



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

*DISEÑO, CÁLCULO Y
OPTIMIZACIÓN DE UNA PALA
PÁDEL EN FUNCIÓN DE LA
TEMPERATURA INVERNAL Y
ESTIVAL*

MEMORIA PRESENTADA POR:
JACOBO DOMENECH REQUENA

TUTOR/A:
ANTONIO VICENTE MARTÍNEZ SANZ

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA, PROCESADO Y
CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Convocatoria de defensa: Septiembre 2021

Agradecimientos

Al departamento de ingeniería mecánica y materiales de la Escuela Politécnica Superior de Alcoy, por darme acceso a los laboratorios de ensayos y ayudarme a solventar las dudas.

A mi director de la tesis Antonio Vicente Martínez, porque tanto a nivel académico como profesional siempre ha estado detrás para darme consejo. Además, sin su paciencia y orientación, no se hubiera producido este trabajo.

A mis amigos Pedro, Sonia y Jessica, que no sólo habéis estado ahí para apoyarme en momentos difíciles, sino que también por todas las charlas mantenidas tanto de temas científicos como otros más ordinarios.

También recordar a mis excompañeros de Mecanizados Alcoy por lo mucho que me han aportado tanto a nivel profesional como personal durante mi estancia en la empresa.

Gracias a mi familia por su amor y apoyo incondicional desde mi nacimiento, que se mantiene siendo un adulto.

Abstract

Paddle tennis is a sport that has spread rapidly and has reached a large number of players. The paddle manufacture is practically an artisan process.

The study of the geometry of the paddles and the materials behavior is crucial role for the development and evolution of the new models of paddles.

The biggest defects of the paddle rackets is that they are affected by the temperature variations, in the winter season with cold temperatures the racket tends to stiffen, presenting greater hardness and less cushioning in the hit. On the other side, in summer season with the heat, the materials become softer and flexible and change the touch of the game.

Through material characterization and the methodology of finite element analysis, the behavior of the paddle and the materials will be evaluated for the optimal solution for the problem presented by the different temperatures throughout the season.

Keywords: paddle tennis, Composites, Ansys ACP, Cellular polymers

Resumen

El pádel es un deporte que se ha extendido rápidamente y ha alcanzado un gran número de personas. La fabricación de las palas es un proceso prácticamente artesanal, que se ha basado en proceso de ensayo y error.

El estudio de la geometría de las palas y el comportamiento de los materiales en estas, juega un papel crucial en el desarrollo y evolución de las nuevas palas, ya que es un mercado muy reñido cada año las empresas buscan destacar sobre sus competidores.

Uno de los mayores defectos de las palas de pádel, es que se encuentran afectadas por la variación de temperaturas, en temporada invernal con las frías temperaturas la pala tiende a rigidizarse presentando mayor dureza y menor amortiguación al golpear la pelota. En cambio, en verano con la dilatación de los materiales, estos se vuelven más flexibles y cambian el tacto del juego.

Mediante la caracterización de materiales y la metodología de cálculo por elementos finitos, se evaluará el comportamiento de las palas y los materiales buscando la solución óptima para el problema que presentan las diferentes temperaturas a lo largo de la temporada.

Palabras Clave: Pádel, Composites, Ansys ACP, polímeros celulares.

Índice

1. Introducción	3
2. Objetivos	3
3. Ámbito de aplicación	4
4. Estado del arte	4
4.1 Historia	4
4.2 Estructura de la pala	5
4.3 Partes de la pala	8
4.4 Normativas a cumplir	11
4.5 Cliente potencial	12
4.6 Inventario mínimo	12
4.7 Estudio de la competencia	12
4.8 Proceso de fabricación	15
5. Materiales	17
5.1 Fibra de Vidrio	17
5.2 Fibra de Carbono	22
5.3 Etilvilacetato	26
5.4 Espuma de polietileno	30
5.5 Resinas epoxi	32
5.6 Grafeno	43
6. Problemática	46
7. Estudio de las alternativas de diseño	49
8. Técnicas de caracterización	50
8.1 Ensayo flexión	50
8.2 Metodología de ensayo	51
8.3 Cálculos y expresión de los resultados	54
9. Resultados y discusión	55
9.1 Resinas reforzadas por fibras	56
9.2 Polímeros de celulares	62
10. Calculo por elementos finitos	66
10.1 Modelado 3D	66
10.2 Consideraciones previas	66
10.3 Configuración del ensayo	69

10.4 Resultados	71
10.5 Discusión	77
11. Conclusiones	77
12. Líneas de futuros	78
13. Referencias	79
14. Listado de figuras	81
15. Listado de tablas	83
16. Anexos	84

1. Introducción

El pádel (del inglés paddle) es un deporte de raqueta que se juega por parejas originario de México. Tiene unas reglas bien definidas y está representado por federaciones y asociaciones en los diversos países que se practica, como lo son; México, Argentina, Brasil, España, Canadá, Estados Unidos, Chile, Portugal, Alemania, etc. Existen gran cantidad de torneos siendo de mayor importancia a nivel mundial el World Padel Tour y el campeonato mundial.

El pádel es un deporte de actualidad, con un gran incremento de practicantes al año, cada año se da un aumento de aquellos que, debido a su prolongada experiencia en el juego, desean profesionalizarse o federarse, tal y como puede apreciarse en la gráfica sobre la evolución de expediciones de licencias a jugadores durante los últimos 9 años, según la base de datos de la Federación Española de Pádel (FEP).

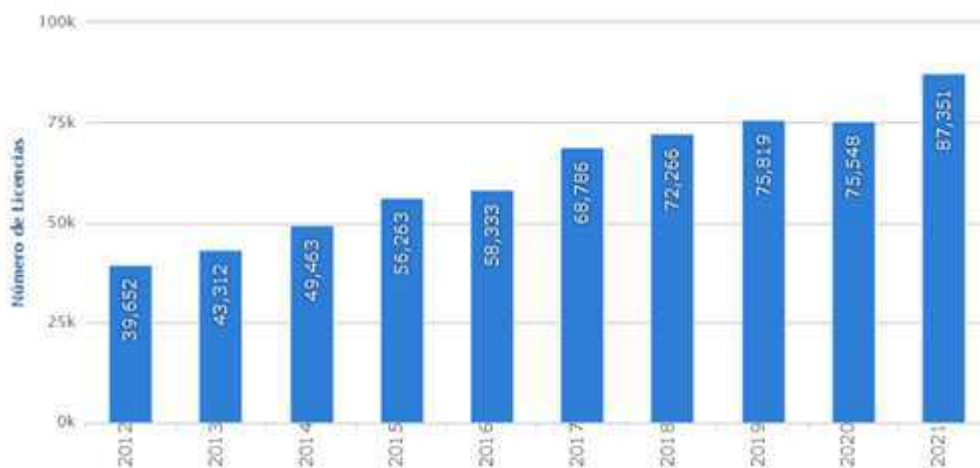


Figura 1. Evolución de las licencias de jugador, base de datos de la FEP.

existe muy poca información técnica con respecto al comportamiento mecánico de las palas de pádel y su proceso de selección de materiales. El proceso de creación de una pala se basa en la experiencia del fabricante, además debido al tipo de materiales que componen las palas se ven afectados por la variabilidad térmica a lo largo del daño, modificando el comportamiento de la pala a lo largo de las estaciones. Con los citados motivos surge la necesidad de realizar un estudio para un caso en concreto de una pala de pádel.

2. Objetivos

Antes de empezar cualquier proyecto, es necesario determinar los objetivos básicos necesarios para orientar el desarrollo del mismo de manera adecuada. En este caso, se plantean los objetivos a alcanzar según una serie de parámetros:

- **Objetivo general:** Diseñar y optimizar una pala de pádel de alta gama, orientada al sexo masculino.

- **Objetivo diseño:** Determinar un diseño eficiente y novedoso, de manera que la pala de pádel resulte atractiva para el mercado.
- **Objetivo económico:** Optimizar el uso de recursos materiales y humanos en el proceso de fabricación de la pala de pádel.
- **Objetivo tecnológico:** Determinar el método de fabricación que mejor se adapte al diseño de la pala de pádel establecido, así como seleccionar los materiales con lo que se puedan alcanzar los requerimientos del mercado de alta gama.
- **Objetivo medioambiental:** Fabricar una pala de pádel que tenga una duración de al menos un año, con posibilidad de variar su comportamiento en verano e invierno, así mismo generará menos impacto en el medioambiente tanto su fabricación, como su uso y su disposición final.
- **Objetivo académico:** tiene como finalidad la demostración de los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas durante el máster y obtener el título del master Universitario en ingeniería, Procesado y Caracterización de materiales

3. Ámbito de aplicación

Este proyecto no tiene una ubicación geográfica fija, pero es aplicable a toda España dado que ha sido en el ámbito dónde se ha realizado el análisis de mercado, podría aplicarse a cualquier país donde el pádel sea un deporte en auge realizando un estudio de mercado previo.

4. Estado del arte

4.1 Historia

El pádel nació en Acapulco (Méjico) en 1962, cuando un contratista llamado Enrique Corcuera adaptó un terreno de su finca de 20 x 10 m. colocando paredes en sus fondos y laterales para que la vegetación no invadiera su pista en su casa de Las Brisas.



Figura 2. Pista construida por Enrique Corcuera.

Un español amigo del señor Corcuera, que solía viajar bastante a México, trajo la idea a Marbella. Este hombre llamado Alfonso Hohenloe puso una pista en el club de Marbella al cual le pertenecía.

El Príncipe Alfonso construyó sus canchas con algunas modificaciones. Integró parcialmente una red de alambre en lugar de las paredes laterales. Estas canchas fueron sede durante las décadas de los años 80 y 90, de los famosos torneos “Pro-Am”, patrocinados por las tiendas “Smith & Smith” de Las Arenas, Bilbao, España, propiedad del Sr. Julio Alegría Artiach, una de las personas más importantes de la historia del Pádel, por su visión, promoción, inversión y vida dedicada a la difusión y desarrollar a todos los niveles del deporte del Pádel.

Las finales del primer Campeonato Mundial de Pádel se jugaron en la isla de La Cartuja, en Sevilla, en una cancha de Pádel llegada desde Argentina pocos días antes, llamada “Palacio de Cristal”, y es la primera vez que el viejo continente toma contacto directo con una pista con las paredes de cristal.

En dicho Campeonato del Mundo participaron los Equipos Nacionales de ocho países:

- Argentina
- España
- Francia
- Inglaterra
- Italia
- México
- Paraguay
- Uruguay

4.2 Estructura de la pala

En la actualidad, a pesar de que existen una gran cantidad de moldes diferentes, podemos clasificar las palas de pádel en tres grandes grupos de acuerdo a su forma, otra clasificación de las palas puede ser en función de su tamaño.

Clasificación en función de la forma

Existen 3 tipos básicos de moldes usados en las palas de pádel, aunque luego se pueden aplicar pequeñas variables sobre estas formas, pero aquí os mostraremos las más comunes y las propiedades que ofrece cada una de ellas, puesto que influye directamente en la potencia y control a la hora de golpear, aunque no implica que una pala con molde de control no tenga potencia, o viceversa, una pala a priori de potencia que por la composición de materiales no conceda ese plus de fuerza en el golpeo¹.

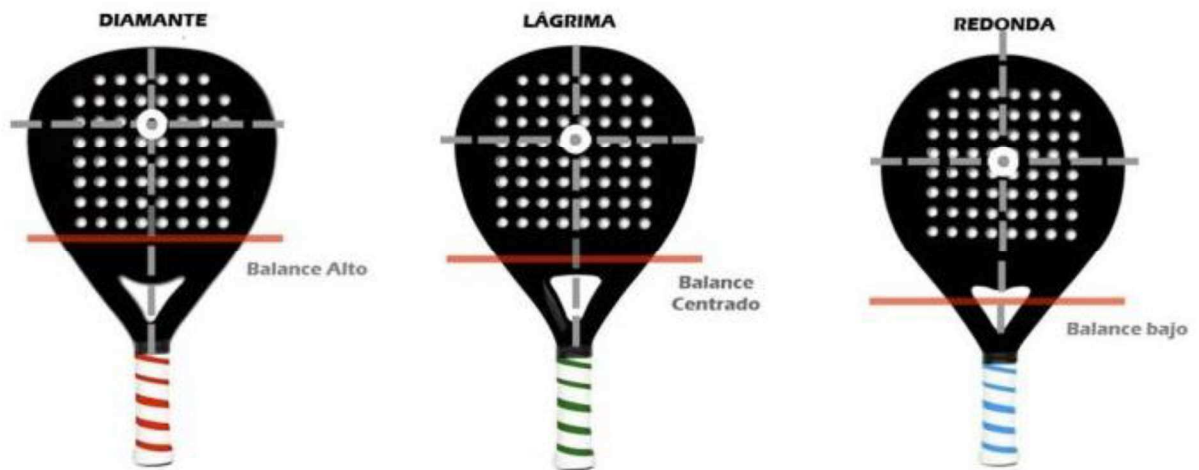


Figura 3. Balance en función de la forma de la pala.

Palas con forma redonda

Las palas con el balance hacia el puño o con balance bajo serían el símil de coger el martillo por la cabeza. Este balance es el que tienen la gran mayoría de palas redondas. La ventaja más clara de este tipo de palas sobre las palas con balance alto se encuentra en la alta manejabilidad que nos proporcionan, lo que se traducirá en una mayor seguridad en el juego. Además, son la opción perfecta para prevenir² lesiones en el brazo y el codo, debido a que no se fuerza el brazo en los golpes.

La principal desventaja de las palas con balance bajo se encuentra en los golpes más agresivos como el remate. Al tener el peso distribuido hacia el puño, la potencia que obtendremos de esta pala será inferior a la que nos proporcionan las palas con balance hacia la cabeza.

Palas con forma de diamante

Las palas con forma de diamante tienen un balance alto. Una analogía es como cuando cogemos un martillo por el mango es cuando mayor fuerza podemos aplicar con él, la principal ventaja de este tipo de palas es que proporcionan un plus de potencia en golpes como el remate gracias al efecto palanca. Estas palas, por tanto, muy adecuadas para los jugadores más avanzados y que busquen un punto más ofensivo en el juego.

El principal inconveniente de las palas con forma de diamante es que su manejabilidad es más reducida, debido a la distribución del peso hacia la cabeza. Lo que se traduce en que nos costará llegar a las bolas más complicadas. También se debe destacar que las palas “cabezonas” son las más propensas a provocar problemas en el brazo, como la famosa epicondilitis, por lo que sólo la recomendaríamos si tu nivel es avanzado y tienes una técnica depurada.

Palas con forma de lágrima

Las palas con forma de lágrima presentan un balance intermedio son el punto medio entre las palas de diamante y las palas con el balance hacia el puño. Este tipo de palas combinan lo mejor y lo peor de los tipos de pala descritos anteriormente.

Las palas con balance intermedio cuentan con una buena potencia en golpes agresivos como en el remate, que es superior a las palas con el balance bajo, pero inferior a las palas con balance alto. Las palas con este balance presentan una manejabilidad superior a la que obtenemos con las palas de diamante, pero inferior al que obtendríamos con una pala con un balance bajo.

Por último, las palas con balance intermedio previenen y nos protegen mejor de las lesiones que las palas con balance hacia la cabeza, pero sin llegar al nivel de protección que nos ofrecerían las palas con el balance bajo. Este tipo de palas están recomendadas a los jugadores con un nivel intermedio, pero que todavía no cuentan con la técnica suficientemente depurada como para optar por una pala con el balance hacia la cabeza.



Figura 4. Izquierda: Pala con forma redonda. Centro Pala con forma de diamante. Derecha: Pala con forma de lágrima.

Clasificación en función del tamaño

Existen tres modelos de palas diferentes según sus medidas: las oversize, las de tamaño clásico y las de tamaño medio o midsize.

Palas oversize

Tienen la superficie de golpeo más grande de lo normal; por eso, nos ayuda a llegar a esas bolas al límite, las típicas a las que golpeas con lo justo, el límite de la pala y acaban en la pared y fuera

de la pista. Por eso, estas palas oversize son adecuadas para defender, para devolver las bolas y para recibir impactos.

Sin embargo, a la hora de ajustar nuestros golpes, o para intercambios rápidos, de reflejos, se hace más difícil el manejo de estas palas más grandes, que por lo general pesan más, por lo que también tiene sus inconvenientes. No suele ser muy común ver este estilo de palas, solo en algunos modelos de iniciación al pádel, y con pesos específicos. Hay que tener buen brazo para que no afecte a nuestro juego o nos moleste el codo al principio.

Palas tamaño Classic

Se llama tamaño ‘clásico’, pero no es el que más se utiliza. Al contrario, están son aún más raras de ver, ya que al menos las oversize se ven en algunos modelos de gama baja. Las palas de pádel de este tamaño son las que menos superficie tienen, las más pequeñas. De esta forma, el espacio donde la pala mantiene su punto dulce es mayor, por lo que nos ayuda a controlar bien la bola.

Eso sí, lo malo de estas palas es que nuestros reflejos tienen que ser muy buenos, para asegurarnos que llegaremos a pegarle bien a la pelota, ya que, con estas palas de tamaño clásico, es decir, pequeño, cuando tenemos que correr hacia un lateral, por ejemplo, será más complicado devolverla en condiciones.

Palas tamaño midsize

El modelo más común. Este tipo de palas son las que fabrican la gran mayoría de marcas, ya que combinan de manera perfecta potencia y control, dado que el tamaño medio es el primer paso hacia una pala equilibrada, que responda bien a diferentes estilos y donde no perjudique según qué golpes.

4.3 Partes de la pala

Plano de la pala

El plano de la pala es la superficie de impacto, donde golpearemos la bola, es la parte más importante ya que determinará la dirección, potencia y efecto con el que saldrá la pelota de pádel, esta parte se compone por el núcleo de la pala, es una de las partes más importantes y esto marcará sobre todo la dureza del tacto de la pala y según su densidad también variará la salida de bola, control y potencia, principalmente existen 3 tipos de núcleos diferentes:

- **Núcleo espuma etilvinilacetato:** es el material más usado en la actualidad por las diversas marcas, hay de varias densidades que marcarán el tacto más blando o duro al golpear.
- **Núcleo espuma polietileno:** Una mezcla equilibrada entre potencia y salida de bola, dado que es un material ligero y de poca densidad.
- **Núcleo espuma poliestireno:** aporta mayor salida de bola con menor densidad, a costa de la potencia de golpeo, ideal para iniciación o personas con problemas de lesión en codo y brazo.

La superficie también se compone por diferentes materiales laminados que determinaran el aspecto así como la resistencia y la durabilidad de la pala, la flexibilidad del plano, que determinara aspectos como la potencia o el control, cada marca de pádel usa sus propios componentes, pero actualmente hay dos materiales que son los más utilizados y otros dos que se implantan en algún modelo nuevo gracias a las investigaciones que realizan las diferentes marcas para mejorar las tecnologías de sus palas y ofrecer al jugador más prestaciones:

- **Fibra de carbono:** El más usado y común, a pesar de que muchas palas digan 100% carbono, solo se utilizan unas finas laminas, dependiendo de la calidad de la pala habrá más o menos.
- **Fibra vidrio:** Un material más ligero y flexible que el carbono, puede aportar ligereza y potencia en el golpeo o salida de bola, según las propiedades de la pala, pero también es más frágil y sufre más roturas.
- **Kevlar:** El más pesado de los 3 mencionados, más duro y resistente, se combina para aportar dureza y potencia a cambio de salida de bola.
- **Grafeno:** Novedad en los últimos años, da más consistencia y durabilidad a la pala de pádel, pero es un material muy caro y solo se utilizan finas laminas que hacen casi imperceptible las propiedades que podría llegar a ofrecer el grafito como material de ser una pala 100% grafeno. Cosa imposible pues sería un coste de fabricación actualmente imposible de sostener y de comprar por el usuario final.

Marco de la pala

Está compuesto por materiales de mayor resistencia y dureza que aportan estabilidad en el golpeo, suelen ser de forma tubular, de diferentes compuestos, pero sobre todo el más usado es el carbono, pero también se colocan otros materiales como la fibra de vidrio o el grafeno, cada material aporta unas propiedades a la pala, la cantidad de tubos y de láminas que se incluyan aquí pueden marcar la vida útil de la pala y la estabilidad, cada marca utiliza sus propias tecnologías en esta zona para disminuir las vibraciones, por ejemplo la colocación de corcho, silicona u otros compuestos que absorben la fuerza de golpeo para librar al brazo de un sobreesfuerzo que pueda derivar en posibles lesiones posteriores. Además, algunas palas llevan incorporado un protector en la parte superior para proteger la pala de posibles roces y golpes contra las paredes de la pista de juego.

Mango de la pala

El mango es algo que parece trivial, pero tiene también algo de relevancia, hay algunos que son más largos que la media, útil si vienes del tenis y estás acostumbrado a largos mangos de las raquetas, otros tienen una forma más cuadrada, una forma diferente de agarrar la pala si te acostumbras, incluso alguno ha salido con el mango y la pala de forma oblicua como las cimitarras, antiguas espadas árabes, cada marca usa su propio sistema, aunque la mayoría se ciñen a la normalidad que parece que es lo que más funciona. En el mango también viene incluido el agarre y sujeción que utilizaremos para que no se nos escape en un remate, un lazo, una cinta corredera, nudos, etc... sucede lo mismo, cada marca tiene su sistema de sujeción, no hay mejores ni peores, sino los que nos gusten y se adapten mejor a nuestro estilo y los que no.

