la columna de sumatoria la matriz queda de la siguiente forma:

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 4

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	1	5	3	1/5	7	1/3	7	7	30.53
Certificaciones	1/5	1	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1	3.28
Conformabilidad	1/3	7	1	1/5	1	1/5	1	1/7	10.88
No genere merma	5	5	5	1	5	1/7	1/5	1/7	21.49
Ligero	1/7	5	1	1/5	1	1	3	1/7	11.49
Espesor	3	5	5	7	1	1	5	7	34.00
fácil de trabajar	1/7	3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/7	6.02
Durabilidad en condiciones ambientales	1/7	1	7	7	7	1/7	7	1	30.29
Promedio [%]									

Para obtener el promedio lo primero es dividir cada uno de los valores de los renglones entre el resultado de la sumatoria.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	$1 \div 30.53 = 0.033$	$5 \div 30.53 = 0.164$	$3 \div 30.53 = 0.098$	$1.5 \div 30.53 = 0.007$	$7 \div 30.53 = 0.229$	$1/3 \div 30.53 = 0.011$	$7 \div 30.53 = 0.229$	$7 \div 30.53 = 0.229$	30.53
Certificaciones	$1/5 \div 3.28 = 0.061$	$1 \div 3.28 = 0.305$	$1/7 \div 3.28 = 0.044$	$1.5 \div 3.28 = 0.061$	$1/5 \div 3.28 = 0.061$	$1/5 \div 3.28 = 0.061$	$1/3 \div 3.28 = 0.102$	$1 \div 3.28 = 0.305$	3.28
Conformabilidad	$1/3 \div 10.88 = 0.031$	$7 \div 10.88 = 0.644$	$1 \div 10.88 = 0.092$	$1.5 \div 10.88 = 0.018$	$1 \div 10.88 = 0.092$	$1/5 \div 10.88 = 0.018$	$1 \div 10.88 = 0.092$	$1/7 \div 10.88 = 0.013$	10.88
No genere merma	$5 \div 21.49 = 0.233$	$5 \div 21.49 = 0.233$	$5 \div 21.49 = 0.233$	$1 \div 21.49 = 0.047$	$5 \div 21.49 = 0.233$	$1/7 \div 21.49 = 0.007$	$1.5 \div 21.49 = 0.009$	$1/7 \div 21.49 = 0.007$	21.49
Ligero	$1/7 \div 11.49 = 0.012$	$5 \div 11.49 = 0.435$	$1 \div 11.49 = 0.087$	$1.5 \div 11.49 = 0.017$	$1 \div 11.49 = 0.087$	$1 \div 11.49 = 0.087$	$3 \div 11.49 = 0.261$	$1/7 \div 11.49 = 0.012$	11.49
Espesor	$3 \div 34.00 = 0.088$	$5 \div 34.00 = 0.147$	$5 \div 34.00 = 0.147$	$7 \div 34.00 = 0.206$	$1 \div 34.00 = 0.029$	$1 \div 34.00 = 0.029$	$5 \div 34.00 = 0.147$	$7 \div 34.00 = 0.206$	34.00
fácil de trabajar	$1/7 \div 6.02 = 0.024$	$3 \div 6.02 = 0.498$	$1 \div 6.02 = 0.166$	$1.5 \div 6.02 = 0.033$	$1/3 \div 6.02 = 0.055$	$1/5 \div 6.02 = 0.033$	$1 \div 6.02 = 0.166$	$1/7 \div 6.02 = 0.024$	6.02
Durabilidad en condiciones ambientales	$1/7 \div 30.29 = 0.005$	$1 \div 30.29 = 0.033$	$7 \div 30.29 = 0.231$	$7 \div 30.29 = 0.231$	$7 \div 30.29 = 0.231$	$1/7 \div 30.29 = 0.005$	$7 \div 30.29 = 0.231$	$1 \div 30.29 = 0.033$	30.29
Promedio [%]									

Para llevar a cabo la comprobación de este cálculo se debe hacer la sumatoria por renglón de los valores obtenidos, y en todos los casos el resultado deberá ser igual a 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 4

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.033	0.164	0.098	0.007	0.229	0.011	0.229	0.229	1.00
Certificaciones	0.061	0.305	0.044	0.061	0.061	0.061	0.102	0.305	1.00
Conformabilidad	0.031	0.644	0.092	0.018	0.092	0.018	0.092	0.013	1.00
No genere merma	0.233	0.233	0.233	0.047	0.233	0.007	0.009	0.007	1.00
Ligero	0.012	0.435	0.087	0.017	0.087	0.087	0.261	0.012	1.00
Espesor	0.088	0.147	0.147	0.206	0.029	0.029	0.147	0.206	1.00
fácil de trabajar	0.024	0.498	0.166	0.033	0.055	0.033	0.166	0.024	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.005	0.033	0.231	0.231	0.231	0.005	0.231	0.033	1.00
Promedio [%]									

Ahora se hace la sumatoria por **columna** de los resultados obtenidos.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	0.033	0.164	0.098	0.007	0.229	0.011	0.229	0.229	1.00
Certificaciones	0.061	0.305	0.044	0.061	0.061	0.061	0.102	0.305	1.00
Conformabilidad	0.031	0.644	0.092	0.018	0.092	0.018	0.092	0.013	1.00
No genere merma	0.233	0.233	0.233	0.047	0.233	0.007	0.009	0.007	1.00
Ligero	0.012	0.435	0.087	0.017	0.087	0.087	0.261	0.012	1.00
Espesor	0.088	0.147	0.147	0.206	0.029	0.029	0.147	0.206	1.00
fácil de trabajar	0.024	0.498	0.166	0.033	0.055	0.033	0.166	0.024	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.005	0.033	0.231	0.231	0.231	0.005	0.231	0.033	1.00
Promedio [%]	$(0.033+0.061+0.031+0.233+0.012+0.088+0.024+0.005) \div 8 = 0.061$	$(0.164+0.305+0.644+0.233+0.435+0.147+0.498+0.033) \div 8 = 0.307$	$(0.098+0.044+0.092+0.233+0.087+0.147+0.166+0.231) \div 8 = 0.137$	$(0.007+0.061+0.018+0.047+0.017+0.206+0.033+0.231) \div 8 = 0.078$	$(0.229+0.061+0.092+0.233+0.087+0.029+0.055+0.231) \div 8 = 0.127$	$(0.011+0.061+0.018+0.007+0.087+0.029+0.033+0.005) \div 8 = 0.031$	$(0.229+0.102+0.092+0.009+0.261+0.147+0.166+0.231) \div 8 = 0.155$	$(0.229+0.305+0.013+0.007+0.012+0.206+0.024+0.033) \div 8 = 0.104$	

El último paso es emitir la comprobación del promedio llevando a cabo la sumatoria del renglón correspondiente.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 4

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.033	0.164	0.098	0.007	0.229	0.011	0.229	0.229	1.00
Certificaciones	0.061	0.305	0.044	0.061	0.061	0.061	0.102	0.305	1.00
Conformabilidad	0.031	0.644	0.092	0.018	0.092	0.018	0.092	0.013	1.00
No genere merma	0.233	0.233	0.233	0.047	0.233	0.007	0.009	0.007	1.00
Ligero	0.012	0.435	0.087	0.017	0.087	0.087	0.261	0.012	1.00
Espesor	0.088	0.147	0.147	0.206	0.029	0.029	0.147	0.206	1.00
fácil de trabajar	0.024	0.498	0.166	0.033	0.055	0.033	0.166	0.024	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.005	0.033	0.231	0.231	0.231	0.005	0.231	0.033	1.00
Promedio [%]	0.061	0.307	0.137	0.078	0.127	0.031	0.155	0.104	1.00

Matriz 5

Matriz de comparación inicializada 5

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1							
Certificaciones	1/7	1						
Conformabilidad	5	5	1					
No genere merma	1/5	3	5	1				
Ligero	1/7	5	1/3	7	1			
Espesor	1/7	7	3	5	7	1		
Fácil de trabajar	3	5	1/5	1/7	5	1/5	1	
Durabilidad en condiciones ambientales	1/5	3	1/7	1/3	5	3	3	1

Colocando el valor inverso de los valores obtenidos.

Matriz de comparación pareada 5

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	7	1/5	5	7	7	1/3	5
Certificaciones	1/7	1	1/5	1/3	1/5	1/7	1/5	1/3
Conformabilidad	5	5	1	1/5	3	1/3	1/5	7
No genere merma	1/5	3	5	1	1/7	1/5	7	3
Ligero	1/7	5	1/3	7	1	1/7	1/5	1/5
Espesor	1/7	7	3	5	7	1	5	1/3
Fácil de trabajar	3	5	1/5	1/7	5	1/5	1	1/3
Durabilidad en condiciones ambientales	1/5	3	1/7	1/3	5	3	3	1

Se realiza la normalización de la matriz pareada. Se obtiene la sumatoria de los renglones de la matriz.