Puente de la pala

El puente es una parte fundamental más que para el propio comportamiento de la pala, en cuestiones de vibraciones, estabilidad y propensión a lesiones, hay muchas tecnologías aplicadas, aquí, barras laterales, refuerzos de carbono, aplicación de grafeno, silicona, depende de la marca y el modelo de pala que se escoja, normalmente en palas de alta gama suelen tener buenas condiciones para absorción de vibraciones molestas y ofrecer mayor estabilidad.

Los distintos sistemas del puente se pueden clasificar en los cuatro siguientes:

- **Puente abierto:** La mayoría de las palas incluyen el puente abierto, esto es, con un agujero entre la cara de la pala y la empuñadura unido a través de dos soportes. Este agujero reduce el peso de las palas ofreciendo además mayor manejabilidad
- **Puente con difusor:** es un puente abierto es la inclusión de un difusor en el puente. consiguiendo además del gran control que ofrece este modelo, una mayor aerodinámica en los movimientos para que la pala no pese tanto y nos dé una mayor sensación de manejabilidad para que nos sea más fácil de controlar.
- **Puente con pieza incorporada:** Es una de las grandes tendencias de los últimos modelos especialmente en aquellos de gama alta. La inclusión de una pieza en el interior del puente suele hacerse con el fin de mejorar la estabilidad en los golpes ya que estas piezas evitan la torsión mejorando con ello el control de la pala y sus consecuentes beneficios en nuestro juego
- **Puente cerrado:** El puente cerrado aumenta el punto dulce, ofreciendo mayor superficie de golpeo, así como más resistencia reduciéndose las roturas en este tipo de puente además de las vibraciones ofreciendo así un juego más cómodo.

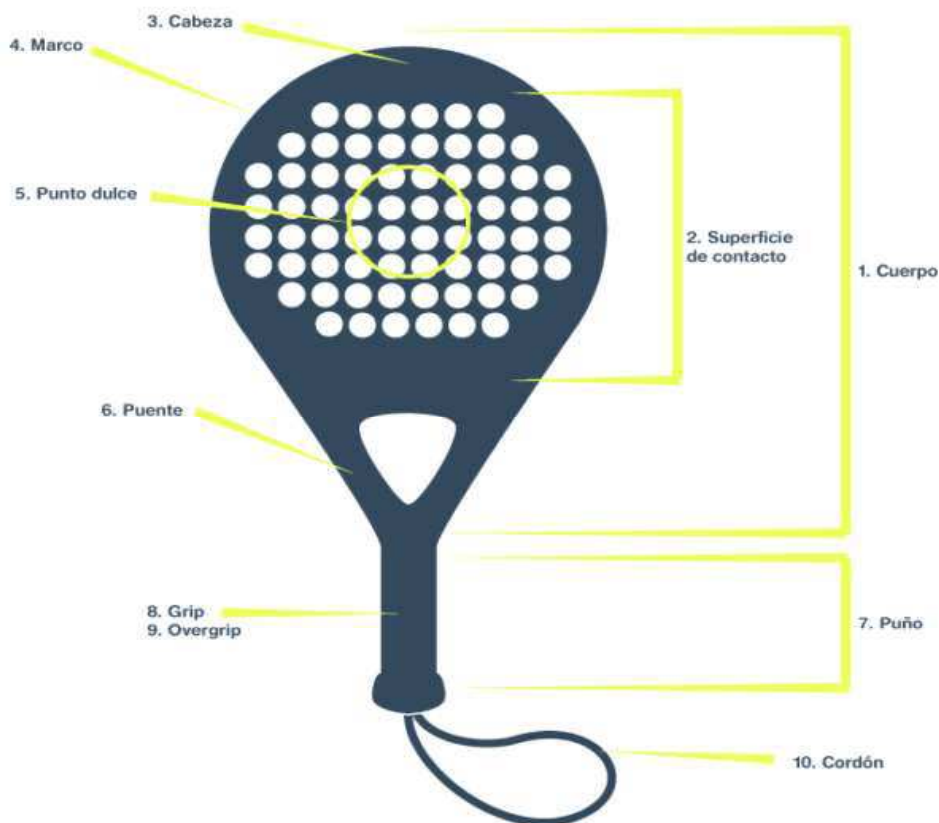


Figura 5. Partes que conforman la pala de pádel.

Grip

El grip es la primera capa de cinta que rodea el puño de la pala de pádel. Si quitásemos todas las cintas que hay sobre el puño sería la que estaría en contacto directo con la madera o plástico hexagonal que forma la empuñadura.

Overgrip

El overgrip son las capas de cintas que se colocan por encima del grip. Entre sus funciones destacan:

- Mejora la comodidad.
- Evita lesiones.
- Mejora el agarre.

Cordón

El elemento de seguridad por excelencia en la pala de pádel es el cordón que cuelga del final de la empuñadura. Este puede ser:

- Trenzado
- Brazaletes
- Corredero

4.4 Normativas a cumplir

A la hora de desarrollar cualquier proyecto, es fundamental estar al corriente de la legislación vigente y comprobar que se cumple de forma correcta. Por ello, se desarrollará el diseño la pala teniendo en cuenta las restricciones planteadas por la normativa correspondiente.

De acuerdo con lo establecido por la Federación Española de Pádel, en el reglamento del juego de Pádel, se indica que para un juego profesional se debe usar una pala reglamentaria de pádel. Una pala reglamentaria de pádel se compone de dos partes: cabeza y puño, y deben cumplir con las siguientes características:

- Puño: largo máximo: 20cm, ancho máximo: 50mm, grosor máximo: 50mm.
- Cabeza: largo: variable. El largo de la cabeza más el largo del puño no puede exceder de 45,5cm, ancho máximo: 26cm, grosor máximo: 38mm.
- El largo del total de la pala, cabeza más puño, no podrá exceder de 45,5 centímetros. Al realizar el control de las medidas de la pala se permitirá una tolerancia en el grosor de la misma del 2,5 %.
- La superficie destinada al golpeo estará perforada por un número no limitado de agujeros cilíndricos de 9 a 13mm de diámetro cada uno en toda la zona central. Dentro de esa misma superficie podrá considerarse una zona periférica de 4 centímetros medidos desde el borde exterior de la pala, en donde los agujeros podrán tener otra forma o tamaño, siempre y cuando no afecten a la esencia del juego.
- La superficie destinada al golpeo, igual en sus dos caras, podrá ser plana, lisa o rugosa.
- La pala estará libre de objetos adheridos y otros dispositivos, que no sean aquellos utilizados sólo y específicamente para limitar o prevenir deterioros, vibraciones y

distribuir el peso. Cualquier objeto o dispositivo debe ser razonables en medidas y colocación para tales propósitos.

- Deberá tener un cordón o correa no elástica de sujeción a la muñeca como protección contra accidentes. Su uso será obligatorio. Este cordón deberá tener una longitud máxima de 35 centímetros.
- Deberá tener un cordón o correa no elástica de sujeción a la muñeca como protección contra accidentes. Su uso será obligatorio. Este cordón deberá tener una longitud máxima de 35 centímetros.
- La pala debe estar libre de cualquier tipo de dispositivo que pueda comunicar, avisar o dar instrucciones de cualquier

4.5 Cliente potencial

El cliente de este tipo de pala es un jugador medio alto, dado que la pala está muy enfocada para alguien que exige unas prestaciones de la pala muy altas y busca palas de pádel de una categoría superior y que se adapten a su juego.

4.6 Inventario mínimo

Con el objetivo sólo de validar el modelo de pala sólo se contempla el inventario de una unidad como fin de prototipo.

4.7 Estudio de la competencia

A la hora de realizar un producto es muy importante, realizar un análisis de los productos de la competencia para poder ubicarse en el nicho de mercado de correcto. Es por ello que se analiza las palas de pádel que se encuentran ofertas en el mercado español con el fin de analizar precios, materiales y productos que se encuentran más valorados por las revistas especializadas y los clientes.

Bullpadel Hack Control 20



Tipo juego:	Control
Sexo:	Hombre
Nivel:	Avanzado Prof.
Marco:	Carbono
Núcleo:	Multi Eva
Cara:	Carbono triCarbon
Forma:	Redonda
Peso:	365-380

Bullpadel vertex Control 20



Tipo juego:	Control
Sexo:	Hombre
Nivel:	Avanzado Prof.
Marco:	Carbono
Núcleo:	Multi Eva
Cara:	Carbono 12k
Forma:	Redonda
Peso:	365-380

Starvie methera



Tipo juego:	Control
Sexo:	Hombre
Nivel:	Avanzado Prof.
Marco:	Carbono
Núcleo:	Goma Eva
Cara:	Carbono
Forma:	Redonda
Peso:	350-380
Coste:	

Starvie methera



Tipo juego:	Control
Sexo:	Hombre
Nivel:	Avanzado Prof.
Marco:	Carbono
Núcleo:	Goma Eva media
Cara:	Carbono
Forma:	Redonda
Peso:	360-375
Coste:	340€

Adidas Adipower Soft 2.0



Tipo juego:	Potencia
Sexo:	Hombre
Nivel:	Avanzado Prof.
Marco:	Carbono
Núcleo:	Goma Eva Soft
Cara:	Carbono aluminizado
Forma:	Diamante
Peso:	360-375
Coste:	300€

Head Graphene 360



Tipo juego:	Potencia
Sexo:	Hombre
Nivel:	Avanzado Prof.
Marco:	Carbono
Núcleo:	Goma Eva Soft
Cara:	Carbono/grafeno
Forma:	Diamante
Peso:	375
Coste:	300€

Akkeron Furia Legacy



Tipo juego:	Polivalente
Sexo:	Hombre
Nivel:	Avanzado Prof.
Marco:	Carbono
Núcleo:	Goma Eva Soft
Cara:	Carbono
Forma:	Lagríma
Peso:	355-385gr.
Coste:	460€

Siux Pegasus Luxury



Tipo juego:	Potencia
Sexo:	Hombre
Nivel:	Avanzado Prof.
Marco:	Carbono
Núcleo:	Goma Eva Med.
Cara:	Carbono4k/Grafeno
Forma:	Lágrima
Peso:	360-375 gr
Coste:	500€

Según las palas analizadas el coste estimado de una pala para usuarios avanzados de palas ronda de 500- 600€ cuando se encuentre de temporada, una vez pasada la temporada la pala se devalúa y el valor ronda de 300€ a 450€.

Los materiales que son más empleados para este tipo de pala, es la fibra de carbono con otro material refuerzo, dependiendo del fabricante, se emplea fibra de vidrio, aramida (kevlar), grafeno, etcétera.

En cuanto al material del núcleo, el más empleado es la goma eva Soft, una goma Eva de baja densidad, más empleado en palas de control.

4.8 Proceso de fabricación

La fabricación de una pala de pádel es un proceso muy artesanal, en la que la mayor parte de los pasos son realizados de forma manual. La automatización es muy escasa salvo para aquellos fabricantes que producen palas de pádel a gran escala y a nivel mundial como pueden ser ASICS o Adidas.

- 1) El primer paso de la fabricación de una pala de pádel comienza con el troquelado del núcleo de goma eva o de foam o de polietileno al tamaño y forma que deba de tener en la pala, ya sea redonda, de lágrima o de diamante.
- 2) Luego se cortan con la forma del molden los materiales que vienen en bobinas, como pueden son los tejidos de fibra de carbono, aramida y fibra de vidrio.
- 3) Una vez cortados los tejidos se apilan las capas de las caras en función de las propiedades mecánicas buscadas.
- 4) Se usa una matriz dividida en dos partes, a estas partes se les unta un desmoldeante para poder despegar la pala una vez terminado el primer proceso y evitar daños o desperfectos

- 5) Se impregna una resina epoxi a todos los tejidos y se colocan en ambas partes de un molde de aluminio.



Figura 6. Molde para la fabricación de una pala de pádel.

- 6) Se colocan dos tubos de aire, en el interior de una malla de fibra de carbono tubular con la longitud del exterior de la pala, que servirá como refuerzo para el marco de la pala y se coloca a lo largo del borde del molde.



Figura 7. malla tubular de fibra de carbono.

- 7) Se coloca el núcleo foam y se produce el cierre del molde.
- 8) Se presurizan los tubos de aire para que el refuerzo tome forma en el interior del molde y se cierran los tubos
- 9) Se colocan los moldes en el interior de un autoclave a una temperatura de unos 50 bar.
- 10) Trascorridos entre 30min y 1 hora, se extrae la pala del autoclave y se desmoldea la pala.
- 11) Se somete la pala a un proceso de desbarbado y pulido para quitar las rebabas y asperezas de las caras de la pala.

- 12) Se añade masilla y laca para eliminar cualquier defecto en las caras y facilitar la adherencia de la calcomanía y la pintura.



Figura 8. proceso de pintura de un lote de palas de pádel.

- 13) Se pinta la pala y se añade la calcomanía con los detalles o el logo del diseño previo.
14) Se mecaniza los agujeros de las caras de la pala, normalmente se realiza mediante un CNC.
15) Por último, se procedería a colocar el grip de la pala, el cordón y el tapón.

5. Materiales

5.1 Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio es un material compuesto de filamentos de vidrio aglomerados con resinas³ que, cuando se entrelazan, forman una estructura fuerte y perfecta para ser utilizada como refuerzo estructural de otros materiales.

A lo largo de la historia los trabajadores del vidrio han ensayado con la fibra de vidrio, pero la manufactura masiva de este material sólo fue posibilitada con la invención de máquinas y herramienta más refinadas. Fue en 1893 cuando Edward Drummond Libbey exhibió un vestido en la Exposición Mundial Colombina de Chicago que tenía fibra de vidrio con filamentos del diámetro y la textura de una fibra de seda. Las fibras de vidrio también se pueden formar naturalmente y se las conoce como cabellos de Pele.

No fue hasta 1938 cuando Russell Games Slayter, en la Owens-Corning, desarrollo lo que hoy conocemos como lana de vidrio, que fue comercializado como “Fiberglass” que se convirtió en una marca vulgarizada en países de habla inglesa. Se empleó como aislante en la construcción de edificios.

Estructura química

La base de la fibra vidrio de grado textil es la sílice (SiO_2). En su forma más pura que existe como un polímero, $(\text{SiO}_2)_n$.

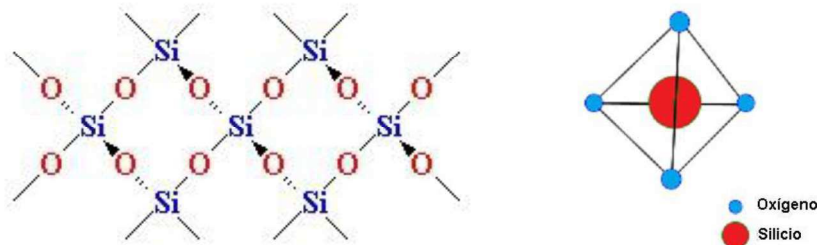


Figura 9. Izquierda, Sílice en estructura cristalina, cuarzo. Derecha, estructura molecular del sílice.

La fibra de vidrio no tiene un verdadero punto de fusión, pero se ablanda hasta los 2000°C , a partir de esa temperatura comienza a degradarse. En los 1713°C , la mayoría de las moléculas pueden moverse libremente. Si el vidrio se extruye y se enfría rápidamente a esta temperatura, será incapaz de formar una estructura ordenada. En el polímero se forman grupos SiO_4 que se configuran como un tetraedro con el átomo de silicio en el centro, y los cuatro átomos de oxígeno en las esquinas. Estos átomos forman una red vinculadas en las esquinas compartiendo los átomos de oxígeno.

Los estados vítreo y cristalino de la sílice (vidrio y cuarzo) tienen niveles similares de energía sobre una base molecular, lo que también implica que la red cristalina sea extremadamente estable. Para poder inducir la cristalización, debe ser calentado a temperaturas superiores a 1200°C durante largos periodos de tiempo. A pesar de que la sílice pura es un vidrio perfectamente viable para la fibra de vidrio, tiene el inconveniente que debe trabajarse a temperaturas muy altas. Al ser enfriado rápidamente la sílice se ve impedida de formar una estructura ordenada, es decir, presenta un estado amorfo.

Este tipo de vidrio posee unas buenas propiedades ópticas, pero es quebradizo lo habitual es introducir impurezas (ejemplo: carbonato de sodio) en el vidrio en forma de otros materiales para bajar su temperatura de trabajo. Se suele emplear para lentes en telescopios y cosas por el estilo.

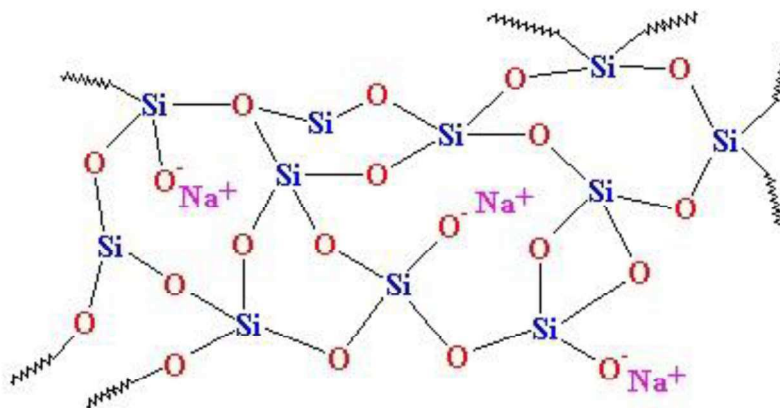


Figura 10. Sílice en estado amorfo, el vidrio.

El primer tipo de vidrio utilizado para la fibra fue vidrio sodio-cálcico o vidrio A. Este tipo de vidrio no es muy resistente a los álcalis. Posteriormente se desarrolló el vidrio E, que es un vidrio compuesto principalmente por aluminio-borosilicato que prácticamente no tiene constituyente alcalino (<2%). Esta fue la primera formulación del vidrio utilizado para la formación de filamentos continuos. El vidrio E todavía sigue siendo el más empleado en el mundo para la producción de fibra de vidrio. Su composición, puede variar ligeramente en porcentaje, pero debe estar dentro de un rango específico. La letra E se utiliza, ya que originalmente era de aplicaciones eléctricas. El vidrio S tiene una composición que le otorga una alta resistencia a la tracción. El vidrio C fue desarrollado para poseer una alta resistencia a el ataque de sustancias químicas, sobretodo a la mayoría de los ácidos que destruyen el vidrio E. El vidrio T es una variante de América del Norte de vidrio C. El vidrio A es un término industrial para vidrio roto, a menudo botellas, hechas en fibra. El vidrio AR es un vidrio resistente a los álcalis (Alkali-Resistant). Las fibras de vidrio tienen una limitada solubilidad en agua, pero son muy dependientes del pH. Los iones cloruro también atacan y disuelven las superficies del vidrio E.

Método de fabricación de la fibra de vidrio

Existen dos métodos principales para la fabricación de la fibra de vidrio y dos tipos principales de productos de fibra de vidrio. La fibra se puede hacer por un proceso de fusión directa o por un proceso de refundición. En ambas vertientes se comienza con las materias primas en estado sólido. Los materiales se mezclan y se funden en un horno. En el proceso de refundición, el material fundido es cortado y enrollado en bolitas, que son enfriadas y envasadas. Estas bolitas son llevadas a las instalaciones de fabricación de fibra en el que se insertan en un cilindro y el material es refundido. El vidrio fundido se extruye a través de un cabezal con boquillas, denominado bushing, que lo conforma en filamentos. En el proceso de fusión directa, el vidrio fundido del horno va directamente al buje de conformación.



Figura 11. Bushing por el que pasa el material refundido.

Proceso de filamento continuo

En el proceso de filamento continuo, después de que la fibra se extrae, se aplica un apresto. Este apresto ayuda a proteger la fibra al enrollarse en una bobina. El apresto concreto aplicado es relativo al uso final que tenga la fibra. Mientras que algunos aprestos son coadyuvantes de la elaboración, otros hacen de la fibra tenga una afinidad por ciertas resinas, si la fibra se va a utilizar

en un composite. El apresto es generalmente a±adido en un 0,5-2,0% en peso. El bobinado se lleva a cabo en torno a 1000 m por minuto.

Proceso de fibras discontinuas

Este proceso enfocado en la fabricaci3n de fibra de vidrio, consiste en pasar el vidrio por una máquina de formaci3n para que después pueda ser tratado con calor o, si se necesita, con vapor. Como resultado aparecen las fibras en forma de felpa, las cuales se pasan por un dispositivo que las hace girar a una gran fuerza centrífuga, posteriormente son lanzadas a otra área de forma horizontal para que no exista ningn da±o. A continuaci3n, se aplica algún tipo de aglutinante, así como aire, para que la felpa de fibra pueda conformarse por vacío en filtros, mismos que entran a unos hornos para que se cure el aglutinante.

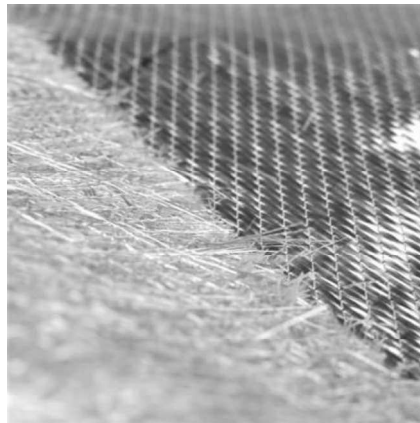


Figura 12. Comparativa de fibra de vidrio orientadas al azar y fibras tejidas.

Propiedades

La fibra de vidrio destaca por las siguientes propiedades:

- **Resistencia mecánica:** La fibra de vidrio tiene una resistencia específica mayor que el acero.
- **Características eléctricas:** La fibra de vidrio es un buen aislante eléctrico incluso con poco espesor.
- **Incombustibilidad:** Debido a que la fibra de vidrio es un material mineral, es naturalmente incombustible, es decir, que no propaga el fuego. Asimismo, no emite humo ni productos t3xicos cuando se expone al calor.
- **Estabilidad dimensional:** La fibra de vidrio no es sensible a las variaciones de temperatura e higrmetra. Tiene un bajo coeficiente de expansi3n lineal.
- **Compatibilidad con matrices orgánicas:** La fibra de vidrio puede tener diferentes tama±os y tiene la capacidad de combinarse con muchas resinas sintéticas y ciertas matrices minerales, como el cemento.
- **No se corrompe:** La fibra de vidrio no se pudre y no se ve afectada por la acci3n de roedores e insectos.
- **Conductividad térmica:** la fibra de vidrio tiene baja conductividad térmica, por lo que es muy útil en la industria de la construcci3n.
- **Permeabilidad dieléctrica:** Esta propiedad de la fibra de vidrio lo hace adecuado para ventanas electromagnéticas.

Tabla 1. Propiedades de los distintos tipos de fibras.

	Tipo E	Tipo AR	Tipo C	Vidrio D	Tipo R
Tenacidad (N/tex):	1.30	1.74	1.24	1.17	1.74
Fuerza a la tracción (MPa)	3400	3000-3500	3100	2500	4400
Elongación hasta rotura (%)	4.5	4.3	4	4.5	5.2
Conductividad Térmica (W/m.K):	1	0.1	0.1	0.8	1
Resistividad (ohm x cm)	1014-4015	1014-1015			1014-4015
Factor de disipación dieléctrica	0.0010- a 10Hz	0.0019 a 105 Hz	0.0005 a 106Hz	0.0005 106Hz	0.0019 105Hz
Absorción de humedad a 20°C y 60% de humedad relativa (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Resistencia a los disolventes:	Alta	Alta	Alta		Alta
Resistencia a la intemperie y los rayos UV	Alta	Alta	Alta		Alta
Resistencia a microorganismos	alta	Alta	Alta		Alta

Campo de aplicación

La fibra de vidrio debido a sus propiedades es muy utilizada en diversos sectores:

- Automoción: se emplea en los discos del clutch y en pastillas de frenos para reforzarlos, también en la trama de vidrio impregnada, que es usada para reforzar la correa de accionamiento, por último, en toldos y aislamiento.
- Deportivos y sectores recreativo: se emplea en un amplio surtido de accesorios por su resistencia pesa, desde bates de baseball, tablas de surf, skis de nieve o acuáticos, ...
- Energético: se puede encontrar la fibra de vidrio en torres eólicas, además en pasarelas, escaleras, vallados, soportes, torres eléctricas, postes y canales eléctricos.
- Aeronáutico: debido a su ligereza, a que es incombustible y propiedades aislantes, gran parte del fuselaje de los aviones se emplea la fibra de vidrio



Figura 13. Ejemplos de aplicaciones de la fibra de vidrio.

5.2 Fibra de Carbono

La fibra de carbono es una fibra sintética constituida por finos filamentos y compuesto principalmente por carbono⁴. Cada fibra de carbono es la unión de miles de filamentos de carbono. Se trata de una fibra sintética porque se fabrica a partir del poliacrilonitrilo⁵. Entre sus virtudes destacan que tiene propiedades mecánicas muy similares al acero y es tan ligera como la madera o el plástico.

Síntesis

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

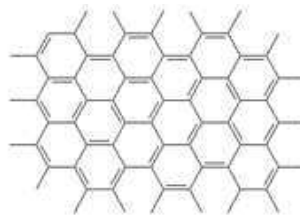


Figura 14. Sección de una lámina de grafito.

La fibra de carbono se obtiene a partir del poliacrilonitrilo, a través de un complicado proceso de calentamiento. En el momento que se calienta el poliacrilonitrilo, el calor hace que las unidades repetitivas ciano formen anillos.

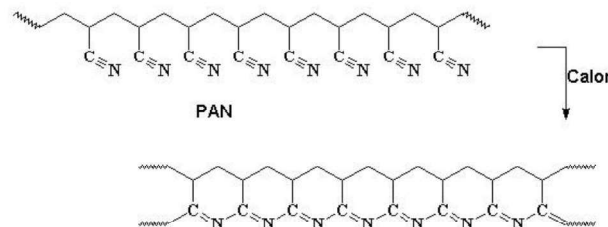


Figura 15. Proceso de formación de las unidades de anillos de ciano a través del calentamiento del poliacrilonitrilo

Conforme se aumenta la temperatura, los átomos de carbono se deshacen de sus hidrógenos y los anillos se vuelven aromáticos. Este polímero constituye una serie de anillos piridínicos fusionados.

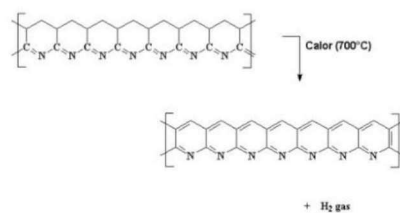


Figura 16. Formación de los anillos piridínicos

En el momento que el incremento de temperatura alcanza unos 400-600°C, las cadenas adyacentes se unen:

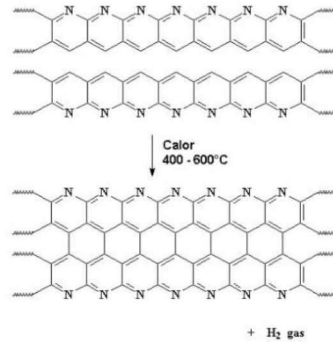


Figura 17. Unión de las cadenas de anillos piridínicos a través de la temperatura.

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

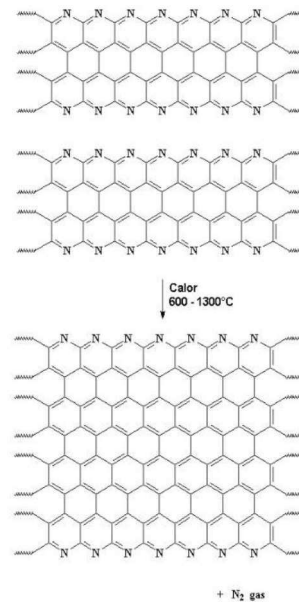


Figura 18. Formación de la matriz a través de unión de anillos piridínicos.

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

Proceso de fabricación

Cada filamento de carbono es producido a partir de un polímero precursor, dependiendo del material de partida se obtendrá una fibra de mejor o peor calidad, los materiales de partida se pueden clasificar como:

- Fibras de carbono basadas en PAN
- Fibras de carbono a base de brea
- Fibras de carbono basadas en brea de meso-fase (con una estructura similar a la del grafito)
- Fibras de carbono a base de brea isotrópica
- Fibras de carbono a base de Rayón
- Fibras de carbono cultivadas – en fase gaseosa

El paso previo para los polímeros sintéticos consiste en un proceso de hilado en filamentos, mediante procesos químicos y mecánicos para alinear los átomos del polímero para mejorar las propiedades físicas finales de la fibra de carbono obtenida. Las composiciones de precursores y de los procesos mecánicos empleados durante el hilado pueden diferir entre los distintos fabricantes. Una composición bastante común es la mezcla de PAN con algo de metil acrilato, metil metacrilato, vinil acetato y cloruro de vinilo.

Después de embutición o hilatura en húmedo (a veces también se emplea la técnica de hilado fundido), las fibras de polímero se calientan para eliminar los átomos que no sean de carbono (carbonización), produciendo la fibra de carbono final. Las fibras de carbono pueden ser sometidos a un tratamiento de mejorar las cualidades de manejo, luego son enrolladas en bobinas. Las bobinas se utilizan para suministrar a máquinas que producen hilos de fibra de carbono o tejido.

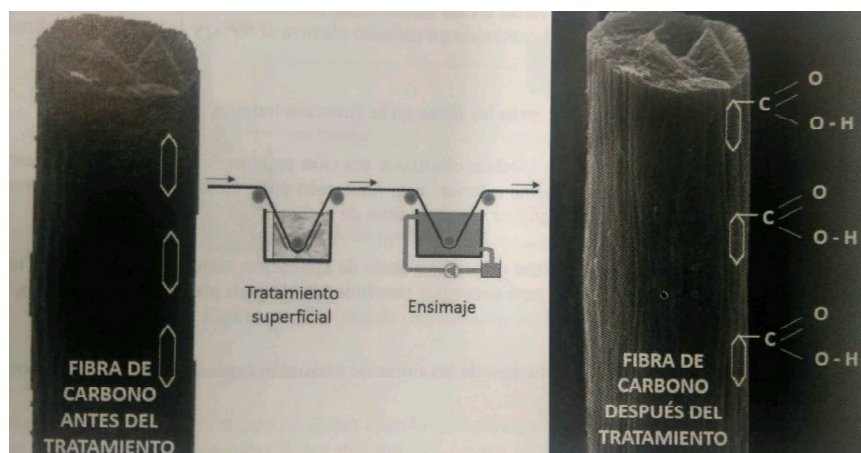


Figura 19. Fibra de carbono, antes y después del tratamiento superficial.

El método más empleado de fabricación consiste en calentar los filamentos PAN en una atmósfera con aire a aproximadamente 300°C, que rompe muchos de los enlaces de hidrógeno y oxida la materia. Por último, se somete a las fibras un tratamiento térmico en una atmósfera inerte con un gas inerte como el argón. Este tratamiento se clasifica en tres tipos dependiendo de la temperatura:

- Tipo I. Tratamiento de alta temperatura (HTT), donde la temperatura del tratamiento térmico final debe estar por encima de 2000 ° C y puede ser asociado con el tipo de fibra de alto módulo.
- Tipo II. Tratamiento de calor intermedio (IHT), donde la temperatura del tratamiento térmico final debe estar alrededor o por encima de 1500 ° C y puede ser asociado con el tipo de alta resistencia de la fibra.

- Tipo III. Tratamiento a baja temperatura, donde las temperaturas finales de tratamiento térmico no son superiores a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Estos son de bajo módulo y materiales de baja resistencia.

Las fibras obtenidas se dividen en los siguientes tipos:

- Ultra- alto módulo, tipo UHM (módulo $> 450\text{Gpa}$)
- De alto módulo, tipo HM (módulo de entre $350 - 450\text{Gpa}$)
- Intermedio – módulo, tipo IM (módulo de entre $200 - 350\text{Gpa}$)
- Módulo bajo y de alta resistencia a la tracción, tipo HT (módulo $< 100\text{Gpa}$, resistencia a la tracción $> 3.0\text{Gpa}$)
- Súper alta resistencia, tipo SHT (resistencia a la tracción $> 4.5\text{Gpa}$)

Propiedades

La fibra de carbono posee unas propiedades que la hacen única:

- Alta resistencia mecánica, u resistencia es casi 3 veces superior a la del acero, y su densidad es 4,5 veces, aunque conserva un módulo de elasticidad también elevado.
- Es conductor de la electricidad.
- Tiene una baja conductividad térmica. Lo que se resume en gran capacidad como aislante térmico.
- Baja densidad en comparación con otros materiales similares o que se utilizan para aplicaciones similares, como el acero. Ésta es de 1.750 kg/m^3 .
- Buena tolerancia a diversos agentes externos.
- Resistencia a variaciones de temperatura, conservando su forma de manera adecuada. Lo que se conoce como baja expansión térmica.
- Alta flexibilidad.
- Precio algo elevado en su producción. Aunque se va abaratando con el paso de los años. Esto es debido a que es un proceso de mucha duración (puede llegar a ser de meses) y que se realiza a muy altas temperaturas.
- Es un componente duradero y tiene un diseño y aspecto elegante.

Campo de aplicación

La fibra de carbono debido a sus propiedades se ha aplicado a un amplio espectro de aplicaciones:

- **Automovilismo:** debido a su ligereza y resistencia se ha aplicado a depósitos, puertas parachoques, carrocerías,
- **Sector Aeroespacial:** componentes aviones, piezas ligeras,
- **Sector náutico:** se emplea en la fabricación de cascos de embarcaciones, mástiles.
- **Electrónica y robótica:** ordenadores, trípodes, drones, ...
- **Deporte:** debido a su resistencia peso, la fibra de carbono se ha convertido en un material muy utilizado tanto para palos de golf, palas de pádel, bastones de senderismo, cuadros de bicicletas...
- **Música:** por su estética y ligereza se emplea en el sector musical para la realización de instrumentos, fundas, accesorios.
- Complementos: gafas, carteras, pulseras y relojes.



Figura 20. Aplicaciones de la fibra de carbono

5.3 Etilvilacetato

Se le llama EVA por las siglas de su nombre en inglés, Ethylene Vinyl Acetate⁶, es a su vez, también es conocido por su nombre más genérico en inglés, foamy (literalmente «espumoso»), que es el nombre utilizado en más de treinta países y que puede dar lugar a confusión con el otro material más utilizado, el FOAM.

La goma Eva es un material que combina con cualquier accesorio o producto de aplicación directa o superpuesta. La goma EVA es material que en general, no sustituye a ninguno conocido, sino que, por el contrario, lo complementa.

Estructura química

El copolímero etileno-vinilacetato es un polímero de adición formado por unidades repetitivas de etileno y acetato de vinilo:

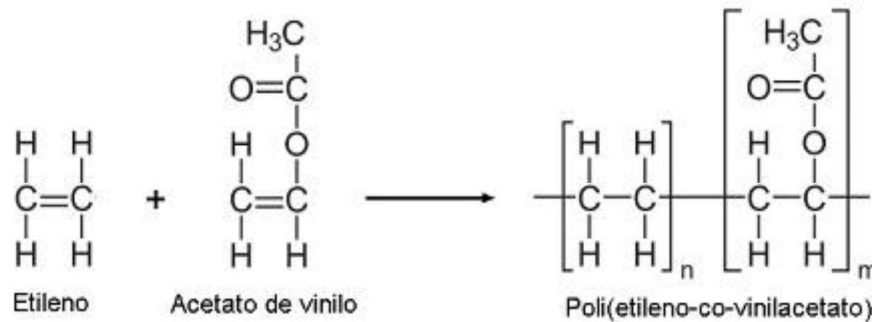


Figura 21. Formación del Etileno-vinilacetato.

Síntesis

La copolimerización del etileno y el vinilacetato puede llevarse a cabo por tres métodos diferentes:

- Polimerización en emulsión
- Polimerización en solución
- Polimerización por alta presión

En el proceso de producción de la goma EVA mediante polimerización en emulsión se obtienen productos con un 40% a 70% en peso de acetato de vinilo copolimerizado. Los productos obtenidos por este proceso contienen residuos del emulsionante que no pueden ser eliminados completamente, lo que no los hace adecuados para muchas aplicaciones.

Por polimerización por emulsión se pueden obtener EVA con más de 75% en peso de acetato de vinilo. El proceso se realiza a unas presiones entre 30 a 500 bares y a temperaturas de 20°C a 100°C. Los copolímeros obtenidos tienen un alto contenido de gel y no pueden ser procesados como caucho sólido para la mayoría de propósitos.

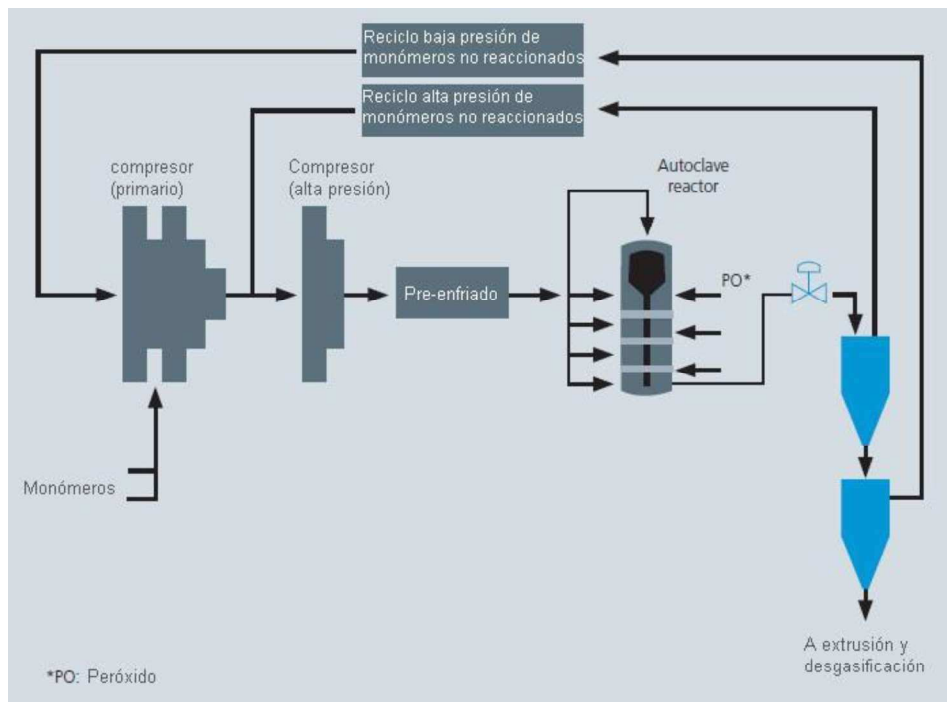
Polimerización por solución

En el proceso de polimerización en solución para la producción de EVA se obtiene un producto libre de gel, debido, por una parte, a una buena solubilidad de los reactivos a lo largo del proceso de polimerización y por otro lado, a una baja transferencia de disolvente en la cadena del polímero en crecimiento. En procesos de polimerización con un contenido de más del 30% en peso de acetato de vinilo se suele emplear como disolvente el tert-butanol o mezclas tert-butanol, metanol e hidrocarburos. Para la producción económica de EVA, la polimerización tiene que llevarse a cabo en altas concentraciones de sólidos en la que se desarrollan viscosidades considerables. Los productos que contienen hasta un 75% en peso de acetato de vinilo se pueden obtener por polimerización en solución.

Polimerización por alta presión

Para conseguir EVA con un bajo contenido de acetato de vinilo se debe producir por el método de polimerización en masa de alta presión. El proceso de polimerización es llevado, generalmente bajo presiones de 1.000 a 3.000 bares y a temperaturas de 150 a 280°C. El producto obtenido mediante este proceso tiene un contenido de acetato de vinilo de hasta 30% en peso, es empleado como adhesivo termofusible y como promotores de flujo para aceites y combustibles y para el revestimiento de cables.

Los equipos más empleados para llevar a cabo estas reacciones son los autoclaves (también se pueden emplearse los reactores tubulares). Se prefieren los autoclaves con alto contenido de VA (18%) con el fin de controlar mejor las variables críticas, como el peso molecular y el contenido de comonomero. Una diferencia importante entre el proceso común de producción del polietileno de baja densidad (LDPE) y el empleado con el EVA es el sistema de finalización. Se requiere equipo especial para manipular el copolímero EVA, que es blando, de baja temperatura de fusión y frecuentemente pegajoso.



Ecuación 1. Esquema del proceso en autoclave.

Propiedades y características

Las características de la goma Eva pueden variar por el proceso de polimerización del etileno, con una cristalinidad más baja las temperaturas de fusión y termosellado disminuyen, además de menor rigidez y dureza, en cambio incrementan su flexibilidad. En general las propiedades de la goma EVA son:

- Buena resistencia a la abrasión.
- Resistencia media a los aceites minerales.
- Excelente resistencia al aire caliente.
- Excelente memoria elástica.
- Hidrófugo. Impermeable al agua.
- Agradable al tacto.
- Inodoro o con muy poco olor.
- Punto de rotura en frío $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de fusión $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Anti-hongos.
- Producto apto para estar en contacto con alimentos.
- No hay contaminación en caso de ignición.
- Apto para impresión, por serigrafía u offset.

- Artículo apto para confección y soldable.
- Admite el reciclaje y la incineración (reciclado térmico).
- No se recomienda su uso continuado en el exterior.

Tabla 2. Tabla de propiedades típicas de goma EVA.

Propiedad	Norma	Unidad	Valor
Densidad	ISO 845	kg/m ³	33±5
Resistencia a la tracción	ISO 1798	kPa	>190
alargamiento	ISO 1798	%	>230
Resistencia a la compresión deflexión 10% deflexión 25% deflexión 50%	ISO 3386/1	kPa	>12 >28 >70
Remanencia a la compresión 22 h de carga, 23 °C deflexión 25% 0.5 h tras descarga 24 h tras descarga	ISO 1856	% %	≤20 ≤8
Conductibilidad térmica a 10 °C a 40 °C	DIN 52612	W/mK	0,035 0,039
Temperatura de trabajo	ISO 2796	°C	-40/+55
Estabilidad Dimensional	ISO 2796	%	<5
Absorción de agua (28 días)	DIN 53428	%	≤3
Resistencia Eléctrica	DIN 60093	Ωcm	≥10E15
Dureza Shore	ISO 868	-	>23
Velocidad de combustión Horizontal	FMVSS-302	mm/min	<100

Producto UNIFOAM® XV A Todos los datos son promedios y deberían ser considerados sólo como guía

Aplicaciones

El EVA tiene una gran cantidad de aplicaciones empleándose en sectores muy diversos:

- **Adhesivos:** Las barras de pegamento en caliente son comúnmente de EVA. Además, se utiliza como aditivo para mejorar el pegado-despegado en envolturas de plástico para paquetes.
- **Medicina:** se utiliza en ingeniería biomédica en aplicaciones como dispositivo para administración de fármacos.
- **Deportes:** la goma EVA es conocido comúnmente como gomaespuma, se utiliza de relleno en equipos en deportes como boxeo, artes marciales, empuñaduras de cañas, flotadores.
- **Sector textil:** se emplea en relleno de ropa, suelas de calzado y sandalias.
- **Sector naval:** la goma EVA se utiliza para la fabricación de flotadores para redes de pesca comercial o productos como lentes flotantes.
- **Hermeticidad:** debido a sus propiedades barrera se puede emplea para la realización de juntas en tapas de botellas de bebidas carbonatadas.