Precio competitivo	$1 + 7 + 1/5 + 5 + 7 + 7 + 1/3 + 5 = 32.53$
Certificaciones	$1/7 + 1 + 1/5 + 1/3 + 1/5 + 1/7 + 1/5 + 1/3 = 2.55$
Conformabilidad	$5 + 5 + 1 + 1/5 + 3 + 1/3 + 1/5 + 7 = 21.73$
No genere merma	$1/5 + 3 + 5 + 1 + 1/7 + 1/5 + 7 + 3 = 19.54$
Ligero	$1/7 + 5 + 1/3 + 7 + 1 + 1/7 + 1/5 + 1/5 = 14.02$
Espesor	$1/7 + 7 + 3 + 5 + 7 + 1 + 5 + 1/3 = 28.48$
fácil de trabajar	$3 + 5 + 1/5 + 1/7 + 5 + 1/5 + 1 + 1/3 = 14.88$
Durabilidad en condiciones ambientales	$1/5 + 3 + 1/7 + 1/3 + 5 + 3 + 3 + 1 = 15.68$

Registrando los valores en la columna de sumatoria la matriz queda de la siguiente forma:

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 5

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	1	7	1/5	5	7	7	1/3	5	32.53
Certificaciones	1/7	1	1/5	1/3	1/5	1/7	1/5	1/3	2.55
Conformabilidad	5	5	1	1/5	3	1/3	1/5	7	21.73
No genere merma	1/5	3	5	1	1/7	1/5	7	3	19.54
Ligero	1/7	5	1/3	7	1	1/7	1/5	1/5	14.02
Espesor	1/7	7	3	5	7	1	5	1/3	28.48
fácil de trabajar	3	5	1/5	1/7	5	1/5	1	1/3	14.88
Durabilidad en condiciones ambientales	1/5	3	1/7	1/3	5	3	3	1	15.68
Promedio [%]									

Para obtener el promedio lo primero es dividir cada uno de los valores de los renglones entre el resultado de la sumatoria.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	$1 \div 32.53 = 0.031$	$7 \div 32.53 = 0.215$	$1/5 \div 32.53 = 0.006$	$5 \div 32.53 = 0.154$	$7 \div 32.53 = 0.215$	$7 \div 32.53 = 0.215$	$1/3 \div 32.53 = 0.010$	$5 \div 32.53 = 0.154$	32.53
Certificaciones	$1/7 \div 2.55 = 0.056$	$1 \div 2.55 = 0.392$	$1/5 \div 2.55 = 0.078$	$1/3 \div 2.55 = 0.131$	$1/5 \div 2.55 = 0.078$	$1/7 \div 2.55 = 0.056$	$1/5 \div 2.55 = 0.078$	$1/3 \div 2.55 = 0.131$	2.55
Conformabilidad	$5 \div 21.73 = 0.230$	$5 \div 21.73 = 0.230$	$1 \div 21.73 = 0.046$	$1/5 \div 21.73 = 0.009$	$3 \div 21.73 = 0.138$	$1/3 \div 21.73 = 0.015$	$1/5 \div 21.73 = 0.009$	$7 \div 21.73 = 0.322$	21.73
No genere merma	$1/5 \div 19.54 = 0.010$	$3 \div 19.54 = 0.154$	$5 \div 19.54 = 0.256$	$1 \div 19.54 = 0.051$	$1/7 \div 19.54 = 0.007$	$1/5 \div 19.54 = 0.010$	$7 \div 19.54 = 0.358$	$3 \div 19.54 = 0.154$	19.54
Ligero	$1/7 \div 14.02 = 0.010$	$5 \div 14.02 = 0.357$	$1/3 \div 14.02 = 0.024$	$7 \div 14.02 = 0.499$	$1 \div 14.02 = 0.071$	$1/7 \div 14.02 = 0.010$	$1/5 \div 14.02 = 0.014$	$1/5 \div 14.02 = 0.014$	14.02
Espesor	$1/7 \div 28.48 = 0.005$	$7 \div 28.48 = 0.246$	$3 \div 28.48 = 0.105$	$5 \div 28.48 = 0.176$	$7 \div 28.48 = 0.246$	$1 \div 28.48 = 0.035$	$5 \div 28.48 = 0.176$	$1/3 \div 28.48 = 0.012$	28.48
fácil de trabajar	$3 \div 14.88 = 0.202$	$5 \div 14.88 = 0.336$	$1/5 \div 14.88 = 0.013$	$1/7 \div 14.88 = 0.010$	$5 \div 14.88 = 0.336$	$1/5 \div 14.88 = 0.013$	$1 \div 14.88 = 0.067$	$1/3 \div 14.88 = 0.022$	14.88
Durabilidad en condiciones ambientales	$1/5 \div 15.68 = 0.013$	$3 \div 15.68 = 0.191$	$1/7 \div 15.68 = 0.009$	$1/3 \div 15.68 = 0.021$	$5 \div 15.68 = 0.319$	$3 \div 15.68 = 0.191$	$3 \div 15.68 = 0.191$	$1 \div 15.68 = 0.064$	15.68
Promedio [%]									

Para llevar a cabo la comprobación de este cálculo se debe hacer la sumatoria por renglón de los valores obtenidos, y en todos los casos el resultado deberá ser igual a 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 5

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.031	0.215	0.006	0.154	0.215	0.215	0.010	0.154	1.00
Certificaciones	0.056	0.392	0.078	0.131	0.078	0.056	0.078	0.131	1.00
Conformabilidad	0.230	0.230	0.046	0.009	0.138	0.015	0.009	0.322	1.00
No genere merma	0.010	0.154	0.256	0.051	0.007	0.010	0.358	0.154	1.00
Ligero	0.010	0.357	0.024	0.499	0.071	0.010	0.014	0.014	1.00
Espesor	0.005	0.246	0.105	0.176	0.246	0.035	0.176	0.012	1.00
fácil de trabajar	0.202	0.336	0.013	0.010	0.336	0.013	0.067	0.022	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.013	0.191	0.009	0.021	0.319	0.191	0.191	0.064	1.00
Promedio [%]									

Ahora se hace la sumatoria por **columna** de los resultados obtenidos.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	0.031	0.215	0.006	0.154	0.215	0.215	0.010	0.154	1.00
Certificaciones	0.056	0.392	0.078	0.131	0.078	0.056	0.078	0.131	1.00
Conformabilidad	0.230	0.230	0.046	0.009	0.138	0.015	0.009	0.322	1.00
No genere merma	0.010	0.154	0.256	0.051	0.007	0.010	0.358	0.154	1.00
Ligero	0.010	0.357	0.024	0.499	0.071	0.010	0.014	0.014	1.00
Espesor	0.005	0.246	0.105	0.176	0.246	0.035	0.176	0.012	1.00
fácil de trabajar	0.202	0.336	0.013	0.010	0.336	0.013	0.067	0.022	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.013	0.191	0.009	0.021	0.319	0.191	0.191	0.064	1.00
Promedio [%]	$(0.031+0.056+0.230+0.010+0.010+0.005+0.202+0.013) \div 8 = 0.070$	$(0.215+0.392+0.230+0.154+0.357+0.246+0.336+0.191) \div 8 = 0.265$	$(0.006+0.078+0.046+0.256+0.024+0.105+0.013+0.009) \div 8 = 0.067$	$(0.154+0.131+0.009+0.051+0.499+0.176+0.010+0.021) \div 8 = 0.131$	$(0.215+0.078+0.138+0.007+0.071+0.246+0.336+0.319) \div 8 = 0.176$	$(0.215+0.056+0.015+0.010+0.010+0.035+0.013+0.191) \div 8 = 0.068$	$(0.010+0.078+0.009+0.358+0.014+0.176+0.067+0.191) \div 8 = 0.113$	$(0.154+0.131+0.322+0.154+0.014+0.012+0.022+0.064) \div 8 = 0.109$	

El último paso es emitir la comprobación del promedio llevando a cabo la sumatoria del renglón correspondiente.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 5

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.031	0.215	0.006	0.154	0.215	0.215	0.010	0.154	1.00
Certificaciones	0.056	0.392	0.078	0.131	0.078	0.056	0.078	0.131	1.00
Conformabilidad	0.230	0.230	0.046	0.009	0.138	0.015	0.009	0.322	1.00
No genere merma	0.010	0.154	0.256	0.051	0.007	0.010	0.358	0.154	1.00
Ligero	0.010	0.357	0.024	0.499	0.071	0.010	0.014	0.014	1.00
Espesor	0.005	0.246	0.105	0.176	0.246	0.035	0.176	0.012	1.00
fácil de trabajar	0.202	0.336	0.013	0.010	0.336	0.013	0.067	0.022	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.013	0.191	0.009	0.021	0.319	0.191	0.191	0.064	1.00
Promedio [%]	0.070	0.265	0.067	0.131	0.176	0.068	0.113	0.109	1.00

Matriz 6

Matriz de comparación inicializada 6

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1							
Certificaciones	7	1						
Conformabilidad	1/5	7	1					
No genere merma	5	5	5	1				
Ligero	1/5	5	1/3	1/7	1			
Espesor	3	7	5	3	7	1		
Fácil de trabajar	1/7	7	3	1/5	5	1/3	1	
Durabilidad en condiciones ambientales	5	5	5	3	5	3	9	1

Colocando el valor inverso de los valores obtenidos.

Matriz de comparación pareada 6

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	1/7	5	1/5	5	1/3	7	1/5
Certificaciones	7	1	1/7	1/5	1/5	1/7	1/7	1/5
Conformabilidad	1/5	7	1	1/5	3	1/5	1/3	1/5
No genere merma	5	5	5	1	7	1/3	5	1/3
Ligero	1/5	5	1/3	1/7	1	1/7	1/5	1/5
Espesor	3	7	5	3	7	1	3	1/3
Fácil de trabajar	1/7	7	3	1/5	5	1/3	1	1/9
Durabilidad en condiciones ambientales	5	5	5	3	5	3	9	1

Se realiza la normalización de la matriz pareada. Se obtiene la sumatoria de los renglones de la matriz.