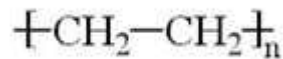


Figura 24. Fórmula del polietileno.

A veces algunos de los carbonos, en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos, tienen asociadas largas cadenas de polietileno. Esto se llama polietileno ramificado, o de baja densidad, o LDPE. Cuando no hay ramificación, se llama polietileno lineal, o HDPE. El polietileno lineal es mucho más fuerte que el polietileno ramificado, pero el polietileno ramificado es más barato y más fácil de fabricar.

Síntesis

El proceso de polimerización del etileno se realiza normalmente en presencia de catalizadores que producen radicales libres. Este mecanismo general es similar al de otros compuestos de vinilo e implica las fases de iniciación del radical libre, la propagación de la cadena del polímero y la terminación de la cadena. Una característica importante en el proceso de polimerización del etileno, es efectuarse un gas comprimido, esto la posibilita la capacidad de variar la concentración del etileno entre límites amplios, proporcionando así un medio, además de las variaciones de la temperatura y de la concentración del catalizador, para controlar la rapidez de la polimerización y el peso molecular del polímero. Otra característica importante es la producción de moléculas de cadena ramificada es mayor en la polimerización del etileno que en otras polimerizaciones vinílicas, lo que influye en las propiedades físicas y mecánicas del polímero.

Proceso de obtención

A la hora de realizar la espuma de polietileno se parte de pelets de polietileno, estos se funden en cámara a temperatura controlada mientras un husillo gira de forma continua para controlar que el material se mezcle de forma homogénea. Mediante una boquilla con distinta forma se puede obtener barras de distintos perfiles. También se emplea este procedimiento para la fabricación de tuberías, inyectando aire a presión a través de un orificio en la punta del cabezal. Regulando la presión del aire se pueden conseguir tubos de distintos espesores. El proceso de espumado se realiza mediante la introducción de aire u otro gas en el interior de la masa de plástico fundida de manera que se formen burbujas permanentes en el interior.

Aplicación

La espuma de polietileno se emplea en una amplia gama de sectores:

- **Sector del embalaje:** es muy utilizada por su excelente capacidad de absorción de impactos, las piezas frágiles de cristal, los televisores, las cadenas de audio, los ordenadores y las impresoras se envuelven en láminas de espumas de polietileno y en bloques de espuma premoldeados.
- **Artículos deportivos y de Ocio:** se utiliza en la fabricación de protectores contra lesiones, dado su bajo peso, su elasticidad y su capacidad para absorber impactos.
- **En automoción:** se utiliza en interiores de los vehículos también se recubren con una capa de espuma de polietileno. En la industria del automóvil se calientan las láminas de polietileno espumado y se moldean con la forma deseada para cubrir salpicaderos, paneles de puertas, consolas, interiores de maleteros y asas.



Figura 25. Aplicaciones de la espuma de polietileno.

5.5 Resinas epoxi

Los compuestos de resinas epoxi han tenido amplia aceptación y su uso se ha extendido a las actividades donde se requiere un polímero de mucha resistencia mecánica. Son materiales termofraguables que se tornan duros y no fusibles bajo la acción de agentes acelerantes. Los compuestos epoxi son un grupo de éteres cíclicos u óxidos de alqueno (alquileno) que poseen un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono adyacentes (estructura oxirano). Estos éteres reaccionan con los grupos amino, oxhidrilo y carboxilo (endurecedores, así como con los ácidos inorgánicos, para dar compuestos relativamente estables.

Actualmente, debido al elevado número de las distintas resinas básicas y el avance conseguido con los sistemas de aplicación, las resinas epoxis se encuentran implantadas en casi todos los sectores.

Un agente de curado o endurecedor, es una sustancia que se añade a un elemento macromolecular en una cantidad superior a las cantidades catalíticas, que reacciona con esta y lo convierte en un polímero irreversible, que poseerá unas características que no poseía las sustancias anteriores. Las resinas epoxicas es de las principales sustancias que emplean endurecedores.

Los enlaces de anillo oxirano tienen una elevada tensión de enlace lo que le otorga una elevada reactividad química, que es fácilmente atacado por la mayoría de compuestos de adicción. La familia de las resinas epoxicas se divide en cinco grupos fundamentales:

- Éteres glicéricos
- Ésteres glicéricos
- Aminas glicéricas
- Alifáticas lineales
- Cicloalifáticas

A nivel comercial los éteres son los más importantes, el 95% de las resinas utilizadas son glicidil-éteres obtenidos por reacción de la epiclorhidrina con el bisfenol A (2-2-bis(p-hidroxifenil)propano) formando una molécula de diglicil éter de bisfenol. El empleo de estas materias primas es debido por una parte la alta reactividad de la epiclorhidrina que permite su combinación con cualquier molécula portadora de hidrógenos activos, así como su fácil obtención por petroquímica. El bisfenol A es barato debido al serlo los productos de partida para su síntesis:

acetona y fenol. Variando las reacciones estequiométricas entre la epíclorhidrina y el bisfenol A, se obtiene una molécula del tipo:

A un nivel comercial los éteres son los más importantes, el 95% de las resinas utilizadas son glicidil-éteres obtenidos por reacción de la epíclorhidrina con el bisfenol A (2-2-bis(p-hidroxifenil)propano) formando una molécula de diglicil éter de bisfenol. Debido a la reactividad de la epíclorhidrina que permite su combinación con cualquier molécula portadora de hidrógenos activos, las ha convertido en una de las principales materias primas. El bisfenol A es barato debido al serlo los productos de partida para su síntesis: acetona y fenol. Con la variación de las reacciones estequiométricas entre el bisfenol A y la epíclorhidrina, es posible obtener una molécula del siguiente tipo:

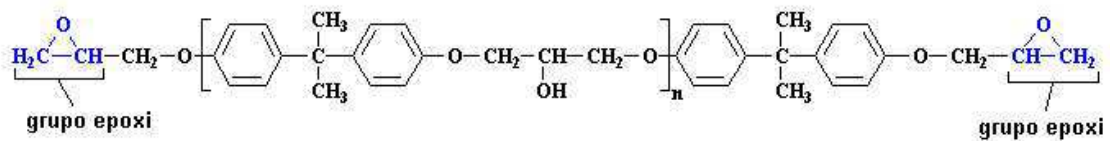


Figura 26. Polímero obtenido de la reacción del bisfenol A y la epíclorhidrina.

Siendo n el grado de polimerización y que puede ir desde $n=1$ hasta $n=12$. En función de la proporción de los reactivos, se pueden formar mezclas variables de resinas de alto y bajo peso molecular. La parte básica de la molécula tiene un peso molecular de 284. De ahí los pesos de las moléculas sucesivas serán:

$n = 0$; P.M. = 340, $n = 1$; P.M. = 624, $n = 2$; P.M. = 908, etc., pudiendo generar resinas de distintas características. Las resinas que superan un peso molecular de 908, son sólidas, mientras que resinas con peso molecular inferior son líquidas o semisólidas.

Las resinas comerciales son mezclas de diferentes pesos, de manera que suele conocerse el peso molecular promedio, pero no la distribución de los oligómeros en la muestra. Además del peso molecular, hay otros parámetros que caracterizan las resinas epoxi:

Las resinas comerciales son mezclas de distintos pesos, de manera que puede conocerse el peso molecular promedio, pero no la distribución de los oligómeros en la muestra. Además del peso molecular, hay otros parámetros que caracterizan las resinas epoxi:

- Equivalente epoxi: Peso de resina que contiene un equivalente gramo de epoxi. Suele considerarse como la mitad del peso molecular medio.
- Índice de hidroxilo: Peso de resina que contiene un equivalente gramo de hidroxilo.
- Contenido de cloro reactivo: Es el cloro presente en forma de cloruro hidrolizable, como consecuencia de la presencia de trazas clorhídricas en el proceso de síntesis.
- Color de la resina: Como resultado de los grupos fenólicos libres y que por oxidación forman quinonas coloreadas.
- Punto de fusión: Que al ser de una mezcla no se presenta en un intervalo muy estrecho, adoptándose la temperatura a la cual la resina un grado de fluidez arbitrario.
- Viscosidad y contenido en volátiles.

Tipos de resinas epoxi

Resinas epoxi a base de bisfenol A

Las resinas epoxi a base de bisfenol A son las más utilizadas por su versatilidad y coste, provienen de la reacción de epíclorhidrina y bisfenol A, pudiendo ser líquidas, semisólidas o sólidas dependiendo del peso molecular.

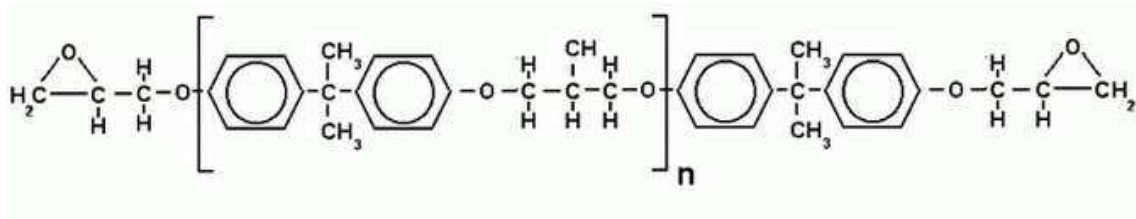


Figura 27. Composición de una molécula de una resina epoxi a base de bisfenol A.

Resinas epoxi a base de bisfenol F

Las resinas epoxi a base de bisfenol F y/o novolac siguen el mismo principio que la resinas a base de bisfenol A, en este tipo de resinas se produce la sustitución de bisfenol A por bisfenol F lo que proporciona a la resina epoxi un mayor entrecruzamiento y mejor comportamiento mecánico, químico y térmico, especialmente si el proceso de curado se produce con aminas aromáticos o anhídridos.

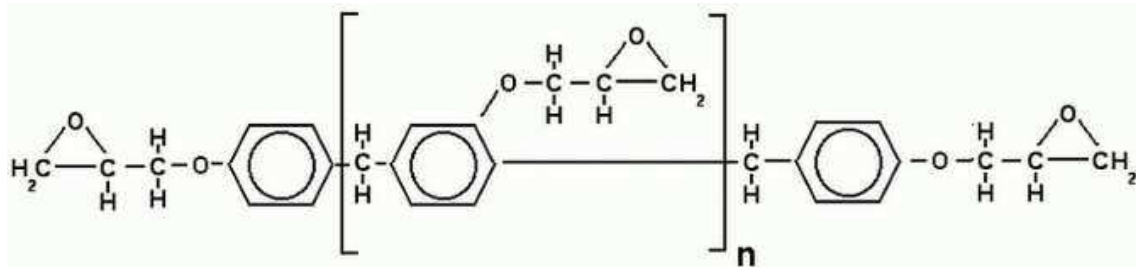


Figura 28. Composición de una molécula de una resina epoxi a base de bisfenol A.

Resinas epoxi bromadas

Las resinas epoxi bromadas son resinas a base de epíclorhidrina y tetrabromobisfenol A, las cuatro moléculas adicionales de bromo confieren a este tipo de resinas la característica de autoextinción.

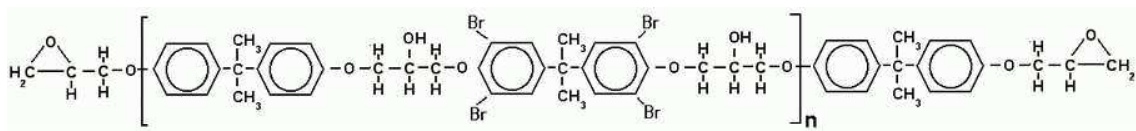


Figura 29. Composición de una molécula de una resina epoxi bromada.

Resinas epoxi flexibles

Las resinas epoxi flexibles son resinas que poseen largas cadenas lineales que sustituyen a los bisfenoles por poliglicoles poco ramificados. Este tipo de resinas tienen baja reactividad lo que las hace principalmente utilizadas como flexibilizantes reactivos en otras resinas, mejorando la resistencia al impacto,

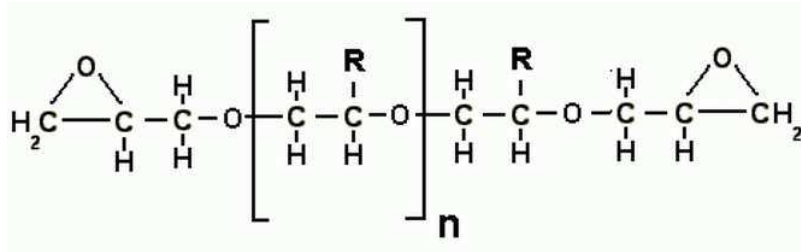


Figura 30. Composición de una molécula de una resina epoxi flexible.

SÍNTESIS DE RESINAS EPÓXICAS

El procedimiento de la síntesis de resinas epoxi se produce en dos etapas, En primer lugar, hay que sintetizar un diepoxi y en segundo lugar hay que entrecruzarlo con una diamina. Esta etapa consiste en una polimerización por crecimiento en etapas. Se obtiene el prepolímero mediante bisfenol A y epiclohidrina:

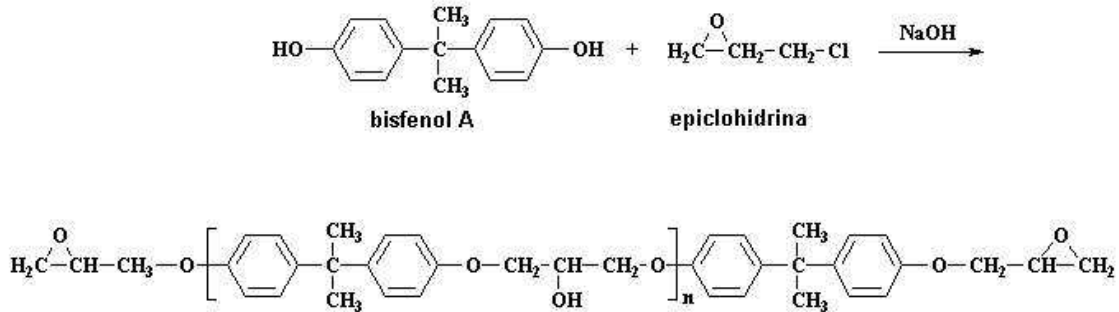


Figura 31. Síntesis del diepoxi a partir de bisfenol A y epiclohidrina.

A continuación, el NaOH reacciona con el bisfenol A para dar la sal sódica de bisfenol A.

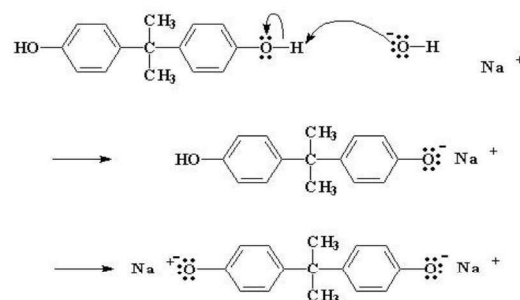


Figura 32. Formación de sal sódica de bisfenol A.

Un oxígeno de la sal tiene tres pares de electrones sin compartir, al encontrarse con la epiclorhidrina, el cloro de ésta comparte dos electrones con el oxígeno, pero al ser tan electronegativo tiende a acapararlos. Entonces el oxígeno dona un par de electrones al carbono y éste rompe el enlace con el cloro liberándolo.

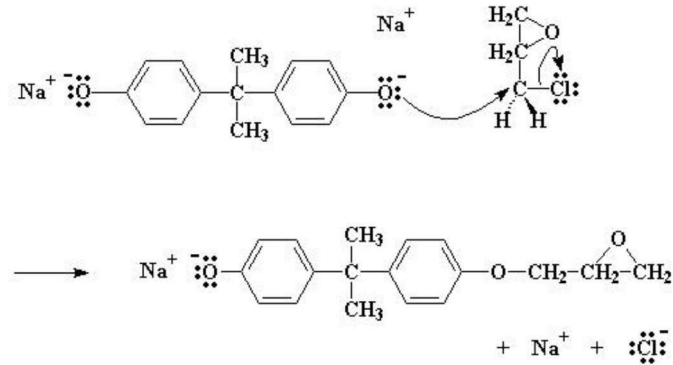


Figura 33. Reacción de la epiclorhidrina con la sal de sodio.

Se tiene una molécula similar a bisfenol A, con un único grupo epoxi, y una molécula de NaCl

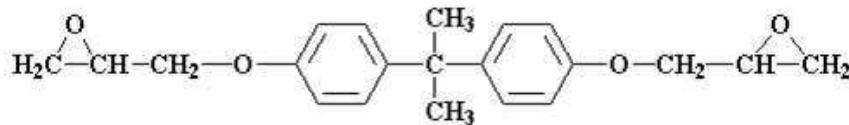


Figura 34. Los epoxis pueden ser pequeños como este o grandes DP=25.

En función de la relación entre la epiclorhidrina y el bisfenol A dependerá el tamaño del prepolimero. Si la relación es de dos se obtiene:

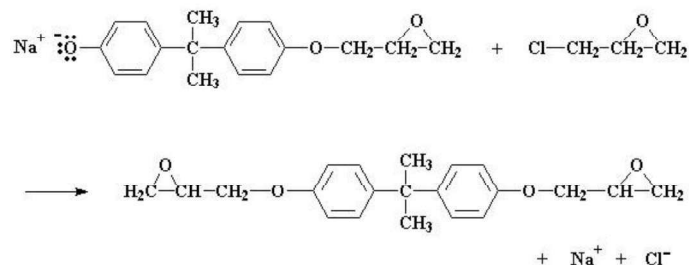


Figura 35. Reacción entre epiclorhidrina y bisfenol en una relación 1/2.

La reacción se detiene si no existe más sal sódica de bisfenol A con la que interactuar. En caso de que la relación sea menor a dos, no toda la sal sódica de bisfenol A podrá reaccionar con la

epiclorhidrina. Si suponemos una relación 3/2, cuando todas las moléculas de epiclorhidrina hayan reaccionado, tendremos una relación de uno:

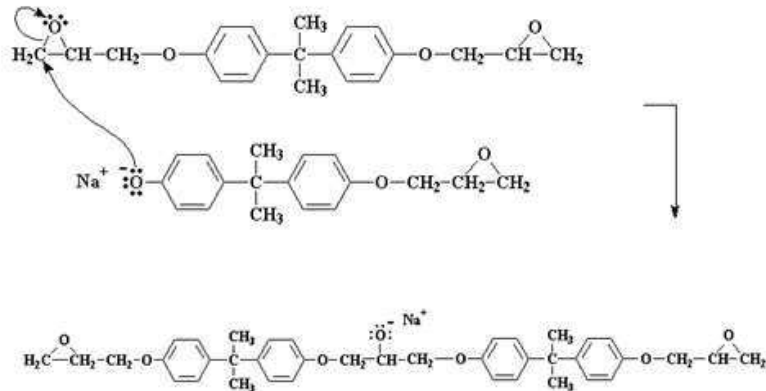


Figura 36. La sal sódica ataca al epoxido, dando un dímero. Este dímero es una sal de sodio.

Cuando se un dímero que es una sal sódica. Un par electrónico del oxígeno reaccionara con el hidrógeno del agua (formada por la sal de bisfenol A) absorbiendo uno de ellos:

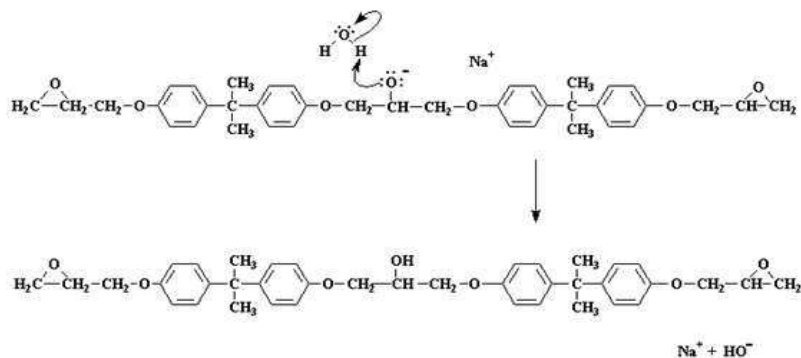


Figura 37. El oxígeno negativo tomará un protón del agua, generándose un grupo alcohol y nuevamente se forma NaOH.

El oxígeno forma un alcohol y otra vez se obtiene NaOH y la reacción continúa. Cuanta más epiclorhidrina tengamos con respecto a la sal de bisfenol A, mayor será el oligómero que obtendremos

CURACIÓN DEL DIEPOXI CON UNA DIAMINA

Tras la obtención de los propolimeros diepoxi hay que unirlos. Este proceso se realiza mediante la adición de una dianina, el oxígeno atrae los electrones del carbono, así como a su vez a los grupos amino le ceden electrones al átomo de carbono que está al extremo de la molécula. El enlace entre el carbono y el oxígeno se rompe y se forma un nuevo enlace entre la molécula de carbono y el nitrógeno de la amina, quedando el oxígeno con carga negativa y el nitrógeno con positiva:

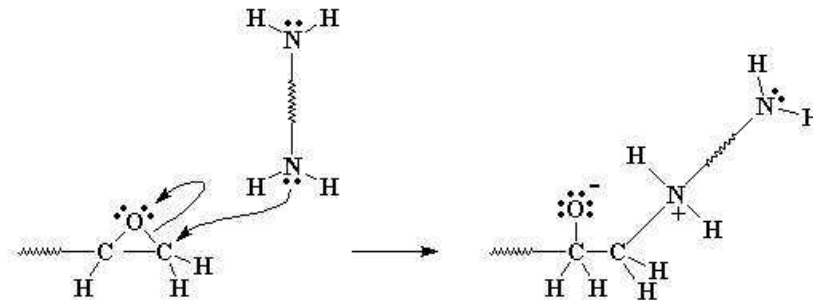


Figura 38. Los electrones de la diamina atacan al carbono próximo al oxígeno epoxi, confiriéndole carga negativa al oxígeno y carga positiva al nitrógeno.

A continuación, se produce una reacción entre el oxígeno y el hidrógeno unido al nitrógeno, generando un alcohol y neutralizando la carga del oxígeno y el nitrógeno. Entonces los electrones del oxígeno atacan al hidrógeno unido al nitrógeno y forman un enlace separándolo, pero dejando neutro al nitrógeno, el oxígeno a su vez también queda neutro al ganar un protón y formar un alcohol.

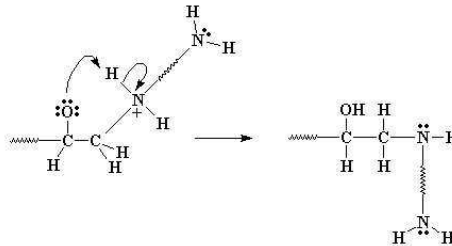


Figura 39. Los electrones del oxígeno reaccionan con el hidrógeno, forman un grupo alcohol y una amina.

El grupo amino aún tiene un hidrógeno de sobra y puede reaccionar con otro grupo epoxi, exactamente de la misma manera.

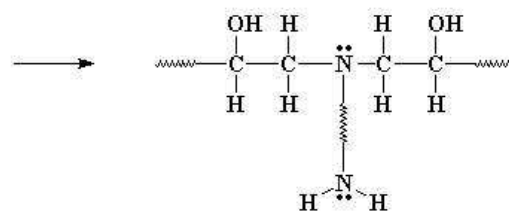


Figura 40. Reacción con otro grupo.

Al ser una diamina, los grupos amino de un extremo pueden ir reaccionando con los grupos epoxi, al ir reaccionando se pueden obtener cuatro grupos prepolimeros epoxi unidos en una sola molécula:

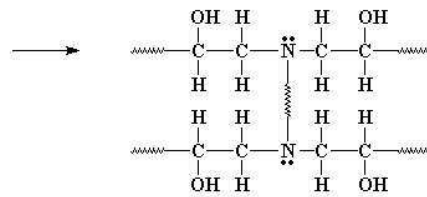


Figura 41. Los otros grupos epoxis interactúan con la amina del otro grupo terminal de la diamina y finalmente todo el oligómero diepoxi se convierte en una red molecular.

Finalmente, los extremos de los prepolimeros diepoxi se unen a otras moléculas de diamina. De esta forma todas las moléculas de diamina y de diepoxi se unen creando una sola molécula gigante.

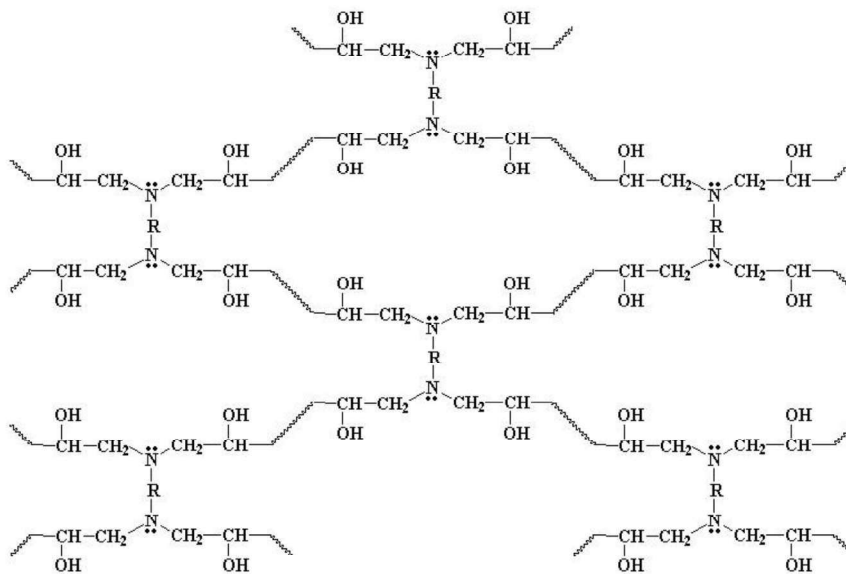


Figura 42. Molécula de resina epoxi.

TIPOS DE AGENTES CURANTES

Los agentes endurecedores se clasifican en dos grupos: catalíticos y polifuncionales. En los agentes catalíticos se comportan como iniciadores de una homopolimerización de las resinas, en los agentes polifuncionales, actúan como reactivos o como monómeros generando el entrecruzamiento de las moléculas de resina a través de ellos mismos.

Los agentes polifuncionales son de estructura química diversa, caracterizándose por la presencia de hidrocarburos activos. Los de más amplia utilización incluyen aminas alifáticas primarias y secundarias, poliaminas primarias y secundarias, ácidos polibásicos y anhídridos.

Pueden clasificarse también en función de su temperatura de trabajo: agentes de curado en frío y agentes de curado en caliente. El primer grupo actúa a temperaturas ordinarias incluso en atmósferas húmedas. Los agentes de curado en caliente no reaccionan a temperatura ambiente,

pudiendo por consiguiente trabajar con mezclas estables de resina y endurecedor. Sólo cuando la temperatura se eleva alrededor de 120°C se produce el entrecruzamiento. Si la operación de curado ha sido correcta no deberán quedar grupos epoxi ni exceso de reactivos.

Los agentes endurecedores más comunes pueden clasificarse de la siguiente forma:

Los tipos de endurecedores más comunes se clasifican de la siguiente forma:

1. Aminas: El grupo de las aminas se puede dividir en diferentes tipos:
 - Aminas alifáticas: la mayor parte de las aminas alifáticas son líquidos de baja viscosidad con un olor irritante y muy característico. Suelen ser moléculas pequeñas y con una volatilidad muy alta, que reaccionan a través de los radicales libres de hidrógeno.



Figura 43. Ejemplo de una amina alifática.

2. Poliaminas aromáticas: las poliamidas aromáticas han caído en desuso debido a su alto grado de toxicidad. Suelen ser aminas sólidas que tienen que ser fundidas o mezcladas en caliente con una resina y curadas a altas temperaturas, debido a este proceso emiten muchos vapores corrosivos y tóxicos. Las poliamidas aromáticas tienen una buena resistencia química, eléctrica, térmica y excelente resistencia a la electrolisis.



Figura 44. Ejemplo de una amina aromática.

Aminas cicloalifáticas⁷: este tipo de aminas presenta anillos aromáticos lo que les otorga una menor volatilidad, una mayor estabilidad a la luz, menor reactividad y mejor retención de colores. Debido a su baja reactividad es difícil de curar a temperatura ambiente.

3. Aduetos de aminas: son mezclas de resinas que reaccionan parcialmente y poseen un exceso de amina. Tienen cadenas mayores y más volátiles, es por ello que la relación de mezcla es menos crítica y menos exotérmica, tienen menor toxicidad.



Figura 45. Ejemplo de composición química de un aducto de amina.

4. Poliamidas: el comportamiento de estos compuestos es similar a las poliaminas alifáticas. Se obtienen gracias a reacciones de dimerización de aminas alifáticas con diácidos o ácidos grasos de cadena larga, dando resultado a polímeros de alto peso molecular que varían de un líquido viscoso hasta un sólido.

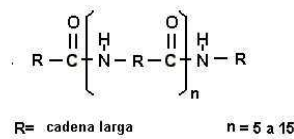


Figura 46. Estructura química de un ejemplo de poliamida como endurecedor.

5. Resinas de formaldehído: En este grupo están el aminoresinol (urea y melamina-formaldehído), la resina fenólica (fenol-formaldehído).

Propiedades

Las resinas epoxi son ampliamente utilizadas en muchos sectores por las siguientes propiedades:

- Alta resistencia térmica: La composición de esta resina permite que soporte temperaturas prolongadas de hasta 45° C y ocasionalmente de hasta 70° C.
- Gran resistencia a la corrosión: Las resina epoxi son capaces de soportar la exposición prolongada a agentes químicos corrosivos.
- Buena resistencia al desgaste: tienen una resistencia mecánica de aproximadamente los 65 N/m², es por ello que son muy empleadas como revestimiento para garajes, suelos industriales, almacenes hangares, naves y plantas de procesado.
- Fácil aplicación y limpieza: gracias a su flexibilidad, humectación y adherencia los recubrimientos de resina epoxi se aplican con gran facilidad y se limpian cómodamente.
- Baja contracción: A diferencia de otras pinturas o materiales, las resinas epoxi apenas tiene contracción al solidificarse.

Campo de aplicación

La resina epoxi debido a las propiedades mencionadas anteriormente, tienen un amplio campo de aplicaciones tanto de uso industrial, como otros en sectores. Entre ellos podemos citar:

- **Adhesivo:** El empleo de las resinas epoxi se encuentra muy extendido para la construcción y reparación de todo tipo de vehículos, como automóviles, motos, bicicletas y aviones.

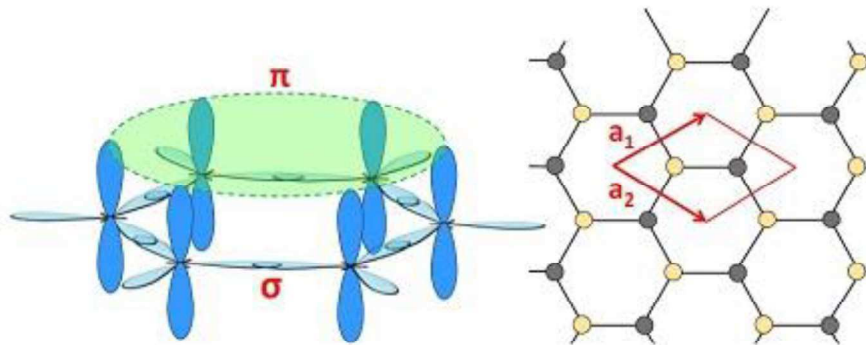
- **Aplicaciones eléctricas:** Para evitar cortocircuitos y proteger del polvo y la humedad generadores, reductores, escobillas, aisladores y generadores, esta pieza están encapsuladas con resina epóxica.
- **Sector náutico y tablas de surf:** Los barcos, botes, yates, barcas, tablas de surf y todo tipo instrumentos expuestos a la corrosión por la sal marina, la humedad y el sol se puede beneficiar de la protección de la resina epóxica. Más sensible a la luz ultravioleta UV que otros barnices, la resina epóxica es cubierta por el gel poliéster. Con estos dos recubrimientos la protección es total.
- **Uso en electrónica:** los transistores, circuitos integrados e impresos se encuentran protegidos del polvo y la humedad, mediante encapsulados de resina epóxica.
- **Industria alimentaria:** La resina epoxi es utilizada en la industria conservera, para proteger contenedores, tanques y envases. Las latas de tomate están recubiertas por resina epoxi para evitar la corrosión por el ácido de tomate.
- **Uso en manualidades:** La transparencia, la dureza y el brillo de este material la convierten en el material perfecto para ornamentos, artesanías, encapsulado de madera, joyería, bisutería y arte abstracto. También, es muy apreciada en la fabricación de réplicas de los personajes de las películas, cómics y videojuegos.



Figura 47. Diferentes aplicaciones de las resinas epoxi: a) recubrimiento b) Mobiliario c) tabla de surf d) pala de pádel.

5.6 Grafeno

El grafeno⁸ es un material nanométrico bidimensional, consistente en una sola capa de átomos de carbono fuertemente cohesionados mediante y dispuestos en una superficie uniforme, ligeramente ondulada, con una estructura semejante a la de un panal de abejas por su configuración atómica hexagonal. El grafeno es una de las formas alotrópicas del carbono, como lo son también el grafito y el diamante. Así, un milímetro de grafito contiene tres millones de capas de grafeno.



El grafeno es el material más resistente que se conoce en la naturaleza, más fuerte que el acero estructural con su mismo espesor y más duro que el diamante, y, sin embargo, su grosor oscila entre 1 y 10 átomos de carbono. Al ser tan fino y apreciarse solamente dos de sus dimensiones, se le considera un material bidimensional, el único que es capaz de mantenerse estable hasta con el grosor de un átomo.

Es elástico y flexible, y está dotado de una gran conductividad térmica y eléctrica, lo que le permite disipar el calor y soportar intensas corrientes eléctricas sin calentarse. Es prácticamente transparente, hidrófugo y tan denso que ni siquiera el gas helio puede atravesarlo. Además, presenta otras muchas cualidades, como la alta movilidad de sus electrones, propiedad que eleva su potencial uso en los veloces nanodispositivos del futuro.

El grafeno tiene increíbles propiedades mecánicas, electrónicas, químicas, magnéticas y ópticas que lo han convertido en uno de los nanomateriales más estudiados en la actualidad. Además, al ser carbono puro, es abundante en la naturaleza y ecológico.

Su descubrimiento se les debe a los doctores Konstantin Novoselov y Andre Geim en el año 2004, ambos ganadores del Premio Nobel de Física en 2010.

SINTESIS DEL GRAFENO

En la producción de grafeno se han desarrollado distintas tecnologías para la producción de grafeno, cuyos productos presentan diferencias tanto en composición, como en tamaño y número de capas. Los métodos de obtención de grafeno pueden dividirse en dos grupos principales:

- Métodos Bottom-up: consisten en la obtención de grafeno a partir de entes menores, como moléculas. Dentro de estos métodos está el crecimiento epitaxial (CVD sobre sustratos metálicos y cerámicos, la descomposición térmica de SiC), la síntesis química (síntesis orgánica).

- Métodos Top-down: consisten en la obtención de grafeno a partir de un ente que lo contenga, como por ejemplo grafito. Dentro de estos métodos está la exfoliación micromecánica de grafito, la exfoliación de grafito en fase líquida y la exfoliación química de materiales grafiticos, basados en la intercalación entre las capas, posterior oxidación (no siempre) y finalmente su exfoliación.



Figura 48. Realización entre la calidad y el coste de producción del grafeno según su proceso de fabricación.

El método por deposición química al vapor o en del inglés chemical vapor deposition (CVD) consiste en la formación del grafeno sobre un sustrato (principalmente, cobre). Es capaz de producir láminas de grafeno de grandes dimensiones (centímetros), de elevada pureza y calidad cristalina, y muy selectivo en monocapa, pero precisa de la misma superficie de láminas de cobre que de grafeno a producir y de un sistema a vacío controlado, lo que implica una limitada capacidad de producción en masa.

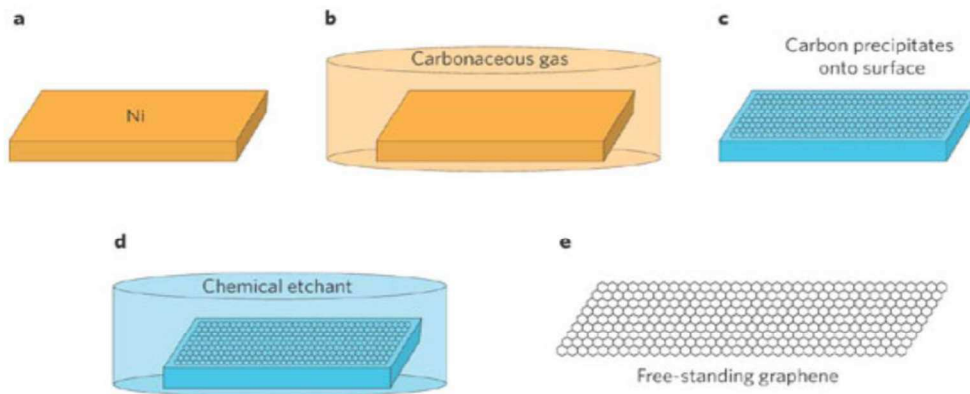


Figura 49. Fases de la deposición química al vapor.

El proceso de exfoliación química consiste en a partir de láminas de pequeño espesor de grafito, romper los enlaces interlaminares a través de la vibración por medio de un proceso llamado sonicación, para evitar que las láminas de grafeno se vuelvan a unir se aplica unos compuestos químicos de carácter tensioactivo que se introducen entre las capas de grafeno, ayudando a la separación de las mismas e impidiendo que éstas se vuelvan a unir.

Actualmente se aplica en el proceso de exfoliación disolventes eutécticos profundos, que son una alternativa ecológica a los disolventes convencionales, son una nueva generación de disolventes iónicos preparados mediante compuestos que forman un eutéctico con un punto menor que el de los componentes individuales.

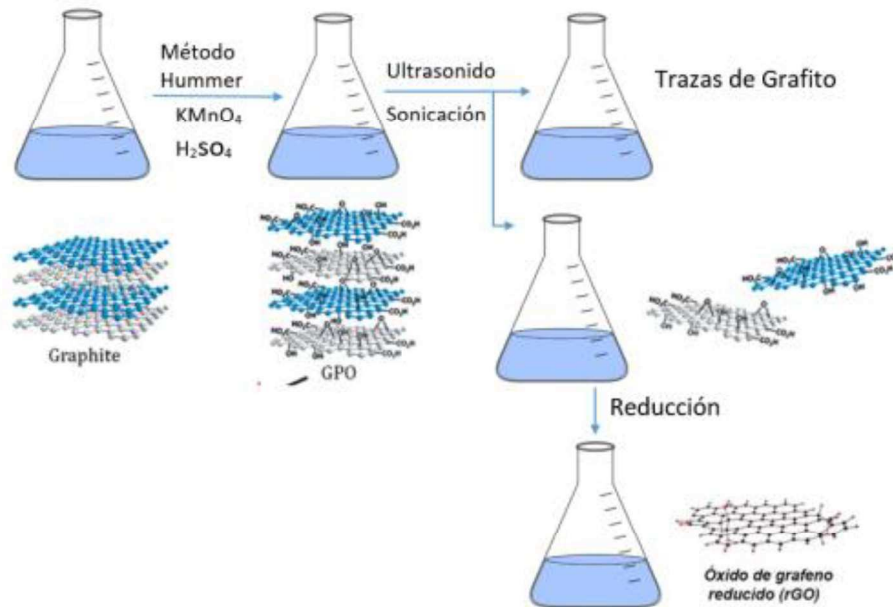


Figura 50 : Esquema de obtención de GO por el método de solución de exfoliación.

Propiedades

El grafeno es una sustancia con unas características muy interesantes, algunas asombrosas. Estas propiedades junto a la abundancia de carbono en la naturaleza han hecho al grafeno ganarse el adjetivo de «material del futuro». Algunas de las características más destacadas del grafeno son:

- Es bidimensional, unas 100.000 veces más delgado que el cabello humano.
- Es el material más resistente de la naturaleza, 200 veces más que el acero estructural con su mismo espesor.
- Es más duro al rayado que el diamante.
- Es más flexible que la fibra de carbono y elástico.
- Con la misma densidad que la fibra de carbono, es 5 veces más ligero que el aluminio. Una lámina de grafeno de 1 m^2 pesa solo 0,77 mg.
- Es hidrófugo, repele el agua y la corrosión.
- Es inerte químicamente, no reacciona con el oxígeno del aire ni se oxida.
- Posee una gran superficie específica (SSA) de $2.600 \text{ m}^2/\text{g}$, de modo que un gramo bastaría para cubrir totalmente un campo de fútbol.
- Es tan denso que ni siquiera los átomos de helio son capaces de atravesarlo. Sin embargo, sí permite el paso del vapor de agua.
- Es casi transparente a la luz, pues la absorción óptica de una sola capa de grafeno es de solo $\sim 2,3\%$ en el espectro visible.
- Tiene una alta conductividad térmica y eléctrica, mayor que las del cobre y la plata.
- Se calienta menos al conducir los electrones (menor efecto Joule) y consume menos electricidad para una misma tarea que el silicio.
- Es multiplicador de frecuencias, por lo que permite trabajar a altas frecuencias de reloj.
- Soporta la radiación ionizante, con lo que es aplicable en ámbitos como el sanitario (radioterapia, etc.)
- Es biocompatible, no es tóxico para las células biológicas.

- Es bactericida, pero permite el crecimiento de células. Las bacterias no crecen en él y, por tanto, puede ser útil en la industria alimentaria o en la biomedicina.
- Puede reaccionar químicamente con otras sustancias para formar compuestos nuevos con diferentes propiedades, lo que abre un abanico prácticamente ilimitado de campos de aplicación.