Precio competitivo	$1 + 1/7 + 5 + 1/5 + 5 + 1/3 + 7 + 1/5 = 18.88$
Certificaciones	$7 + 1 + 1/7 + 1/5 + 1/5 + 1/7 + 1/7 + 1/5 = 9.03$
Conformabilidad	$1/5 + 7 + 1 + 1/5 + 3 + 1/5 + 1/3 + 1/5 = 12.13$
No genere merma	$5 + 5 + 5 + 1 + 7 + 1/3 + 5 + 1/3 = 28.67$
Ligero	$1/5 + 5 + 1/3 + 1/7 + 1 + 1/7 + 1/5 + 1/5 = 7.22$
Espesor	$3 + 7 + 5 + 3 + 7 + 1 + 3 + 1/3 = 29.33$
fácil de trabajar	$1/7 + 7 + 3 + 1/5 + 5 + 1/3 + 1 + 1/9 = 16.79$
Durabilidad en condiciones ambientales	$5 + 5 + 5 + 3 + 5 + 3 + 9 + 1 = 36.00$

Registrando los valores en la columna de sumatoria la matriz queda de la siguiente forma:

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 6

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	1	1/7	5	1/5	5	1/3	7	1/5	18.88
Certificaciones	7	1	1/7	1/5	1/5	1/7	1/7	1/5	9.03
Conformabilidad	1/5	7	1	1/5	3	1/5	1/3	1/5	12.13
No genere merma	5	5	5	1	7	1/3	5	1/3	28.67
Ligero	1/5	5	1/3	1/7	1	1/7	1/5	1/5	7.22
Espesor	3	7	5	3	7	1	3	1/3	29.33
fácil de trabajar	1/7	7	3	1/5	5	1/3	1	1/9	16.79
Durabilidad en condiciones ambientales	5	5	5	3	5	3	9	1	36.00
Promedio [%]									

Para obtener el promedio lo primero es dividir cada uno de los valores de los renglones entre el resultado de la sumatoria.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	$1 \div 18.88 = 0.053$	$1/7 \div 18.88 = 0.008$	$5 \div 18.88 = 0.265$	$1/5 \div 18.88 = 0.011$	$5 \div 18.88 = 0.265$	$1/3 \div 18.88 = 0.018$	$7 \div 18.88 = 0.371$	$1/5 \div 18.88 = 0.011$	18.88
Certificaciones	$7 \div 9.03 = 0.775$	$1 \div 9.03 = 0.111$	$1/7 \div 9.03 = 0.016$	$1/5 \div 9.03 = 0.022$	$1/5 \div 9.03 = 0.022$	$1/7 \div 9.03 = 0.016$	$1/7 \div 9.03 = 0.016$	$1/5 \div 9.03 = 0.022$	9.03
Conformabilidad	$1/5 \div 12.13 = 0.016$	$7 \div 12.13 = 0.577$	$1 \div 12.13 = 0.082$	$1/5 \div 12.13 = 0.016$	$3 \div 12.13 = 0.247$	$1/5 \div 12.13 = 0.016$	$1/3 \div 12.13 = 0.027$	$1/5 \div 12.13 = 0.016$	12.13
No genere merma	$5 \div 28.67 = 0.174$	$5 \div 28.67 = 0.174$	$5 \div 28.67 = 0.174$	$1 \div 28.67 = 0.035$	$7 \div 28.67 = 0.244$	$1/3 \div 28.67 = 0.012$	$5 \div 28.67 = 0.174$	$1/3 \div 28.67 = 0.012$	28.67
Ligero	$1/5 \div 7.22 = 0.028$	$5 \div 7.22 = 0.693$	$1/3 \div 7.22 = 0.046$	$1/7 \div 7.22 = 0.020$	$1 \div 7.22 = 0.139$	$1/7 \div 7.22 = 0.020$	$1/5 \div 7.22 = 0.028$	$1/5 \div 7.22 = 0.028$	7.22
Espesor	$3 \div 29.33 = 0.102$	$7 \div 29.33 = 0.239$	$5 \div 29.33 = 0.170$	$3 \div 29.33 = 0.102$	$7 \div 29.33 = 0.239$	$1 \div 29.33 = 0.034$	$3 \div 29.33 = 0.102$	$1/3 \div 29.33 = 0.011$	29.33
fácil de trabajar	$1/7 \div 16.79 = 0.009$	$7 \div 16.79 = 0.417$	$3 \div 16.79 = 0.179$	$1/5 \div 16.79 = 0.012$	$5 \div 16.79 = 0.298$	$1/3 \div 16.79 = 0.020$	$1 \div 16.79 = 0.060$	$1/9 \div 16.79 = 0.007$	16.79
Durabilidad en condiciones ambientales	$5 \div 36.00 = 0.139$	$5 \div 36.00 = 0.139$	$5 \div 36.00 = 0.139$	$3 \div 36.00 = 0.083$	$5 \div 36.00 = 0.139$	$3 \div 36.00 = 0.083$	$9 \div 36.00 = 0.250$	$1 \div 36.00 = 0.028$	36.00
Promedio [%]									

Para llevar a cabo la comprobación de este cálculo se debe hacer la sumatoria por renglón de los valores obtenidos, y en todos los casos el resultado deberá ser igual a 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 6

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.053	0.008	0.265	0.011	0.265	0.018	0.371	0.011	1.00
Certificaciones	0.775	0.111	0.016	0.022	0.022	0.016	0.016	0.022	1.00
Conformabilidad	0.016	0.577	0.082	0.016	0.247	0.016	0.027	0.016	1.00
No genere merma	0.174	0.174	0.174	0.035	0.244	0.012	0.174	0.012	1.00
Ligero	0.028	0.693	0.046	0.020	0.139	0.020	0.028	0.028	1.00
Espesor	0.102	0.239	0.170	0.102	0.239	0.034	0.102	0.011	1.00
fácil de trabajar	0.009	0.417	0.179	0.012	0.298	0.020	0.060	0.007	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.139	0.139	0.139	0.083	0.139	0.083	0.250	0.028	1.00
Promedio [%]									

Ahora se hace la sumatoria por **columna** de los resultados obtenidos.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	0.053	0.008	0.265	0.011	0.265	0.018	0.371	0.011	1.00
Certificaciones	0.775	0.111	0.016	0.022	0.022	0.016	0.016	0.022	1.00
Conformabilidad	0.016	0.577	0.082	0.016	0.247	0.016	0.027	0.016	1.00
No genere merma	0.174	0.174	0.174	0.035	0.244	0.012	0.174	0.012	1.00
Ligero	0.028	0.693	0.046	0.020	0.139	0.020	0.028	0.028	1.00
Espesor	0.102	0.239	0.170	0.102	0.239	0.034	0.102	0.011	1.00
fácil de trabajar	0.009	0.417	0.179	0.012	0.298	0.020	0.060	0.007	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.139	0.139	0.139	0.083	0.139	0.083	0.250	0.028	1.00
Promedio [%]	$(0.053+0.775+0.016+0.174+0.028+0.102+0.009+0.139) \div 8 = 0.162$	$(0.008+0.111+0.577+0.174+0.693+0.239+0.417+0.139) \div 8 = 0.295$	$(0.265+0.016+0.082+0.174+0.046+0.170+0.179+0.139) \div 8 = 0.134$	$(0.011+0.022+0.016+0.035+0.020+0.102+0.012+0.083) \div 8 = 0.038$	$(0.265+0.022+0.247+0.244+0.139+0.239+0.298+0.139) \div 8 = 0.199$	$(0.018+0.016+0.016+0.012+0.020+0.034+0.020+0.083) \div 8 = 0.027$	$(0.371+0.016+0.027+0.174+0.028+0.102+0.060+0.250) \div 8 = 0.129$	$(0.011+0.022+0.016+0.012+0.028+0.011+0.007+0.028) \div 8 = 0.017$	

El último paso es emitir la comprobación del promedio llevando a cabo la sumatoria del renglón correspondiente.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 6

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.053	0.008	0.265	0.011	0.265	0.018	0.371	0.011	1.00
Certificaciones	0.775	0.111	0.016	0.022	0.022	0.016	0.016	0.022	1.00
Conformabilidad	0.016	0.577	0.082	0.016	0.247	0.016	0.027	0.016	1.00
No genere merma	0.174	0.174	0.174	0.035	0.244	0.012	0.174	0.012	1.00
Ligero	0.028	0.693	0.046	0.020	0.139	0.020	0.028	0.028	1.00
Espesor	0.102	0.239	0.170	0.102	0.239	0.034	0.102	0.011	1.00
fácil de trabajar	0.009	0.417	0.179	0.012	0.298	0.020	0.060	0.007	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.139	0.139	0.139	0.083	0.139	0.083	0.250	0.028	1.00
Promedio [%]	0.162	0.295	0.134	0.038	0.199	0.027	0.129	0.017	1.00

Matriz 7

Matriz de comparación inicializada 7

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1							
Certificaciones	1/7	1						
Conformabilidad	3	7	1					
No genere merma	3	5	3	1				
Ligero	1/7	5	3	1	1			
Espesor	3	7	1	5	5	1		
Fácil de trabajar	1/7	7	3	1/5	5	1/3	1	
Durabilidad en condiciones ambientales	1/3	5	1	1/3	3.00	1/3	1/3	1

Colocando el valor inverso de los valores obtenidos.

Matriz de comparación pareada 7

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	7	1/3	1/3	7	1/3	7	3
Certificaciones	1/7	1	1/7	1/5	1/5	1/7	1/7	1/5
Conformabilidad	3	7	1	1/3	1/3	1	1/3	1
No genere merma	3	5	3	1	1	1/5	5	3
Ligero	1/7	5	3	1	1	1/5	1/5	1/3
Espesor	3	7	1	5	5	1	3	3
Fácil de trabajar	1/7	7	3	1/5	5	1/3	1	3
Durabilidad en condiciones ambientales	1/3	5	1	1/3	3.00	1/3	1/3	1

Se realiza la normalización de la matriz pareada. Se obtiene la sumatoria de los renglones de la matriz.

Precio competitivo	$1 + 7 + 1/3 + 1/3 + 7 + 1/3 + 7 + 3 = 26.00$
Certificaciones	$1/7 + 1 + 1/7 + 1/5 + 1/5 + 1/7 + 1/7 + 1/5 = 2.17$
Conformabilidad	$3 + 7 + 1 + 1/3 + 1/3 + 1 + 1/3 + 1 = 14.00$
No genere merma	$3 + 5 + 3 + 1 + 1 + 1/5 + 5 + 3 = 21.20$
Ligero	$1/7 + 5 + 3 + 1 + 1 + 1/5 + 1/5 + 1/3 = 10.88$
Espesor	$3 + 7 + 1 + 5 + 5 + 1 + 3 + 3 = 28.00$
fácil de trabajar	$1/7 + 7 + 3 + 1/5 + 5 + 1/3 + 1 + 3 = 19.68$
Durabilidad en condiciones ambientales	$1/3 + 5 + 1 + 1/3 + 3 + 1/3 + 1/3 + 1 = 11.33$

Registrando los valores en la columna de sumatoria la matriz queda de la siguiente forma:

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 7

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	1	7	1/3	1/3	7	1/3	7	3	26.00
Certificaciones	1/7	1	1/7	1/5	1/5	1/7	1/7	1/5	2.17
Conformabilidad	3	7	1	1/3	1/3	1	1/3	1	14.00
No genere merma	3	5	3	1	1	1/5	5	3	21.20
Ligero	1/7	5	3	1	1	1/5	1/5	1/3	10.88
Espesor	3	7	1	5	5	1	3	3	28.00
fácil de trabajar	1/7	7	3	1/5	5	1/3	1	3	19.68
Durabilidad en condiciones ambientales	1/3	5	1	1/3	3	1/3	1/3	1	11.33
Promedio [%]									

Para obtener el promedio lo primero es dividir cada uno de los valores de los renglones entre el resultado de la sumatoria.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	$1 \div 26.00 = 0.038$	$7 \div 26.00 = 0.269$	$1/3 \div 26.00 = 0.013$	$1/3 \div 26.00 = 0.013$	$7 \div 26.00 = 0.269$	$1/3 \div 26.00 = 0.013$	$7 \div 26.00 = 0.269$	$3 \div 26.00 = 0.115$	26.00
Certificaciones	$1/7 \div 2.17 = 0.066$	$1 \div 2.17 = 0.461$	$1/7 \div 2.17 = 0.066$	$1/5 \div 2.17 = 0.092$	$1/5 \div 2.17 = 0.092$	$1/7 \div 2.17 = 0.066$	$1/7 \div 2.17 = 0.066$	$1/5 \div 2.17 = 0.092$	2.17
Conformabilidad	$3 \div 14.00 = 0.214$	$7 \div 14.00 = 0.500$	$1 \div 14.00 = 0.071$	$1/3 \div 14.00 = 0.024$	$1/3 \div 14.00 = 0.024$	$1 \div 14.00 = 0.071$	$1/3 \div 14.00 = 0.024$	$1 \div 14.00 = 0.071$	14.00
No genere merma	$3 \div 21.20 = 0.142$	$5 \div 21.20 = 0.236$	$3 \div 21.20 = 0.142$	$1 \div 21.20 = 0.047$	$1 \div 21.20 = 0.047$	$1/5 \div 21.20 = 0.009$	$5 \div 21.20 = 0.236$	$3 \div 21.20 = 0.142$	21.20
Ligero	$1/7 \div 10.88 = 0.013$	$5 \div 10.88 = 0.460$	$3 \div 10.88 = 0.276$	$1 \div 10.88 = 0.092$	$1 \div 10.88 = 0.092$	$1/5 \div 10.88 = 0.018$	$1/5 \div 10.88 = 0.018$	$1/3 \div 10.88 = 0.031$	10.88
Espesor	$3 \div 28.00 = 0.107$	$7 \div 28.00 = 0.250$	$1 \div 28.00 = 0.036$	$5 \div 28.00 = 0.179$	$5 \div 28.00 = 0.179$	$1 \div 28.00 = 0.036$	$3 \div 28.00 = 0.107$	$3 \div 28.00 = 0.107$	28.00
fácil de trabajar	$1/7 \div 19.68 = 0.007$	$7 \div 19.68 = 0.356$	$3 \div 19.68 = 0.152$	$1/5 \div 19.68 = 0.010$	$5 \div 19.68 = 0.254$	$1/3 \div 19.68 = 0.017$	$1 \div 19.68 = 0.051$	$3 \div 19.68 = 0.152$	19.68
Durabilidad en condiciones ambientales	$1/3 \div 11.33 = 0.029$	$5 \div 11.33 = 0.441$	$1 \div 11.33 = 0.088$	$1/3 \div 11.33 = 0.029$	$3 \div 11.33 = 0.265$	$1/3 \div 11.33 = 0.029$	$1/3 \div 11.33 = 0.029$	$1 \div 11.33 = 0.088$	11.33
Promedio [%]									

Para llevar a cabo la comprobación de este cálculo se debe hacer la sumatoria por renglón de los valores obtenidos, y en todos los casos el resultado deberá ser igual a 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 7

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.038	0.269	0.013	0.013	0.269	0.013	0.269	0.115	1.00
Certificaciones	0.066	0.461	0.066	0.092	0.092	0.066	0.066	0.092	1.00
Conformabilidad	0.214	0.500	0.071	0.024	0.024	0.071	0.024	0.071	1.00
No genere merma	0.142	0.236	0.142	0.047	0.047	0.009	0.236	0.142	1.00
Ligero	0.013	0.460	0.276	0.092	0.092	0.018	0.018	0.031	1.00
Espesor	0.107	0.250	0.036	0.179	0.179	0.036	0.107	0.107	1.00
fácil de trabajar	0.007	0.356	0.152	0.010	0.254	0.017	0.051	0.152	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.029	0.441	0.088	0.029	0.265	0.029	0.029	0.088	1.00
Promedio [%]									

Ahora se hace la sumatoria por **columna** de los resultados obtenidos.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	0.038	0.269	0.013	0.013	0.269	0.013	0.269	0.115	1.00
Certificaciones	0.066	0.461	0.066	0.092	0.092	0.066	0.066	0.092	1.00
Conformabilidad	0.214	0.500	0.071	0.024	0.024	0.071	0.024	0.071	1.00
No genere merma	0.142	0.236	0.142	0.047	0.047	0.009	0.236	0.142	1.00
Ligero	0.013	0.460	0.276	0.092	0.092	0.018	0.018	0.031	1.00
Espesor	0.107	0.250	0.036	0.179	0.179	0.036	0.107	0.107	1.00
fácil de trabajar	0.007	0.356	0.152	0.010	0.254	0.017	0.051	0.152	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.029	0.441	0.088	0.029	0.265	0.029	0.029	0.088	1.00
Promedio [%]	$(0.053+0.775+0.016+0.174+0.028+0.102+0.009+0.139) \div 8 = 0.162$	$(0.008+0.111+0.577+0.174+0.693+0.239+0.417+0.139) \div 8 = 0.295$	$(0.265+0.016+0.082+0.174+0.046+0.170+0.179+0.139) \div 8 = 0.134$	$(0.011+0.022+0.016+0.035+0.020+0.102+0.012+0.083) \div 8 = 0.038$	$(0.265+0.022+0.247+0.244+0.139+0.239+0.298+0.139) \div 8 = 0.199$	$(0.018+0.016+0.016+0.012+0.020+0.034+0.020+0.083) \div 8 = 0.027$	$(0.371+0.016+0.027+0.174+0.028+0.102+0.060+0.250) \div 8 = 0.129$	$(0.011+0.022+0.016+0.012+0.028+0.011+0.007+0.028) \div 8 = 0.017$	

El último paso es emitir la comprobación del promedio llevando a cabo la sumatoria del renglón correspondiente.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 7

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.038	0.269	0.013	0.013	0.269	0.013	0.269	0.115	1.00
Certificaciones	0.066	0.461	0.066	0.092	0.092	0.066	0.066	0.092	1.00
Conformabilidad	0.214	0.500	0.071	0.024	0.024	0.071	0.024	0.071	1.00
No genere merma	0.142	0.236	0.142	0.047	0.047	0.009	0.236	0.142	1.00
Ligero	0.013	0.460	0.276	0.092	0.092	0.018	0.018	0.031	1.00
Espesor	0.107	0.250	0.036	0.179	0.179	0.036	0.107	0.107	1.00
fácil de trabajar	0.007	0.356	0.152	0.010	0.254	0.017	0.051	0.152	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.029	0.441	0.088	0.029	0.265	0.029	0.029	0.088	1.00
Promedio [%]	0.077	0.372	0.105	0.061	0.153	0.032	0.100	0.100	1.00

Matriz 8

Matriz de comparación inicializada 8

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1							
Certificaciones	1/9	1						
Conformabilidad	3	7	1					
No genere merma	3	9	5	1				
Ligero	1/5	5	1	1/7	1			
Espesor	3	9	5	3	7	1		
Fácil de trabajar	1/7	7	3	1/5	3	1/7	1	
Durabilidad en condiciones ambientales	3	5	3	5	5	1/3	3	1

Colocando el valor inverso de los valores obtenidos.