Campos de aplicación

El grafeno todavía no se encuentra en muchas aplicaciones debido al coste del material, los problemas que existen para transportarlo y la salud de su manipulación y la resistencia que existe a aplicar nuevas tecnologías. Sin embargo, es un material que promete revolucionar muchos sectores debidos a sus propiedades, entre ellos podemos citar:

- **Electrónica**⁹: se han conseguido fabricar transistores 10 veces más rápidos que los de silicio y se estima que se podrían crear discos duros del mismo tamaño a los de hoy en día, pero capaces de almacenar 1.000 veces más información.
- **Energía solar**¹⁰: el grafeno tiene una buena respuesta termoeléctrica a la luz y una extraordinaria sensibilidad a la luz, además de una excelente conductividad eléctrica.
- **Almacenamiento de energía**¹¹: Se están investigando la aplicación del grafeno en las baterías, este no sólo puede incrementar la capacidad de éstas, sino que también puede ser capaz de incrementar la velocidad de carga.
- **Blindaje**¹²: el grafeno es el material más duro del mundo, lo que le convierte en un material apto para la realización de equipos de protección personal.
- **Disipadores de calor**¹³: gracias a la excelente conductividad térmica y bajo peso lo convierte en un disipador ideal para equipos electrónicos de alto rendimiento.



Figura 51. Aplicaciones del grafeno.

6. Problemática

Existen 3 problemas fundamentales que puedan acortar la vida de la pala, es por ello que los distintos fabricantes de palas y de materiales aplicados a las palas están intentando minimizar o solventar para aumentar la durabilidad de las mismas.

Efectos del calor sobre la pala

Los fabricantes de goma EVA insisten en que pasados los 50 grados se pierden las propiedades mecánicas de resistencia, dureza o capacidad de rebote, entre otras. En resumen, el calor puede hacer que nuestra pala sea:

- Más blanda.
- Menos precisa.
- Menos potente.
- Más proclive a que se rompa (menos resistente).

Los overgrips son otro de los elementos perjudicados ante las altas temperaturas del verano y es frecuente que en esta época se despeguen con facilidad. En cuando esto suceda es conveniente cambiarlos e ir sustituyéndolos con mayor frecuencia para seguir manteniendo sus propiedades de agarre. Además, tenemos que tener en cuenta que la sudoración en el periodo estival, que es mayor, por lo que debemos de buscar un modelo con gran capacidad de absorción.

La salida de bola de las palas disminuye y el jugar con una pala más blanda nos va a facilitar golpear la pelota y que esta salga en las mejores condiciones.

Algunos fabricantes de materiales polímeros como dunlop, están desarrollando materiales polímeros que para que sean más estables a la diferencia de temperaturas entre verano e invierno.

Problemas de fatiga en la pala

Las palas de pádel están sometidas ciclos de fatiga debido a los impactos a las que se encuentran sometidas. Este proceso es capaz de generar dos fenómenos desde el punto de vista estructural:

- La pérdida de rigidez a lo largo de la aplicación de los ciclos de carga.
- La rotura de la pala tras la aplicación de ciclos de carga a un inferior de resistencia estática.

Este comportamiento es como consecuencia de la conjunción de varios mecanismos de daño⁵ que van surgiendo en distintos puntos del material. La consecución de daños o de defectos en el material influyen en gran medida en el comportamiento a fatiga de los materiales compuestos.

El proceso de fatiga no sólo afecta al material de la cara, si no también, afecta al material del núcleo de la pala. A la largo los impactos va produciendo la deslaminación¹⁴ de las capas del material de la cara, mientras que a su vez el material del núcleo va perdiendo elasticidad dejando de recuperar su forma produciendo cavidades en la cara plana de la pala y el núcleo de la misma.

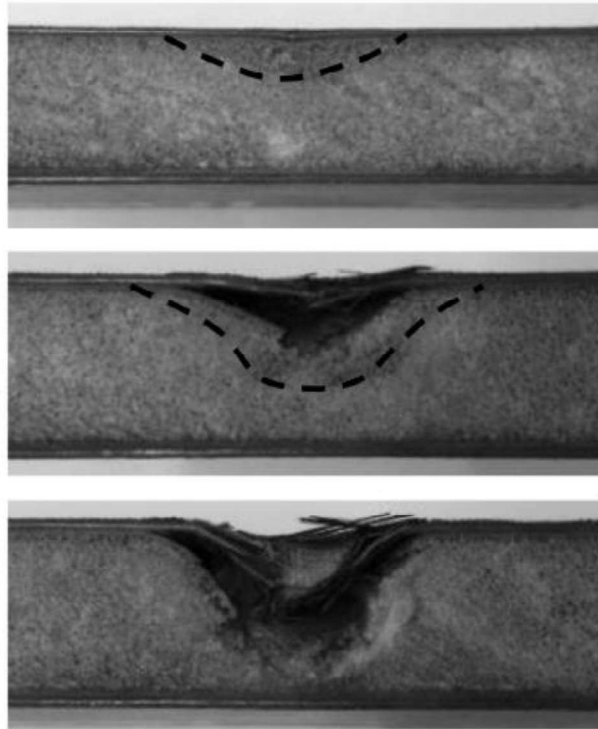


Figura 52. Desarrollo del proceso de fatiga en materiales compuestos.

Rotura prematura en la pala

La rotura prematura de las palas puede producirse de muchas maneras, pero fundamentalmente se produce por dos efectos:

- Rotura por impacto¹⁵, es la clásica rotura en la que se golpea la pala contra un objeto de mayor dureza como puede ser las paredes laterales de la pista de pádel. Un impacto puede producir una grieta o fisura en el laminado, esta pequeña grieta puede avanzar

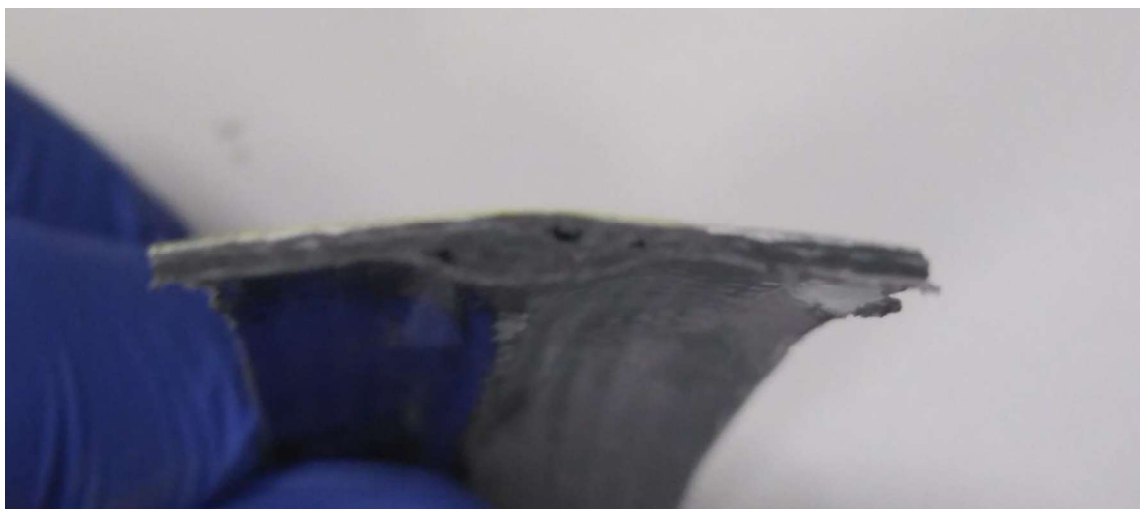


Figura 53. Defectos internos en el interior del marco.

por la matriz y generar la delaminación de las capas del material produciendo la falla prematura de la pala de pádel.

- Rotura por concentración de tensiones¹⁶. Esta rotura se produce en palas que tienen un estriado en las caras, este estriado si se encuentra cerca de los agujeros puede generar una concentración de tensiones si se golpea cerca de esa zona con la bola, generando una grieta en la cara de la pala.
- Rotura por defectos de fabricación, el proceso de fabricación de pala se realiza de forma, prácticamente artesanal, pudiendo generar en el interior de la pala huecos o acumulaciones de material que pueden causar

7. Estudio de las alternativas de diseño

Pala desmontable

La pala desmontable consistirá en una pala con una cara que es fija y otra que pueda ser desmontable, con ella se cambiar el material interno de la pala, pudiendo adaptarse el material a la época del año o al estilo de juego del jugador.

Ventajas

Adaptable al juego/ época del año
Material interno personalizable
Fácilmente reparable

Inconvenientes

Mayor peso
Incremento de coste
Mayor probabilidad de rotura

Kit de palas verano/invierno

La idea es generar un kit de palas que tengan un coste similar a una pala sola pala de pádel así el jugador. Dispondrá de unas palas adaptadas a la época en vez de tener que comprar de distintas palas de pádel para cada época.

Ventajas

Adaptable al juego/ época del año

Inconvenientes

Mayor coste de fabricación
Que el tacto de una pala no sea del agrado de los clientes

Pala con combinación de distintas espumas

Se empleará distintos tipos de materiales de tipo de espuma de foam para lograr un comportamiento más homogéneo tanto en el invierno y en el verano mediante el empleo de distintos tipos de espuma en láminas.

Ventajas

Sencillez de fabricación

Precio económico

Inconvenientes

Según los materiales empleados puede tener diferente tacto

No tan eficiente como otras soluciones

Pala con interior de espuma de silicona

La silicona tiene mayor estabilidad térmica que las espumas de otros polímeros, lo que podría ser un material más apropiado como núcleo de las palas dado que permanecería inalterable durante todo el año.

Ventajas

Sencillez de fabricación

Económico

Inconvenientes

Incremento de peso

Dificultad de encontrar proveedor

Desconocimiento del comportamiento del material

Pala fabricada con lino/corcho

Se estudia una pala realizada partes de madera de balsa y lino para sus caras y marco y un interior de corcho.

Ventajas

Sencillez de fabricación

Económico

Térmicamente estable

Inconvenientes

Peso 5 veces superior

Durabilidad inferior a otros materiales

8. Técnicas de caracterización

En este apartado se describen los métodos de caracterización^{17,18} empleados y los equipos específicos de los materiales poliméricos reforzados por fibras y materiales celulares rígidos.

8.1 Ensayo flexión

Es una prueba casi estática que determina el módulo de flexión, el estrés de flexión y la deformación por flexión. Este esfuerzo de flexión se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos. La resistencia del material varía con la distancia entre apoyos, debido a que mientras los momentos flectores aumentan o disminuyen con ésta, los esfuerzos cortantes se mantienen constantes, por lo que será tanto menor su influencia cuanto mayor sea la luz entre apoyos. Es por esta razón que la distancia entre los soportes de la

probeta, han de estar normalizadas, en función de la altura o diámetro de la misma, pudiendo aceptar entonces que la acción del esfuerzo de corte resulta prácticamente despreciable. Para ensayos más precisos la aplicación de la carga se hace por intermedio de dos fuerzas con lo que se logra flexión pura.

El ensayo de flexión se realiza en la máquina de ensayos universal. El ensayo de flexión se puede realizar de diferentes formas en función del tipo de los apoyos, que puede ser de un apoyo, dos apoyos y cuatro apoyos.

La característica más destacada de un objeto que es sometido a flexión es que presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. Al esfuerzo que provoca una flexión se le denomina momento flector.

Los resultados obtenidos por un ensayo de flexión muestran de forma especial el comportamiento del material cerca de la superficie de la probeta. En comparación con el ensayo de tracción, las flexiones medidas en el ensayo de flexión son aproximadamente cuatro veces mayores que los cambios de longitud producidos en el ensayo de tracción.

8.2 Metodología de ensayo

La determinación del ensayo de flexión se ha llevado a cabo según las directrices marcadas en la normativa UNE-EN-ISO 14125:1998 Compuestos plásticos reforzados con fibras, Determinación de la propiedades de flexión, mínimo de 6 probetas por composición a las velocidades específicas según la normativa de ensayos de cada material a una temperatura ambiente ($22^{\circ}\text{C}\pm 2,5$).

Para el ensayo de los materiales del núcleo de la pala sea empleado la normativa UNE-ISO 1209-1:2007 Materiales celulares rígidos, Determinación de las propiedades de flexión. se han realizado un mínimo de 6 probetas por composición a las velocidades específicas según la normativa de ensayos de cada material a temperatura ambiente ($22^{\circ}\text{C}\pm 2,5$), a -10°C y a 40°C para los materiales compuestos plásticos reforzados por fibras, además se ha realizado un ensayo adicional a una temperatura de entre 5°C y 10°C , que podría ser una temperatura de trabajo de la pala en invierno.

A partir del esfuerzo, se han determinado los siguientes parámetros:

$$\sigma_F = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Donde:

F es la fuerza aplicada, en Newtons.

L es la distancia entre los apoyos, en milímetros

b es la anchura, en milímetros, de la probeta

h es el espesor, en milímetros, de la probeta

El esquema de montaje de las probetas es según la imagen siguiente:

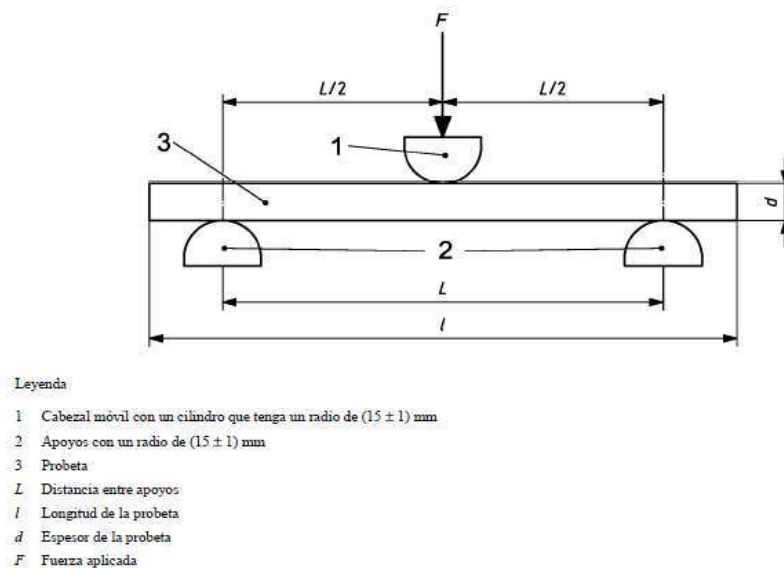


Figura 54. Esquema de montaje según la normativa ISO 14125:1998.

Tabla 3. Tamaño de las probetas según la UNE-EN-ISO 14125:1998.

Probeta	Longitud (l) (mm)	Distancia apoyos (L) (mm)
ERFC	120	100
ERFV	80	60

Tabla 4. Tamaño de las probetas según la UNE-EN-ISO 1209-1:2007.

Probeta	Longitud (l) (mm)	Distancia apoyos (L) (mm)
Polímeros celulares	120	100

Probetas

Las probetas deben cumplir una forma de paralelepípeda rectangular y tener las siguientes dimensiones:

Tabla 5. Probeta de materiales reforzados por fibras.

Probeta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)
ERFC	120 (-0 +10)	15± 0,2	En función pala
ERFV	60 (-0 +10)	15± 0,2	En función pala
Marco de la pala	120 (-0 +10)	15± 0,2	En función pala

Tabla 6. Probetas de materiales celulares rígidos.

	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)
Probeta	120 ± 1,2	25 ± 0,25	20 ± 0,2
Probeta bi-material	120	30	25

Debido a la forma de la pala, las probetas extraídas del marco tendrán una forma curvada, para su ensayo se podrán con el lado cóncavo hacia la parte inferior de los apoyos de la máquina.

Equipos empleados

Los ensayos de flexión se realizaron en la máquina universal de ensayos IBERTEST ELIB 30 (S.A.E. Ibertest, Madrid, España) que posee el departamento. La realización de las probetas y desarrollo del ensayo de tracción se llevaron a cabo de acuerdo a la norma. Todas las probetas, de dimensiones 150 mm de longitud y 10·4 mm² de sección, fueron ensayadas a 25 °C y 50 % de humedad relativa usando una velocidad de tracción de 50 mm·min⁻¹ con una célula de 5 KN. Se ensayaron un mínimo de diez probetas, para cada material y se calculó la media del alargamiento a la rotura y la resistencia mecánica.



Figura 55. Máquina universal de ensayos del laboratorio de ensayos destructivos.

Polímeros reforzados por fibras

Las probetas de los materiales reforzados por fibras se han extraído de 5 palas de pádel, de distinta composición. Para ello se ha pegado una pegatina con la forma de la probeta de flexión. Gracias a una amoladora rotativa con un disco de corte se han ido extraído las probetas tanto de las caras planas, así como de los marcos de las palas.

Tabla 7. Materiales reforzados por fibras empleados.

Marcos	Caras planas
Epoxi reforzado fibra de vidrio	Epoxi reforzado fibra de vidrio
Epoxi reforzado fibra de carbono	Epoxi reforzado fibra de carbono
Epoxi reforzado fibra de carbono y vidrio.	Epoxi reforzado fibra de carbono y vidrio
Epoxi reforzado fibra de carbono y aramida.	Epoxi reforzado fibra de lino

Polímeros celulares rígidos

El material de partida para los ensayos, se usa diferentes laminados industriales con un espesor de 20 mm, mediante un útil con las dimensiones de las probetas de flexión y una cuchilla, se realiza el corte de las láminas.

Tabla 8. Materiales celulares rígidos empleados.

Materiales	Densidad (kg/m ³)
PE-HD	45
Goma Eva	80-90
Poliuretano	35
PE-HD (stratocell)	16

8.3 Cálculos y expresión de los resultados

Para el cálculo de los diferentes parámetros obtenidos en los ensayos de flexión se utilizan las fórmulas descritas en este apartado.

Esfuerzo de flexión

Para la obtención del esfuerzo de flexión se utiliza la siguiente fórmula:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2}$$

donde

σ_f es el parámetro de esfuerzo deflexión en cuestión, en megapascalas,

F es la fuerza aplicada, en newtons;

L es la distancia entre apoyos, en milímetros;

b es la anchura, en milímetros, de la probeta;

h es el espesor, en milímetros, de la probeta.

Módulo de flexión

Para la determinación del módulo de flexión, se calculan las flechas s_1 y s_2 , que corresponden a los valores dados de deformación en flexión $\varepsilon_{f1} = 0,0005$ y $\varepsilon_{f2} = 0,0025$, mediante la fórmula:

$$S_i = \frac{\varepsilon_{fi} L^2}{6h} (i = 1 \text{ o } 2)$$

Donde

S_i es una de las flechas, en milímetros;

ε_{fi} es la deformación en flexión correspondiente, cuyos valores ε_{f1} y ε_{f2} se dieron anteriormente;

L es la distancia entre apoyos en milímetros;

h es el espesor de la probeta, en milímetros.

$$E_f = \frac{L^3}{4bh^3} \left(\frac{\Delta F}{\Delta s} \right)$$

Donde

E_f es el módulo de elasticidad de flexión, expresado en megapascales (MPa);

Δs es la diferencia entre las flechas entre s'' y s' respectivamente

ΔF es la diferencia entre la carga F'' y la carga F' en s'' y s' respectivamente

$$\sigma_f = 500(\sigma_f'' - \sigma_f')$$

σ_f' es el esfuerzo medido en la flecha s' , expresada en megapascales (MPa)

σ_f'' es el esfuerzo medido en la flecha s'' , expresada en megapascales (MPa)

9. Resultados y discusión

9.1 Polímeros reforzados por fibras

Marcos de las palas

Tal y como se ha citado anteriormente, existe un amplio abanico en la composición de los marcos de las palas, en este trabajo se ha estudiado los 4 casos más comunes en las composiciones de los marcos de las palas, que se han compuesto de:

- Epoxi reforzado por fibra de carbono (ERFC).
- Epoxi reforzado por fibra de vidrio (ERFV).
- Epoxi reforzado por fibra de carbono y aramida (ERFC-A).
- Epoxi reforzado por fibra de carbono y fibra vidrio (ERFC-FV).

Tabla 9. Propiedades de flexión obtenidas en los ensayos

	Módulo elástico a flexión E_f (GPa)	Tensión de rotura (MPa)
ERFC	7.90	207.06
ERFC-A	8.94	167.32
ERFC-FV	7.66	159.72
ERFV	8.59	114.64

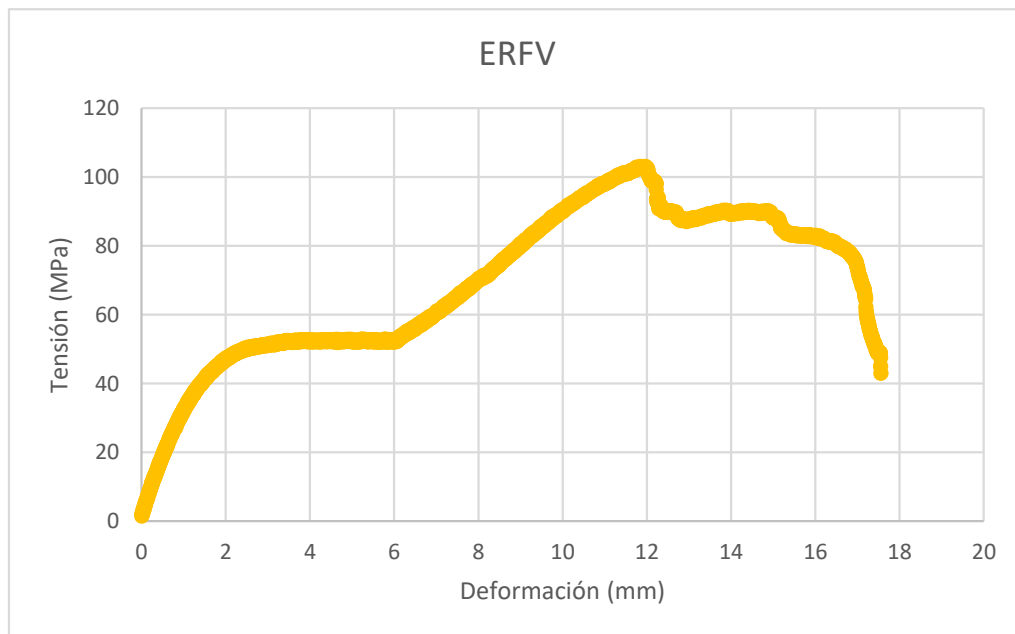


Figura 56. Gráfica tensión deformación de la fibra de vidrio del marco de una pala de pádel.