Matriz de comparación pareada 8

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	9	1/3	1/3	5	1/3	7	1/3
Certificaciones	1/9	1	1/7	1/9	1/5	1/9	1/7	1/5
Conformabilidad	3	7	1	1/5	1	1/5	1/3	1/3
No genere merma	3	9	5	1	7	1/3	5	1/5
Ligero	1/5	5	1	1/7	1	1/7	1/3	1/5
Espesor	3	9	5	3	7	1	7	3
Fácil de trabajar	1/7	7	3	1/5	3	1/7	1	1/3
Durabilidad en condiciones ambientales	3	5	3	5	5	1/3	3	1

Se realiza la normalización de la matriz pareada. Se obtiene la sumatoria de los renglones de la matriz.

Precio competitivo	$1 + 9 + 1/3 + 1/3 + 5 + 1/3 + 7 + 1/3 = 23.33$
Certificaciones	$1/9 + 1 + 1/7 + 1/9 + 1/5 + 1/9 + 1/7 + 1/5 = 2.02$
Conformabilidad	$3 + 7 + 1 + 1/5 + 1 + 1/5 + 1/3 + 1/3 = 13.07$
No genere merma	$3 + 9 + 5 + 1 + 7 + 1/3 + 5 + 1/5 = 30.53$
Ligero	$1/5 + 5 + 1 + 1/7 + 1 + 1/7 + 1/3 + 1/5 = 8.02$
Espesor	$3 + 9 + 5 + 3 + 7 + 1 + 7 + 3 = 38.00$
fácil de trabajar	$1/7 + 7 + 3 + 1/5 + 3 + 1/7 + 1 + 1/3 = 14.82$
Durabilidad en condiciones ambientales	$3 + 5 + 3 + 5 + 5 + 1/3 + 3 + 1 = 25.33$

Registrando los valores en la columna de sumatoria la matriz queda de la siguiente forma:

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 8

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	1	9	1/3	1/3	5	1/3	7	1/3	23.33
Certificaciones	1/9	1	1/7	1/9	1/5	1/9	1/7	1/5	2.02
Conformabilidad	3	7	1	1/5	1	1/5	1/3	1/3	13.07
No genere merma	3	9	5	1	7	1/3	5	1/5	30.53
Ligero	1/5	5	1	1/7	1	1/7	1/3	1/5	8.02
Espesor	3	9	5	3	7	1	7	3	38.00
fácil de trabajar	1/7	7	3	1/5	3	1/7	1	1/3	14.82
Durabilidad en condiciones ambientales	3	5	3	5	5	1/3	3	1	25.33
Promedio [%]									

Para obtener el promedio lo primero es dividir cada uno de los valores de los renglones entre el resultado de la sumatoria.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	$1 \div 23.33 = 0.043$	$9 \div 23.33 = 0.386$	$1/3 \div 23.33 = 0.014$	$1/3 \div 23.33 = 0.014$	$5 \div 23.33 = 0.214$	$1/3 \div 23.33 = 0.014$	$7 \div 23.33 = 0.300$	$1/3 \div 23.33 = 0.014$	23.33
Certificaciones	$1/9 \div 2.02 = 0.055$	$1 \div 2.02 = 0.495$	$1/7 \div 2.02 = 0.071$	$1/9 \div 2.02 = 0.055$	$1/5 \div 2.02 = 0.099$	$1/9 \div 2.02 = 0.055$	$1/7 \div 2.02 = 0.071$	$1/5 \div 2.02 = 0.099$	2.02
Conformabilidad	$3 \div 13.07 = 0.230$	$7 \div 13.07 = 0.536$	$1 \div 13.07 = 0.077$	$1/5 \div 13.07 = 0.015$	$1 \div 13.07 = 0.077$	$1/5 \div 13.07 = 0.015$	$1/3 \div 13.07 = 0.026$	$1/3 \div 13.07 = 0.026$	13.07
No genere merma	$3 \div 30.53 = 0.098$	$9 \div 30.53 = 0.295$	$5 \div 30.53 = 0.164$	$1 \div 30.53 = 0.033$	$7 \div 30.53 = 0.229$	$1/3 \div 30.53 = 0.011$	$5 \div 30.53 = 0.164$	$1/5 \div 30.53 = 0.007$	30.53
Ligero	$1/5 \div 8.02 = 0.025$	$5 \div 8.02 = 0.624$	$1 \div 8.02 = 0.125$	$1/7 \div 8.02 = 0.018$	$1 \div 8.02 = 0.125$	$1/7 \div 8.02 = 0.018$	$1/3 \div 8.02 = 0.042$	$1/5 \div 8.02 = 0.025$	8.02
Espesor	$3 \div 38.00 = 0.079$	$9 \div 38.00 = 0.237$	$5 \div 38.00 = 0.132$	$3 \div 38.00 = 0.079$	$7 \div 38.00 = 0.184$	$1 \div 38.00 = 0.026$	$7 \div 38.00 = 0.184$	$3 \div 38.00 = 0.079$	38.00
fácil de trabajar	$1/7 \div 14.82 = 0.010$	$7 \div 14.82 = 0.472$	$3 \div 14.82 = 0.202$	$1/5 \div 14.82 = 0.013$	$3 \div 14.82 = 0.202$	$1/7 \div 14.82 = 0.010$	$1 \div 14.82 = 0.067$	$1/3 \div 14.82 = 0.022$	14.82
Durabilidad en condiciones ambientales	$3 \div 25.33 = 0.118$	$5 \div 25.33 = 0.197$	$3 \div 25.33 = 0.118$	$5 \div 25.33 = 0.197$	$5 \div 25.33 = 0.197$	$1/3 \div 25.33 = 0.013$	$3 \div 25.33 = 0.118$	$1 \div 25.33 = 0.039$	25.33
Promedio [%]									

Para llevar a cabo la comprobación de este cálculo se debe hacer la sumatoria por renglón de los valores obtenidos, y en todos los casos el resultado deberá ser igual a 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 8

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.043	0.386	0.014	0.014	0.214	0.014	0.300	0.014	1.00
Certificaciones	0.055	0.495	0.071	0.055	0.099	0.055	0.071	0.099	1.00
Conformabilidad	0.230	0.536	0.077	0.015	0.077	0.015	0.026	0.026	1.00
No genere merma	0.098	0.295	0.164	0.033	0.229	0.011	0.164	0.007	1.00
Ligero	0.025	0.624	0.125	0.018	0.125	0.018	0.042	0.025	1.00
Espesor	0.079	0.237	0.132	0.079	0.184	0.026	0.184	0.079	1.00
fácil de trabajar	0.010	0.472	0.202	0.013	0.202	0.010	0.067	0.022	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.118	0.197	0.118	0.197	0.197	0.013	0.118	0.039	1.00
Promedio [%]									

Ahora se hace la sumatoria por **columna** de los resultados obtenidos.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	0.043	0.386	0.014	0.014	0.214	0.014	0.300	0.014	1.00
Certificaciones	0.055	0.495	0.071	0.055	0.099	0.055	0.071	0.099	1.00
Conformabilidad	0.230	0.536	0.077	0.015	0.077	0.015	0.026	0.026	1.00
No genere merma	0.098	0.295	0.164	0.033	0.229	0.011	0.164	0.007	1.00
Ligero	0.025	0.624	0.125	0.018	0.125	0.018	0.042	0.025	1.00
Espesor	0.079	0.237	0.132	0.079	0.184	0.026	0.184	0.079	1.00
fácil de trabajar	0.010	0.472	0.202	0.013	0.202	0.010	0.067	0.022	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.118	0.197	0.118	0.197	0.197	0.013	0.118	0.039	1.00
Promedio [%]	$(0.043+0.055+0.230+0.098+0.025+0.079+0.010+0.118) \div 8 = 0.082$	$(0.386+0.495+0.536+0.295+0.624+0.237+0.472+0.197) \div 8 = 0.405$	$(0.014+0.071+0.077+0.164+0.125+0.132+0.202+0.118) \div 8 = 0.113$	$(0.014+0.055+0.015+0.033+0.018+0.079+0.013+0.197) \div 8 = 0.053$	$(0.214+0.099+0.077+0.229+0.125+0.184+0.202+0.197) \div 8 = 0.166$	$(0.014+0.055+0.015+0.011+0.018+0.026+0.164+0.042+0.184+0.010+0.013) \div 8 = 0.020$	$(0.300+0.071+0.026+0.164+0.042+0.184+0.067+0.118) \div 8 = 0.121$	$(0.014+0.099+0.026+0.007+0.025+0.079+0.022+0.039) \div 8 = 0.039$	

El último paso es emitir la comprobación del promedio llevando a cabo la sumatoria del renglón correspondiente.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 8

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.043	0.386	0.014	0.014	0.214	0.014	0.300	0.014	1.00
Certificaciones	0.055	0.495	0.071	0.055	0.099	0.055	0.071	0.099	1.00
Conformabilidad	0.230	0.536	0.077	0.015	0.077	0.015	0.026	0.026	1.00
No genere merma	0.098	0.295	0.164	0.033	0.229	0.011	0.164	0.007	1.00
Ligero	0.025	0.624	0.125	0.018	0.125	0.018	0.042	0.025	1.00
Espesor	0.079	0.237	0.132	0.079	0.184	0.026	0.184	0.079	1.00
fácil de trabajar	0.010	0.472	0.202	0.013	0.202	0.010	0.067	0.022	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.118	0.197	0.118	0.197	0.197	0.013	0.118	0.039	1.00
Promedio [%]	0.082	0.405	0.113	0.053	0.166	0.020	0.121	0.039	1.00

Matriz 9

Matriz de comparación inicializada 9

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1							
Certificaciones	1/5	1						
Conformabilidad	1/3	7	1					
No genere merma	5	5	5	1				
Ligero	1/7	5	1	1/5	1			
Espesor	3	5	5	7	1	1		
Fácil de trabajar	5	3	1	1/5	3	1/5	1	
Durabilidad en condiciones ambientales	1/3	7	7	7	7	1/3	3	1

Colocando el valor inverso de los valores obtenidos.

Matriz de comparación pareada 9

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	5	3	1/5	7	1/3	1/5	3
Certificaciones	1/5	1	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/7
Conformabilidad	1/3	7	1	1/5	1	1/5	1	1/7
No genere merma	5	5	5	1	5	1/7	5	1/7
Ligero	1/7	5	1	1/5	1	1	1/3	1/7
Espesor	3	5	5	7	1	1	5	3
Fácil de trabajar	5	3	1	1/5	3	1/5	1	1/3
Durabilidad en condiciones ambientales	1/3	7	7	7	7	1/3	3	1

Se realiza la normalización de la matriz pareada. Se obtiene la sumatoria de los renglones de la matriz.

Precio competitivo	$1 + 5 + 3 + 1/5 + 7 + 1/3 + 1/5 + 3 = 19.73$
Certificaciones	$1/5 + 1 + 1/7 + 1/5 + 1/5 + 1/5 + 1/3 + 1/7 = 2.42$
Conformabilidad	$1/3 + 7 + 1 + 1/5 + 1 + 1/5 + 1 + 1/7 = 10.88$
No genere merma	$5 + 5 + 5 + 1 + 5 + 1/7 + 5 + 1/7 = 26.29$
Ligero	$1/7 + 5 + 1 + 1/5 + 1 + 1 + 1/3 + 1/7 = 8.82$
Espesor	$3 + 5 + 5 + 7 + 1 + 1 + 5 + 3 = 30.00$
fácil de trabajar	$5 + 3 + 1 + 1/5 + 3 + 1/5 + 1 + 1/3 = 13.73$
Durabilidad en condiciones ambientales	$1/3 + 7 + 7 + 7 + 7 + 1/3 + 3 + 1 = 32.67$

Registrando los valores en la columna de sumatoria la matriz queda de la siguiente forma:

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 9

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	1	5	3	1/5	7	1/3	1/5	3	19.73
Certificaciones	1/5	1	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/7	2.42
Conformabilidad	1/3	7	1	1/5	1	1/5	1	1/7	10.88
No genere merma	5	5	5	1	5	1/7	5	1/7	26.29
Ligero	1/7	5	1	1/5	1	1	1/3	1/7	8.82
Espesor	3	5	5	7	1	1	5	3	30.00
fácil de trabajar	5	3	1	1/5	3	1/5	1	1/3	13.73
Durabilidad en condiciones ambientales	1/3	7	7	7	7	1/3	3	1	32.67
Promedio [%]									

Para obtener el promedio lo primero es dividir cada uno de los valores de los renglones entre el resultado de la sumatoria.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	$1 \div 19.73 = 0.051$	$5 \div 19.73 = 0.253$	$3 \div 19.73 = 0.152$	$1/5 \div 19.73 = 0.010$	$7 \div 19.73 = 0.355$	$1/3 \div 19.73 = 0.017$	$1/5 \div 19.73 = 0.010$	$3 \div 19.73 = 0.152$	19.73
Certificaciones	$1/5 \div 2.42 = 0.083$	$1 \div 2.42 = 0.413$	$1/7 \div 2.42 = 0.059$	$1/5 \div 2.42 = 0.083$	$1/5 \div 2.42 = 0.083$	$1/5 \div 2.42 = 0.083$	$1/3 \div 2.42 = 0.138$	$1/7 \div 2.42 = 0.059$	2.42
Conformabilidad	$1/3 \div 10.88 = 0.031$	$7 \div 10.88 = 0.644$	$1 \div 10.88 = 0.092$	$1/5 \div 10.88 = 0.018$	$1 \div 10.88 = 0.092$	$1/5 \div 10.88 = 0.018$	$1 \div 10.88 = 0.092$	$1/7 \div 10.88 = 0.013$	10.88
No genere merma	$5 \div 26.29 = 0.190$	$5 \div 26.29 = 0.190$	$5 \div 26.29 = 0.190$	$1 \div 26.29 = 0.038$	$5 \div 26.29 = 0.190$	$1/7 \div 26.29 = 0.005$	$5 \div 26.29 = 0.190$	$1/7 \div 26.29 = 0.005$	26.29
Ligero	$1/7 \div 8.82 = 0.016$	$5 \div 8.82 = 0.567$	$1 \div 8.82 = 0.113$	$1/5 \div 8.82 = 0.023$	$1 \div 8.82 = 0.113$	$1 \div 8.82 = 0.113$	$1/3 \div 8.82 = 0.038$	$1/7 \div 8.82 = 0.016$	8.82
Espesor	$3 \div 30.00 = 0.100$	$5 \div 30.00 = 0.167$	$5 \div 30.00 = 0.167$	$7 \div 30.00 = 0.233$	$1 \div 30.00 = 0.033$	$1 \div 30.00 = 0.033$	$5 \div 30.00 = 0.167$	$3 \div 30.00 = 0.100$	30.00
fácil de trabajar	$5 \div 13.73 = 0.364$	$3 \div 13.73 = 0.218$	$1 \div 13.73 = 0.073$	$1/5 \div 13.73 = 0.015$	$3 \div 13.73 = 0.218$	$1/5 \div 13.73 = 0.015$	$1 \div 13.73 = 0.073$	$1/3 \div 13.73 = 0.024$	13.73
Durabilidad en condiciones ambientales	$1/3 \div 32.67 = 0.010$	$7 \div 32.67 = 0.214$	$7 \div 32.67 = 0.214$	$7 \div 32.67 = 0.214$	$7 \div 32.67 = 0.214$	$1/3 \div 32.67 = 0.010$	$3 \div 32.67 = 0.092$	$1 \div 32.67 = 0.031$	32.67
Promedio [%]									

Para llevar a cabo la comprobación de este cálculo se debe hacer la sumatoria por renglón de los valores obtenidos, y en todos los casos el resultado deberá ser igual a 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 9

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.051	0.253	0.152	0.010	0.355	0.017	0.010	0.152	1.00
Certificaciones	0.083	0.413	0.059	0.083	0.083	0.083	0.138	0.059	1.00
Conformabilidad	0.031	0.644	0.092	0.018	0.092	0.018	0.092	0.013	1.00
No genere merma	0.190	0.190	0.190	0.038	0.190	0.005	0.190	0.005	1.00
Ligero	0.016	0.567	0.113	0.023	0.113	0.113	0.038	0.016	1.00
Espesor	0.100	0.167	0.167	0.233	0.033	0.033	0.167	0.100	1.00
fácil de trabajar	0.364	0.218	0.073	0.015	0.218	0.015	0.073	0.024	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.010	0.214	0.214	0.214	0.214	0.010	0.092	0.031	1.00
Promedio [%]									

Ahora se hace la sumatoria por **columna** de los resultados obtenidos.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	0.051	0.253	0.152	0.010	0.355	0.017	0.010	0.152	1.00
Certificaciones	0.083	0.413	0.059	0.083	0.083	0.083	0.138	0.059	1.00
Conformabilidad	0.031	0.644	0.092	0.018	0.092	0.018	0.092	0.013	1.00
No genere merma	0.190	0.190	0.190	0.038	0.190	0.005	0.190	0.005	1.00
Ligero	0.016	0.567	0.113	0.023	0.113	0.113	0.038	0.016	1.00
Espesor	0.100	0.167	0.167	0.233	0.033	0.033	0.167	0.100	1.00
fácil de trabajar	0.364	0.218	0.073	0.015	0.218	0.015	0.073	0.024	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.010	0.214	0.214	0.214	0.214	0.010	0.092	0.031	1.00
Promedio [%]	$(0.051+0.083+0.031+0.190+0.016+0.100+0.364+0.010) \div 8 = 0.106$	$(0.253+0.413+0.644+0.190+0.567+0.167+0.218+0.214) \div 8 = 0.333$	$(0.152+0.059+0.092+0.190+0.113+0.167+0.073+0.214) \div 8 = 0.133$	$(0.010+0.083+0.018+0.038+0.023+0.233+0.015+0.214) \div 8 = 0.079$	$(0.355+0.083+0.092+0.190+0.113+0.033+0.218+0.214) \div 8 = 0.162$	$(0.017+0.083+0.018+0.005+0.113+0.033+0.015+0.010) \div 8 = 0.037$	$(0.010+0.138+0.092+0.190+0.038+0.167+0.073+0.092) \div 8 = 0.100$	$(0.152+0.059+0.013+0.005+0.016+0.100+0.024+0.031) \div 8 = 0.050$	