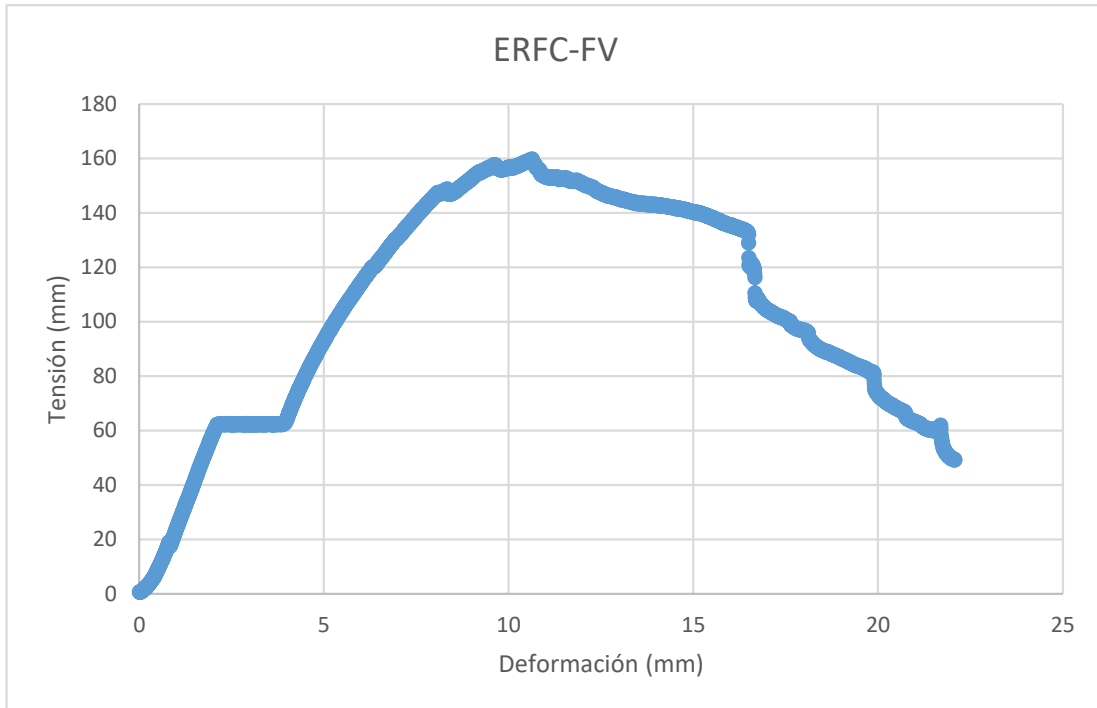


Figura 57. Gráfica tensión deformación del epoxi reforzado por fibra de vidrio y carbono del marco de una pala de pádel.

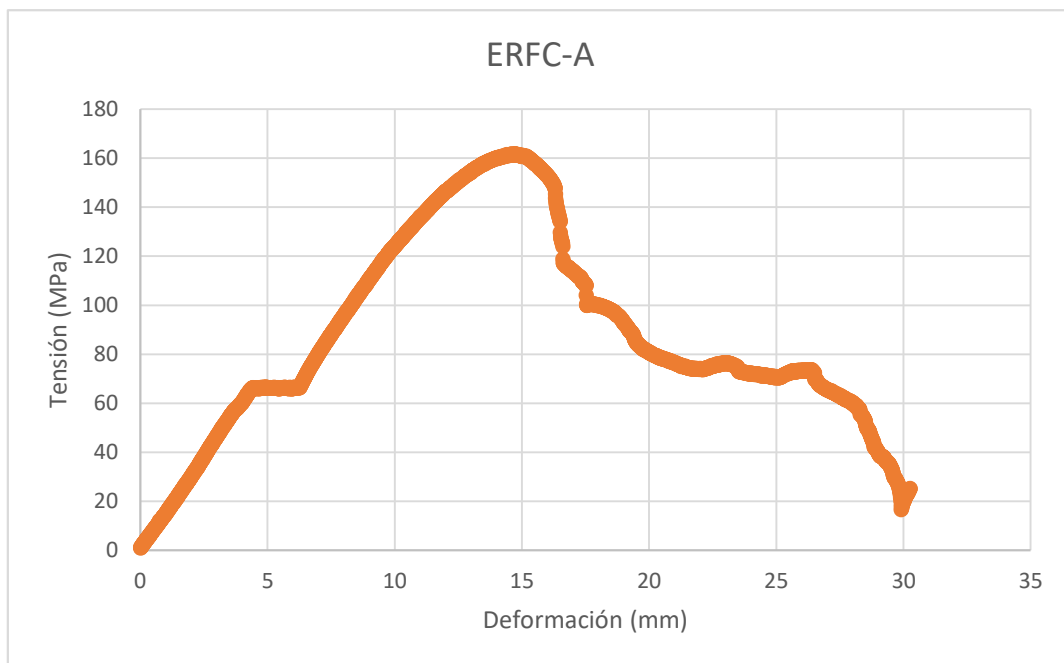


Figura 58. Gráfica tensión deformación del epoxi reforzado con fibra de carbono y aramida de una pala de pádel.

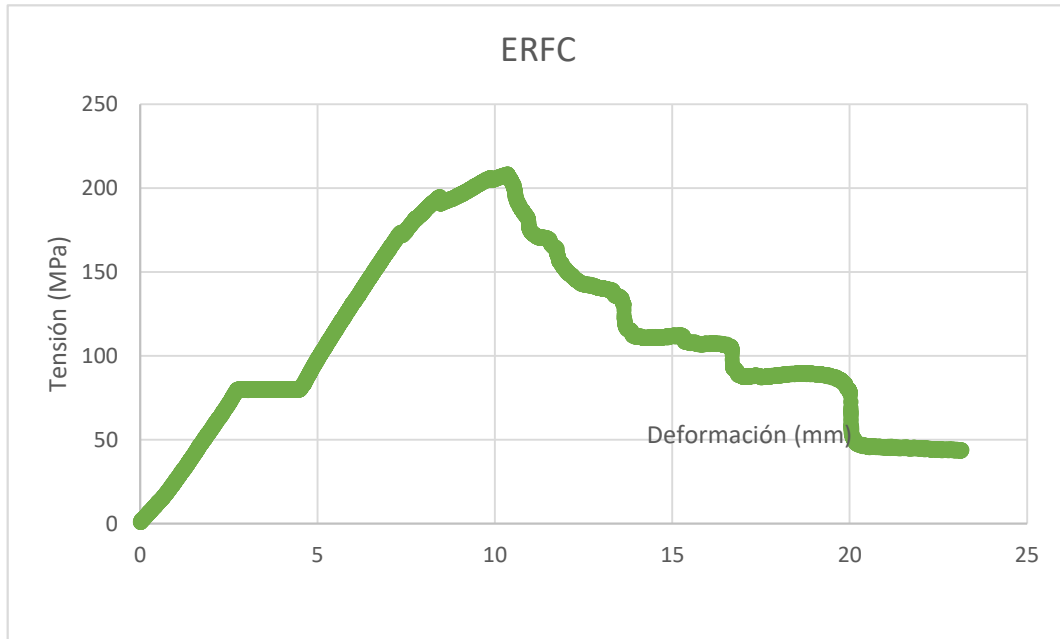


Figura 59. Gráfica tensión deformación del epoxi reforzado con fibra de carbono del marco de una pala de pádel.

Se debe destacar que todas las gráficas del marco de las palas, se observa una parte plana o cuasi plana tras la pendiente inicial, esto es debido a la forma curva del marco, cuando llega a la tensión requerida se deforma de manera elástica, una vez superada esa zona vuelve a comportarse de forma lineal.

Como es de esperar el marco compuesto por epoxi reforzado por fibra de carbono es la más tensión de ha sido capaz de soportar, pero también ha sido el que menos deformación ha experimentado a su rotura, los marcos con fibra de carbono y otra fibra de refuerzo han permitido obtener una mayor deformación a su rotura, siendo la fibra de carbono con aramida la que es capaz de experimentar una mayor deformación antes de su rotura.

Cara plana de las palas

Tabla 10. Propiedades de flexión obtenidas en los ensayos.

	Módulo elástico a flexión E_{fx} (GPa)	Módulo elástico a flexión E_{fy} (GPa)	Tensión de rotura, σ_{fx} (MPa)	Tensión de rotura, σ_{fy} (MPa)
ERFC	9.43	9.62	246.51	254.39
ERFC-FV	6.08	7.2	100.84	113.47
ERFV	5.58	7.21	100,5	113.7
ERFL	1.06	1.06	50.40	55.61

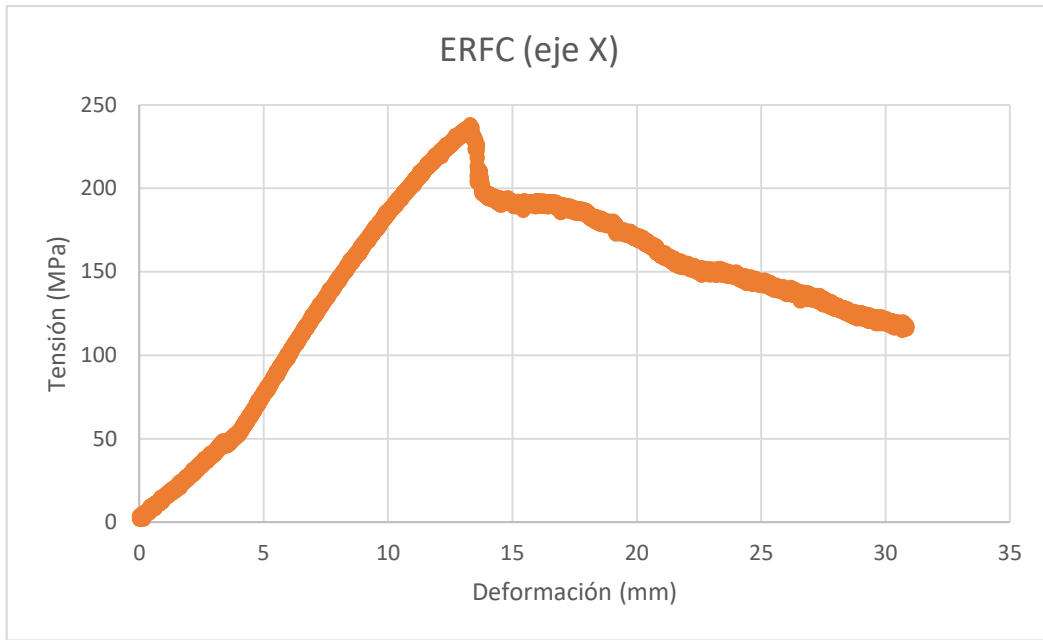


Figura 60. Gráfica tensión deformación en el eje x del epoxi reforzado con fibra de carbono de la cara plana de una pala de pádel.

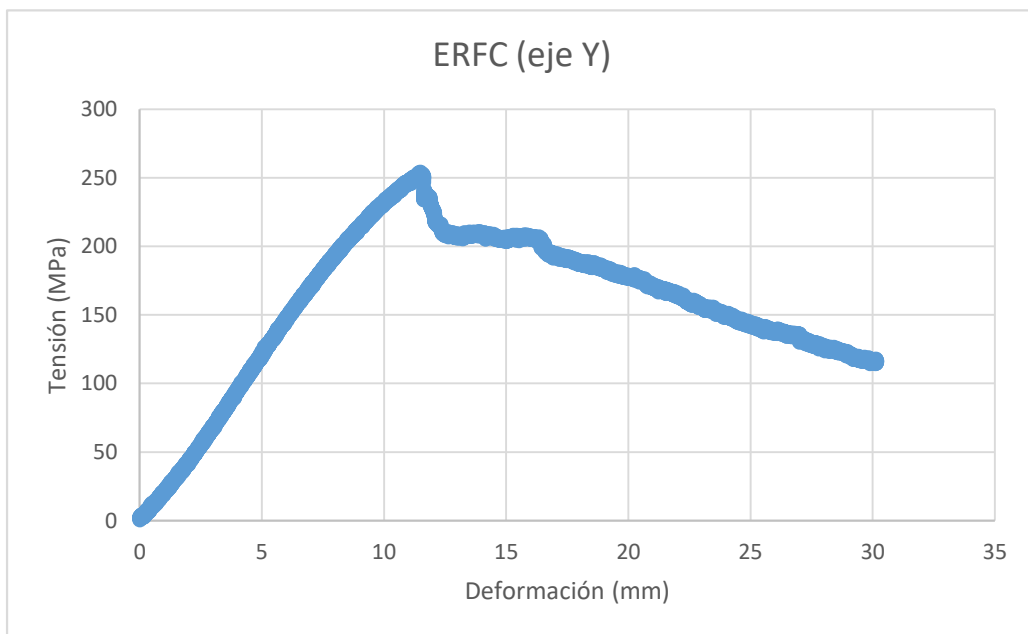


Figura 61. Gráfica tensión deformación en el eje Y del epoxi reforzado con fibra de carbono de la cara plana de una pala de pádel.

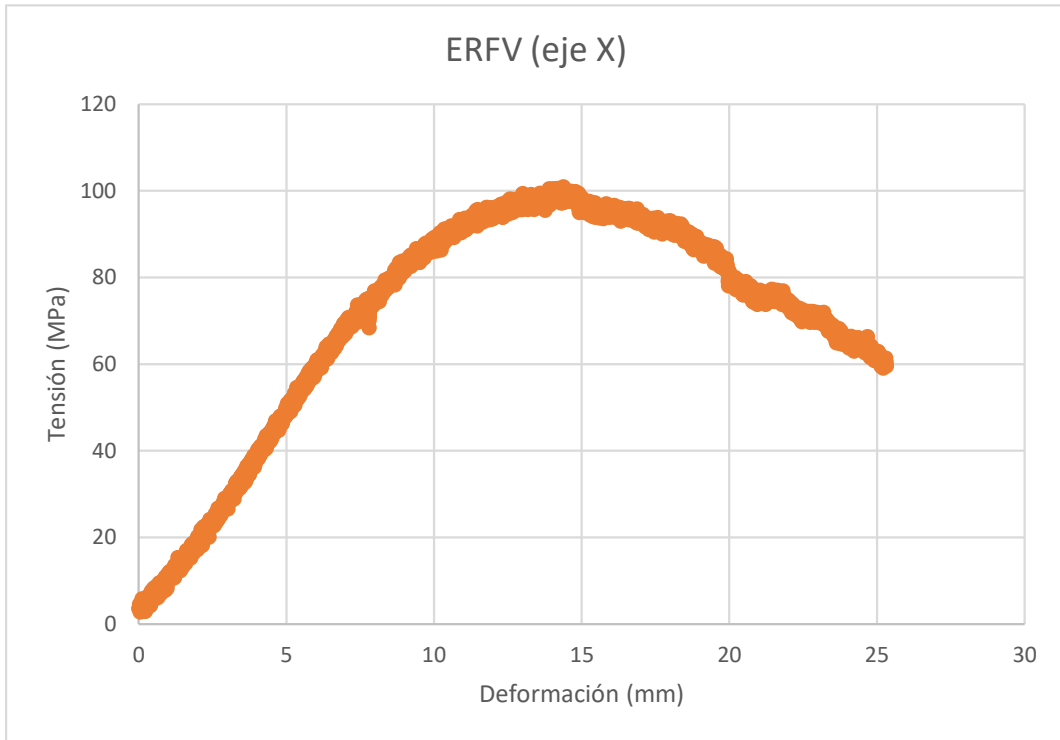


Figura 62. Gráfica tensión deformación en el eje X del epoxi reforzado con fibra de vidrio de la cara plana de una pala de pádel.

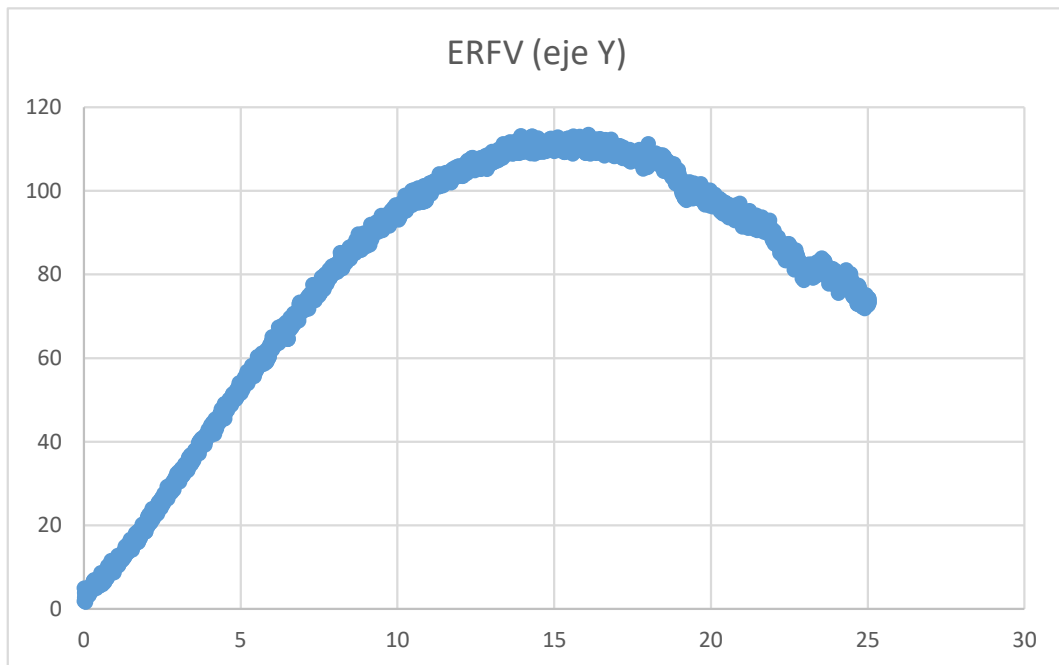


Figura 63. Gráfica tensión deformación en el eje Y del epoxi reforzado con fibra de vidrio de la cara plana de una pala de pádel.

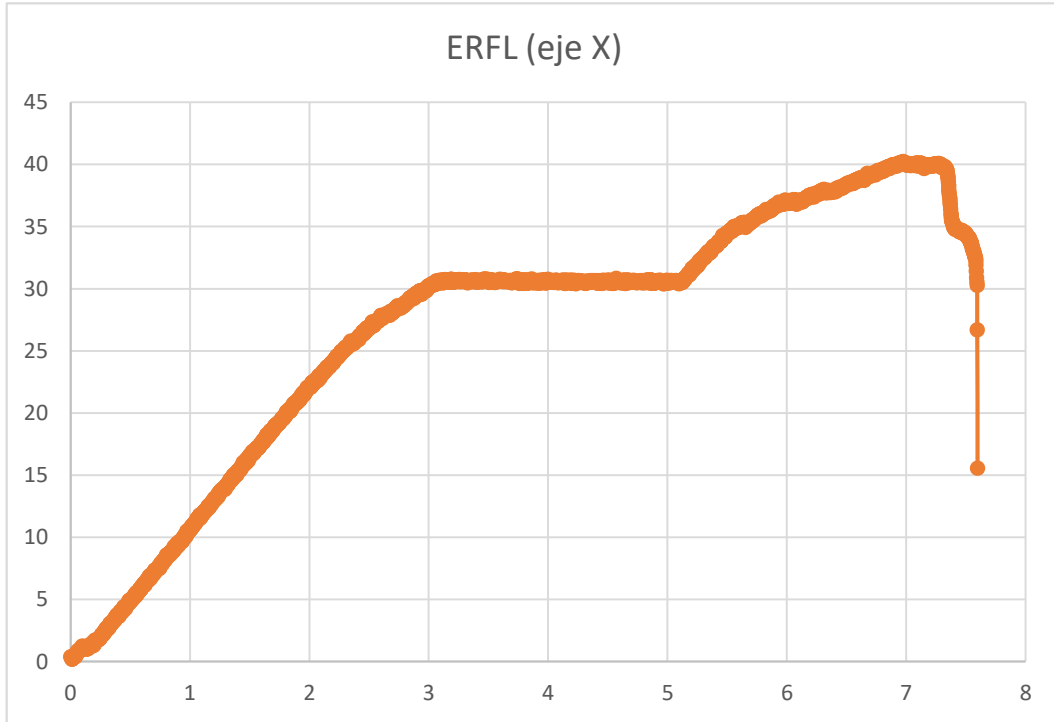


Figura 65. Gráfica tensión deformación en el eje X del epoxi reforzado con fibra de lino.