El último paso es emitir la comprobación del promedio llevando a cabo la sumatoria del renglón correspondiente.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 9

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.051	0.253	0.152	0.010	0.355	0.017	0.010	0.152	1.00
Certificaciones	0.083	0.413	0.059	0.083	0.083	0.083	0.138	0.059	1.00
Conformabilidad	0.031	0.644	0.092	0.018	0.092	0.018	0.092	0.013	1.00
No genere merma	0.190	0.190	0.190	0.038	0.190	0.005	0.190	0.005	1.00
Ligero	0.016	0.567	0.113	0.023	0.113	0.113	0.038	0.016	1.00
Espesor	0.100	0.167	0.167	0.233	0.033	0.033	0.167	0.100	1.00
fácil de trabajar	0.364	0.218	0.073	0.015	0.218	0.015	0.073	0.024	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.010	0.214	0.214	0.214	0.214	0.010	0.092	0.031	1.00
Promedio [%]	0.106	0.333	0.133	0.079	0.162	0.037	0.100	0.050	1.00

Matriz 10

Matriz de comparación inicializada 10

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1							
Certificaciones	1/7	1						
Conformabilidad	1/3	7	1					
No genere merma	7	5	5	1				
Ligero	1/5	5	1/3	1/3	1			
Espesor	3	5	3	3	1	1		
Fácil de trabajar	1/3	3	1	1/3	3	1/5	1	
Durabilidad en condiciones ambientales	3	5	5	1/7	7	1/3	3	1

Colocando el valor inverso de los valores obtenidos.

Matriz de comparación pareada 10

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
Precio competitivo	1	7	3	1/7	5	1/3	3	1/3
Certificaciones	1/7	1	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3
Conformabilidad	1/3	7	1	1/5	3	1/3	1	1/5
No genere merma	7	5	5	1	3	1/3	3	7
Ligero	1/5	5	1/3	1/3	1	1	1/3	1/7
Espesor	3	5	3	3	1	1	5	3
Fácil de trabajar	1/3	3	1	1/3	3	1/5	1	1/3
Durabilidad en condiciones ambientales	3	5	5	1/7	7	1/3	3	1

Se realiza la normalización de la matriz pareada. Se obtiene la sumatoria de los renglones de la matriz.

Precio competitivo	$1 + 7 + 3 + 1/7 + 5 + 1/3 + 3 + 1/3 = 19.81$
Certificaciones	$1/7 + 1 + 1/7 + 1/5 + 1/5 + 1/5 + 1/3 + 1/3 = 2.55$
Conformabilidad	$1/3 + 7 + 1 + 1/5 + 3 + 1/3 + 1 + 1/5 = 13.07$
No genere merma	$7 + 5 + 5 + 1 + 3 + 1/3 + 3 + 7 = 31.33$
Ligero	$1/5 + 5 + 1/3 + 1/3 + 1 + 1 + 1/3 + 1/7 = 8.34$
Espesor	$3 + 5 + 3 + 3 + 1 + 1 + 5 + 3 = 24.00$
fácil de trabajar	$1/3 + 3 + 1 + 1/3 + 3 + 1/5 + 1 + 1/3 = 9.20$
Durabilidad en condiciones ambientales	$3 + 5 + 5 + 1/7 + 7 + 1/3 + 3 + 1 = 24.48$

Registrando los valores en la columna de sumatoria la matriz queda de la siguiente forma:

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 10

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	1	7	3	1/7	5	1/3	3	1/3	19.81
Certificaciones	1/7	1	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	2.55
Conformabilidad	1/3	7	1	1/5	3	1/3	1	1/5	13.07
No genere merma	7	5	5	1	3	1/3	3	7	31.33
Ligero	1/5	5	1/3	1/3	1	1	1/3	1/7	8.34
Espesor	3	5	3	3	1	1	5	3	24.00
fácil de trabajar	1/3	3	1	1/3	3	1/5	1	1/3	9.20
Durabilidad en condiciones ambientales	3	5	5	1/7	7	1/3	3	1	24.48
Promedio [%]									

Para obtener el promedio lo primero es dividir cada uno de los valores de los renglones entre el resultado de la sumatoria.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	$1 \div 19.81 = 0.050$	$7 \div 19.81 = 0.353$	$3 \div 19.81 = 0.151$	$1/7 \div 19.81 = 0.007$	$5 \div 19.81 = 0.252$	$1/3 \div 19.81 = 0.017$	$3 \div 19.81 = 0.151$	$1/3 \div 19.81 = 0.017$	19.81
Certificaciones	$1/7 \div 2.55 = 0.056$	$1 \div 2.55 = 0.392$	$1/7 \div 2.55 = 0.056$	$1/5 \div 2.55 = 0.078$	$1/5 \div 2.55 = 0.078$	$1/5 \div 2.55 = 0.078$	$1/3 \div 2.55 = 0.131$	$1/3 \div 2.55 = 0.131$	2.55
Conformabilidad	$1/3 \div 13.07 = 0.026$	$7 \div 13.07 = 0.536$	$1 \div 13.07 = 0.077$	$1/5 \div 13.07 = 0.015$	$3 \div 13.07 = 0.230$	$1/3 \div 13.07 = 0.026$	$1 \div 13.07 = 0.077$	$1/5 \div 13.07 = 0.015$	13.07
No genere merma	$7 \div 31.33 = 0.223$	$5 \div 31.33 = 0.160$	$5 \div 31.33 = 0.160$	$1 \div 31.33 = 0.032$	$3 \div 31.33 = 0.096$	$1/3 \div 31.33 = 0.011$	$3 \div 31.33 = 0.096$	$7 \div 31.33 = 0.223$	31.33
Ligero	$1/5 \div 8.34 = 0.024$	$5 \div 8.34 = 0.599$	$1/3 \div 8.34 = 0.040$	$1/3 \div 8.34 = 0.040$	$1 \div 8.34 = 0.120$	$1 \div 8.34 = 0.120$	$1/3 \div 8.34 = 0.040$	$1/7 \div 8.34 = 0.017$	8.34
Espesor	$3 \div 24.00 = 0.125$	$5 \div 24.00 = 0.208$	$3 \div 24.00 = 0.125$	$3 \div 24.00 = 0.125$	$1 \div 24.00 = 0.042$	$1 \div 24.00 = 0.042$	$5 \div 24.00 = 0.208$	$3 \div 24.00 = 0.125$	24.00
fácil de trabajar	$1/3 \div 9.20 = 0.036$	$3 \div 9.20 = 0.326$	$1 \div 9.20 = 0.109$	$1/3 \div 9.20 = 0.036$	$3 \div 9.20 = 0.326$	$1/5 \div 9.20 = 0.022$	$1 \div 9.20 = 0.109$	$1/3 \div 9.20 = 0.036$	9.20
Durabilidad en condiciones ambientales	$3 \div 24.48 = 0.123$	$5 \div 24.48 = 0.204$	$5 \div 24.48 = 0.204$	$1/7 \div 24.48 = 0.006$	$7 \div 24.48 = 0.286$	$1/3 \div 24.48 = 0.014$	$3 \div 24.48 = 0.123$	$1 \div 24.48 = 0.041$	24.48
Promedio [%]									

Para llevar a cabo la comprobación de este cálculo se debe hacer la sumatoria por renglón de los valores obtenidos, y en todos los casos el resultado deberá ser igual a 1.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 10

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.050	0.353	0.151	0.007	0.252	0.017	0.151	0.017	1.00
Certificaciones	0.056	0.392	0.056	0.078	0.078	0.078	0.131	0.131	1.00
Conformabilidad	0.026	0.536	0.077	0.015	0.230	0.026	0.077	0.015	1.00
No genere merma	0.223	0.160	0.160	0.032	0.096	0.011	0.096	0.223	1.00
Ligero	0.024	0.599	0.040	0.040	0.120	0.120	0.040	0.017	1.00
Espesor	0.125	0.208	0.125	0.125	0.042	0.042	0.208	0.125	1.00
fácil de trabajar	0.036	0.326	0.109	0.036	0.326	0.022	0.109	0.036	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.123	0.204	0.204	0.006	0.286	0.014	0.123	0.041	1.00
Promedio [%]									

Ahora se hace la sumatoria por **columna** de los resultados obtenidos.

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	Fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria
Precio competitivo	0.050	0.353	0.151	0.007	0.252	0.017	0.151	0.017	1.00
Certificaciones	0.056	0.392	0.056	0.078	0.078	0.078	0.131	0.131	1.00
Conformabilidad	0.026	0.536	0.077	0.015	0.230	0.026	0.077	0.015	1.00
No genere merma	0.223	0.160	0.160	0.032	0.096	0.011	0.096	0.223	1.00
Ligero	0.024	0.599	0.040	0.040	0.120	0.120	0.040	0.017	1.00
Espesor	0.125	0.208	0.125	0.125	0.042	0.042	0.208	0.125	1.00
fácil de trabajar	0.036	0.326	0.109	0.036	0.326	0.022	0.109	0.036	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.123	0.204	0.204	0.006	0.286	0.014	0.123	0.041	1.00
Promedio [%]	$(0.050+0.056+0.026+0.223+0.024+0.125+0.036+0.123) \div 8 = 0.083$	$(0.353+0.392+0.536+0.160+0.599+0.208+0.326+0.204) \div 8 = 0.347$	$(0.151+0.056+0.077+0.160+0.040+0.125+0.109+0.204) \div 8 = 0.115$	$(0.007+0.078+0.015+0.032+0.040+0.125+0.036+0.006) \div 8 = 0.042$	$(0.252+0.078+0.230+0.096+0.120+0.042+0.326+0.286) \div 8 = 0.179$	$(0.017+0.078+0.026+0.011+0.120+0.042+0.022+0.014) \div 8 = 0.041$	$(0.151+0.131+0.077+0.096+0.040+0.208+0.109+0.123) \div 8 = 0.117$	$(0.017+0.131+0.015+0.223+0.017+0.125+0.036+0.041) \div 8 = 0.076$	

El último paso es emitir la comprobación del promedio llevando a cabo la sumatoria del renglón correspondiente.

Matriz de Comparación Pareada Normalizada 10

AHP	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales	Sumatoria de los renglones
Precio competitivo	0.050	0.353	0.151	0.007	0.252	0.017	0.151	0.017	1.00
Certificaciones	0.056	0.392	0.056	0.078	0.078	0.078	0.131	0.131	1.00
Conformabilidad	0.026	0.536	0.077	0.015	0.230	0.026	0.077	0.015	1.00
No genere merma	0.223	0.160	0.160	0.032	0.096	0.011	0.096	0.223	1.00
Ligero	0.024	0.599	0.040	0.040	0.120	0.120	0.040	0.017	1.00
Espesor	0.125	0.208	0.125	0.125	0.042	0.042	0.208	0.125	1.00
fácil de trabajar	0.036	0.326	0.109	0.036	0.326	0.022	0.109	0.036	1.00
Durabilidad en condiciones ambientales	0.123	0.204	0.204	0.006	0.286	0.014	0.123	0.041	1.00
Promedio [%]									

Anexo 2

Memoria de cálculo para la tabla de ponderación de la matriz de decisión.

Para obtener la tabla de ponderación, se llevó a cabo el promedio de los resultados de cada una de las matrices normalizadas, como se muestra a continuación:

Resultados de las matrices normalizadas.

Concentrado de los resultados de las matrices normalizadas

Matriz	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
1	0.083	0.354	0.141	0.070	0.142	0.026	0.117	0.067
2	0.181	0.300	0.118	0.068	0.119	0.036	0.101	0.077
3	0.071	0.341	0.123	0.088	0.168	0.062	0.067	0.079
4	0.061	0.307	0.137	0.078	0.127	0.031	0.155	0.104
5	0.070	0.265	0.067	0.131	0.176	0.068	0.113	0.109
6	0.162	0.295	0.134	0.038	0.199	0.027	0.129	0.017
7	0.077	0.372	0.105	0.061	0.153	0.032	0.100	0.100
8	0.082	0.405	0.113	0.053	0.166	0.020	0.121	0.039
9	0.106	0.333	0.133	0.079	0.162	0.037	0.100	0.050
10	0.083	0.347	0.115	0.042	0.179	0.041	0.117	0.076

Se realizó la suma de los valores en cada columna y se dividió entre el número de muestras (10). El resultado se muestra observa en la siguiente tabla.

Obtención del promedio

Matriz	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
1	0.083	0.354	0.141	0.070	0.142	0.026	0.117	0.067
2	0.181	0.300	0.118	0.068	0.119	0.036	0.101	0.077
3	0.071	0.341	0.123	0.088	0.168	0.062	0.067	0.079
4	0.061	0.307	0.137	0.078	0.127	0.031	0.155	0.104
5	0.070	0.265	0.067	0.131	0.176	0.068	0.113	0.109
6	0.162	0.295	0.134	0.038	0.199	0.027	0.129	0.017
7	0.077	0.372	0.105	0.061	0.153	0.032	0.100	0.100
8	0.082	0.405	0.113	0.053	0.166	0.020	0.121	0.039
9	0.106	0.333	0.133	0.079	0.162	0.037	0.100	0.050
10	0.083	0.347	0.115	0.042	0.179	0.041	0.117	0.076
Promedio	$(0.083+0.181+0.071+0.061+0.070+0.162+0.077+0.082+0.106+0.083)+10 = 0.0975$	$(0.354+0.300+0.341+0.307+0.265+0.295+0.372+0.405+0.333+0.347)+10 = 0.3320$	$(0.141+0.118+0.123+0.137+0.067+0.134+0.105+0.113+0.133+0.115)+10 = 0.1186$	$(0.070+0.068+0.088+0.078+0.131+0.038+0.061+0.053+0.079+0.042)+10 = 0.0708$	$(0.142+0.119+0.168+0.127+0.176+0.199+0.153+0.166+0.162+0.179)+10 = 0.1591$	$(0.026+0.036+0.062+0.031+0.068+0.027+0.032+0.020+0.037+0.041)+10 = 0.0383$	$(0.117+0.101+0.067+0.155+0.113+0.129+0.100+0.121+0.100+0.117)+10 = 0.1119$	$(0.067+0.077+0.079+0.104+0.109+0.017+0.100+0.039+0.050+0.076)+10 = 0.0718$

Multiplicando los valores resultantes por 100 para obtener el porcentaje.

Obtención del porcentaje

Matriz	Precio competitivo	Certificaciones	Conformabilidad	No genere merma	Ligero	Espesor	fácil de trabajar	Durabilidad en condiciones ambientales
1	0.083	0.354	0.141	0.070	0.142	0.026	0.117	0.067
2	0.181	0.300	0.118	0.068	0.119	0.036	0.101	0.077
3	0.071	0.341	0.123	0.088	0.168	0.062	0.067	0.079
4	0.061	0.307	0.137	0.078	0.127	0.031	0.155	0.104
5	0.070	0.265	0.067	0.131	0.176	0.068	0.113	0.109
6	0.162	0.295	0.134	0.038	0.199	0.027	0.129	0.017
7	0.077	0.372	0.105	0.061	0.153	0.032	0.100	0.100
8	0.082	0.405	0.113	0.053	0.166	0.020	0.121	0.039
9	0.106	0.333	0.133	0.079	0.162	0.037	0.100	0.050
10	0.083	0.347	0.115	0.042	0.179	0.041	0.117	0.076
Promedio	$0.0975 \times 100 = 9.75$	$0.3320 \times 100 = 33.20$	$0.1186 \times 100 = 11.86$	$0.0708 \times 100 = 7.08$	$0.1591 \times 100 = 15.91$	$0.0383 \times 100 = 3.83$	$0.1119 \times 100 = 11.19$	$0.0718 \times 100 = 7.18$

Ahora se ordena los conceptos de mayor a menor porcentaje.

Concepto	Porcentaje Obtenido [%]
Certificaciones	33.20
Ligero	15.91
Conformabilidad	11.86
Fácil de trabajar	11.19
Precio competitivo	9.75
Durabilidad en condiciones ambientales	7.18
No genere merma	7.08
Espesor	3.83

Para completar la tabla de ponderación, se asigna un valor numérico en una escala de 3-10, donde 10 es el concepto de mayor importancia y 3 el de menor importancia, el resultado es el siguiente.

Concepto	Porcentaje Obtenido [%]	Peso de acuerdo a la matriz de comparación normalizada
Certificaciones	33.20	10
Ligero	15.91	9
Conformabilidad	11.86	8
Fácil de trabajar	11.19	7
Precio competitivo	9.75	6
Durabilidad en condiciones ambientales	7.18	5
No genere merma	7.08	4
Espesor	3.83	3

Anexo 3. Glosario

Aramida. Familia de materiales balísticos de color amarillo, entre los que se encuentran el kevlar, twaron, LTC y gs3000.

Bala. proyectil de forma esférica o cilíndrico-ojival, generalmente de plomo o hierro.

Blindaje. Proceso que emplea diversos materiales como barrera de protección ante el impacto de balas con el objetivo de salvaguardar personas o instalaciones.

Calibre. Diámetro interior de las armas de fuego, o de un proyectil.

Grano. (Símbolo gr) Se define a nivel internacional en términos del sistema métrico por la ecuación: $1 \text{ gr} = 64.79891 \text{ mg}$. Los granos se utilizan actualmente en los EE.UU. y Canadá para medir la masa de balas y pólvora. Las balas se miden generalmente en incrementos de 1 grano, la pólvora en incrementos de 0.1 granos.

NATO. Cartucho estandarizado por la OTAN.

Munición. Carga que se pone en las armas de fuego.

Ojiva. Figura formada por dos arcos de círculo iguales, que se cortan en uno de sus extremos y volviendo la concavidad el uno al otro. Parte delantera o superior de un misil, torpedo o cohete, donde se aloja el explosivo y cuyo corte longitudinal tiene esta forma geométrica.

PB “Pointed Bullet”. Es una bala expansiva que tiene una cavidad hueca en la punta la cual tiene por objetivo aumentar la penetración de la munición y expandirse al estar dentro del objetivo provocando una mayor perturbación en el tejido.

SP “Soft Point” Es una bala semiencajada de punta blanda deformable. Se emplea principalmente en la cacería.

FMJ “Full Metal Jacket”. Es una bala con un núcleo blando, típicamente de plomo, encamisado por una ojiva de metal más duro, como puede ser el cuproníquel o el acero. El encamisado permite una velocidad de salida más alta a la vez que evita dañar el ánima.

M43 Cartucho con 124 granos de ojiva (8.04 g).

M193 Cartucho con 55 granos de peso de ojiva (3.56 g).

M80 Cartucho con 147 granos de ojiva (9.53 g)