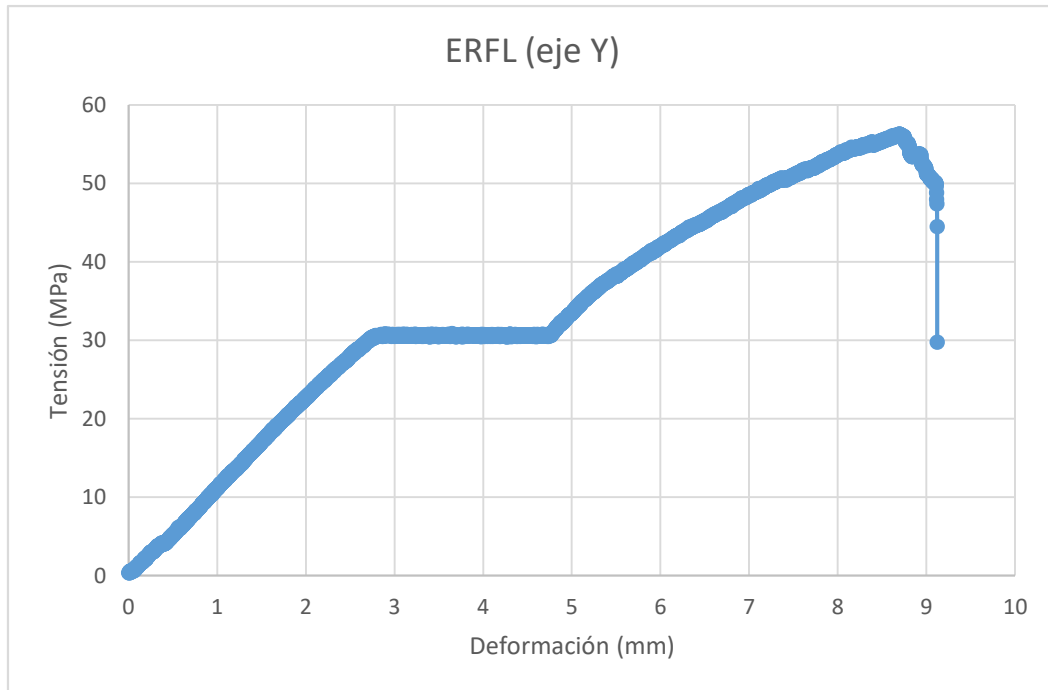


Figura 64. Gráfica tensión deformación en el eje Y del epoxi reforzado con fibra de lino

En las 4 fibras analizadas se observa un comportamiento bastante simétrico en las componentes x e y, tan sólo es un 10% en el lado y, esto puede ser debido a la pala de pádel es más a alargada que ancha y hayan dotado a la componente vertical de mejores propiedades.

En cuanto a las gráficas del epoxi reforzado por fibra de carbono, se observa un comportamiento frágil, la gráfica asciende de forma lineal hasta alcanzar la rotura de una parte de las fibras, luego va descendiendo conforme se van partiendo fibras adicionales.

En las gráficas del epoxi reforzado por fibra de vidrio se observa cierta plasticidad antes de la rotura y no tiene ese carácter tan frágil como la fibra de carbono.

El epoxi reforzado por fibra de Lino, según los resultados obtenidos, no sería una buena alternativa a las fibras tradicionales empleadas en la fabricación de palas de pádel, sus características mecánicas están muy por debajo a las de la fibra de vidrio o la fibra de carbono

9.2 Polímeros de celulares

Etilvinilacetato

El etilvinilacetato en el ensayo de flexión presenta una deformación de 20mm con una fuerza de 30N con una temperatura ambiente. Cuando el material se encuentra a una temperatura de 40°C con la misma deformación presentan una fuerza de 15N, lo que se traduce en capacidad absorción de un 50% menor. En cambio, para temperaturas inferiores, la goma Eva tiende a endurecerse y es capaz de absorber entre 13% a una temperatura de 7,5°C, para una temperatura de -10°C es capaz de absorber un 20% más de energía con respecto la temperatura ambiente.

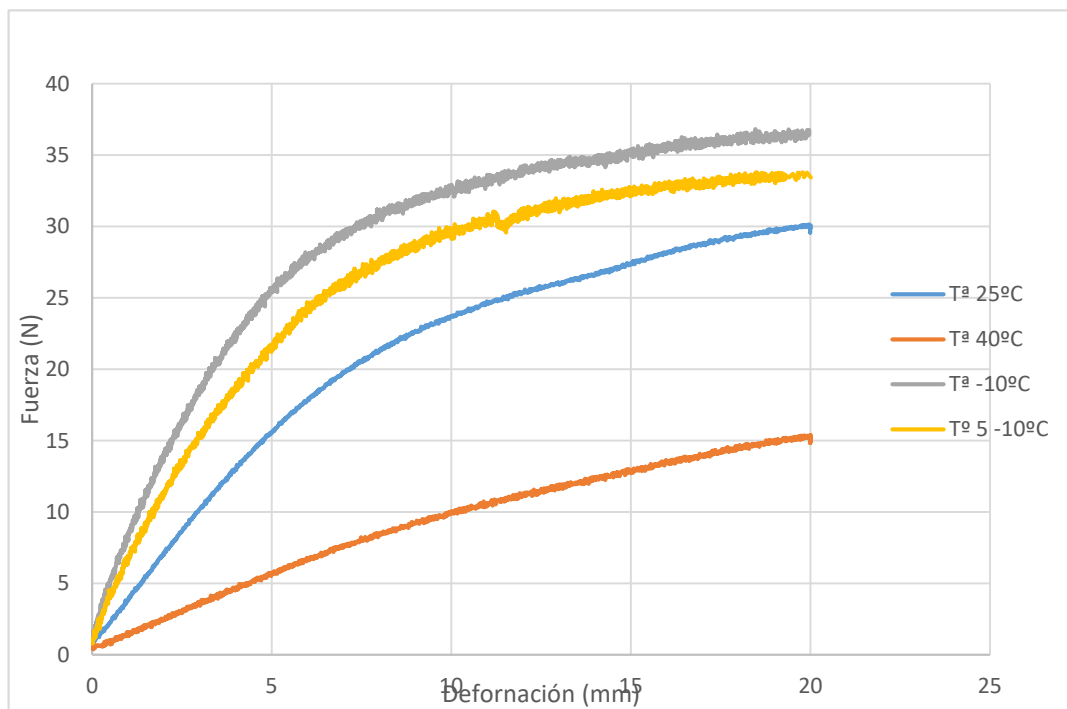


Figura 66. Gráfica fuerza deformación a temperaturas de -10°C, 5-10°C, 22,5°C y 40°C de la espuma de nolieetilenn

Espuma de polietileno de poro abierto

El polietileno expandido de 45kg/m^3 de densidad, para producir una deformación de 13.5mm a temperatura ambiente es necesaria una fuerza de 13.5N , al realizar el calentamiento del material, es necesaria una fuerza de un 25% para producir la misma deformación. Mientras que si el material se enfría es necesaria aplicar una fuerza mayor para producir la misma deformación, siendo necesaria una fuerza del 25% mayor que para la temperatura ambiente para una temperatura de -10°C .

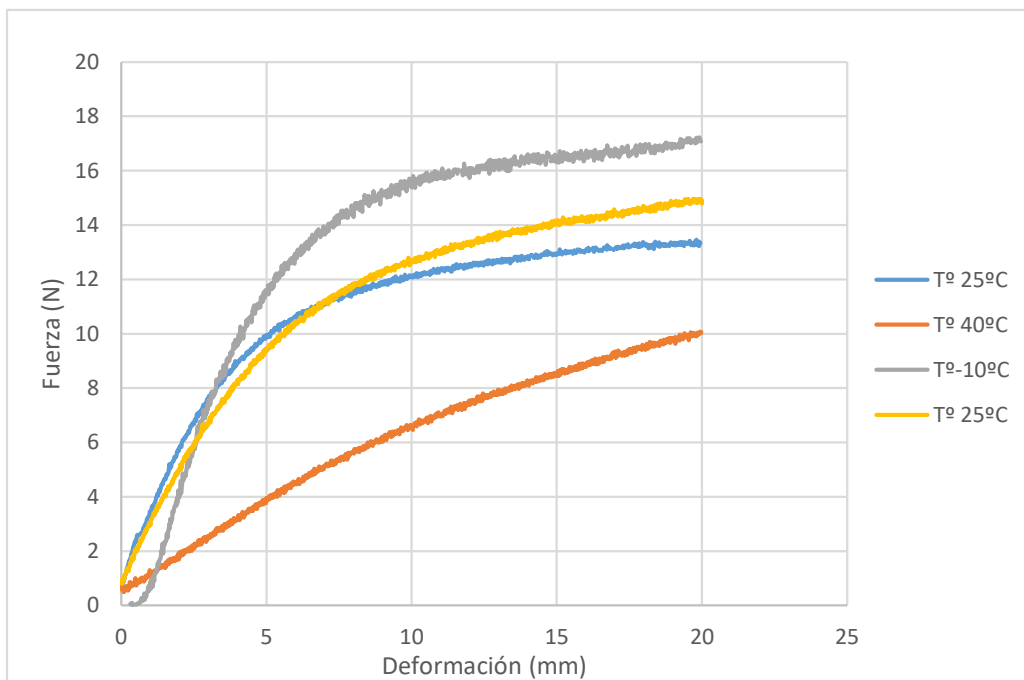


Figura 67. Gráfica fuerza deformación a temperaturas de -10°C , $5-10^\circ\text{C}$, $22,5^\circ\text{C}$ y 40°C de la espuma de etilvinilacetato.

Espuma rígida de poliuretano

La espuma de poliuretano rígido, presenta un carácter frágil, no llegando a producir y generando la rotura de la probeta. Tampoco presenta grandes diferencias de comportamiento entre el rango de temperaturas de -10°C a 25°C . Al calentar a 40°C el material ha descendido sólo un 13,4% para producir la rotura del mismo, por lo que el comportamiento del material es muy similar en el espectro de -10°C a 40°C .

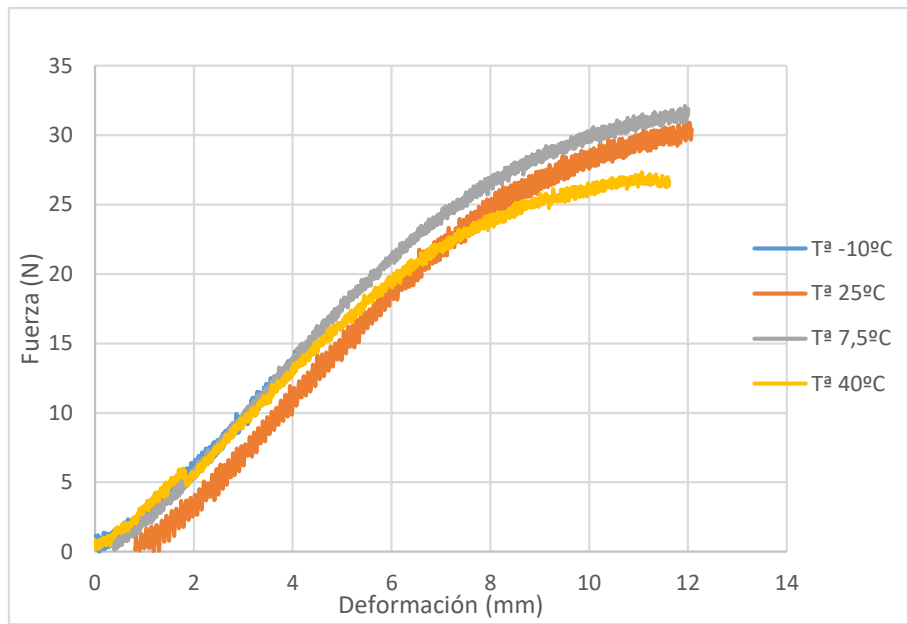


Figura 68. Gráfica fuerza deformación a temperaturas de -10°C, 5-10°C, 22,5°C y 40°C de la espuma de poliuretano.

Polietileno expandido de poro cerrado

El polietileno expandido de poro cerrado es extremadamente blando ya que para producir una deformación de 20mm se ha necesitado tan sólo una fuerza de 2,6N. Al igual que con otras espumas, conforme se ha calentado el material se ha vuelto más blando, en este caso ha descendido la fuerza necesaria para producir la deformación entorno al 60%, esto es debido a que es una espuma cerrada y presenta más cantidad de material que tiende a reblandecerse por el efecto de la temperatura.

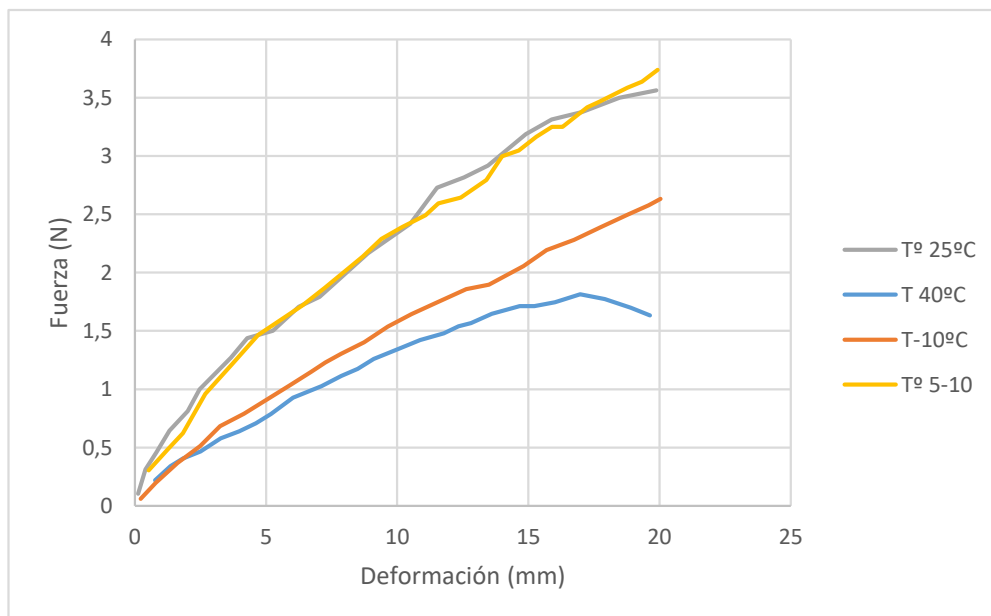


Figura 69. Gráfica fuerza deformación a temperaturas de -10°C, 5-10°C, 22,5°C y 40°C del polietileno expandido de poro cerrado.

Al igual que ha pasado con el resto de las espumas al enfriar el material el material ha tendido a rigidizarse y es necesaria una fuerza del 46% mayor para producir la misma deformación.

Combinación de espumas de polietileno

El comportamiento de la combinación de espumas de polietileno de poro abierto y cerrado, ha sido contraproducente, su comportamiento a temperatura ambiente ha sido parecido a la espuma de polietileno de poro abierto, pero su comportamiento a baja temperatura y a 40C ha tendido a maximizar los efectos del cambio de temperatura.

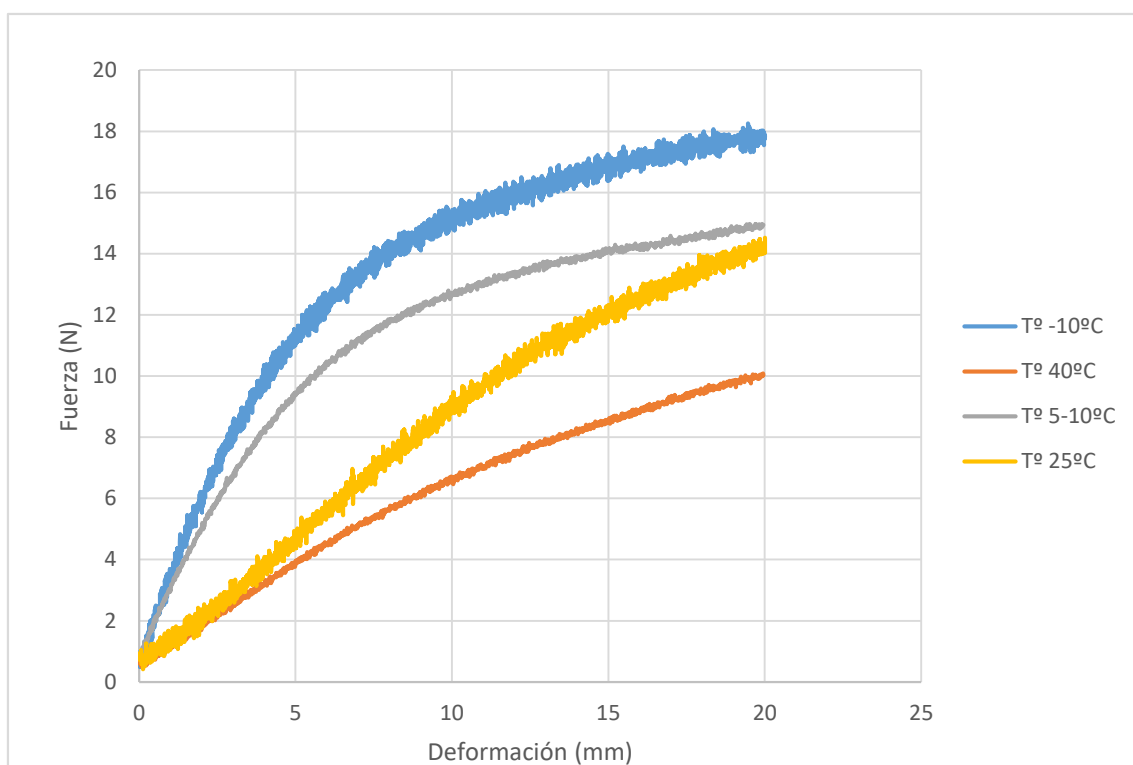


Figura 70. Gráfica fuerza deformación a temperaturas de -10°C, 5-10°C, 22,5°C y 40°C de la combinación de espumas de polietileno.

Los materiales celulares son materiales extremadamente blandos que su dureza viene dada principalmente por su densidad. Al enfriar estos materiales, sus cadenas poliméricas tienden a rigidizarse y son capaces de absorber más energía de impacto.

El efecto opuesto ocurre cuando calentamos un el material celular, a tan sólo una temperatura de 40°C los polímeros celulares se vuelven mucho más blando. Al igual que pasaba al enfriarlos, los polímeros que tienen mayor densidad son los que se ven más afectados por los cambios de temperatura. También se debe destacar que cuanto mayor es la porosidad del material, más fácilmente recupera la temperatura ambiente.

10. Cálculo por elementos finitos

10.1 Modelado 3D

El modelado de la pala de pádel se realiza con el software Solidworks, el método empleado es el diseño mediante de superficies en vez de superficies. Se realiza de esta forma, para poder efectuar el cálculo mediante elementos finitos mediante el software Ansys Workbench. Esto es debido a que será el propio programa CAE el que establecerá los grosores en función de las capas del laminado¹⁹ que se configure.

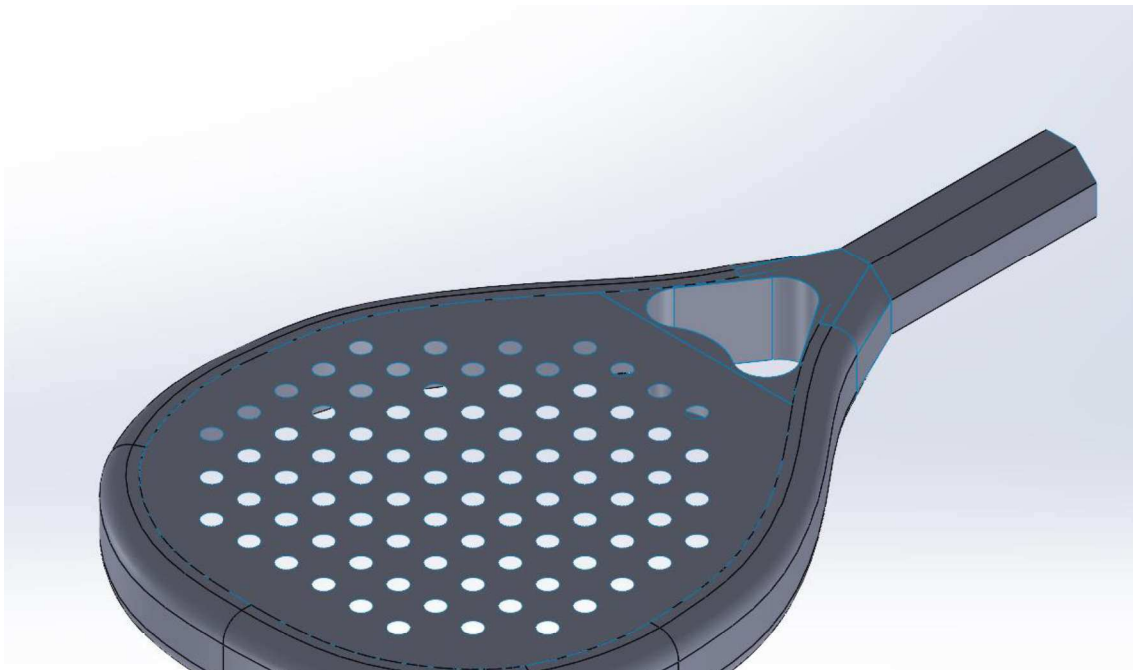


Figura 71. Pala diseñada mediante el software SolidWorks.

10.2 Consideraciones previas

Para modelar el comportamiento mecánico de la pala de pádel se utiliza el módulo ACP²⁰ (Pre), este módulo del Software Ansys Workbench permite estudiar el comportamiento de los materiales compuesto, luego se utiliza un módulo de cálculo.

El módulo de cálculo más apropiado para estudiar el impacto de una pala con una pelota de pádel sería el módulo de “explicit dynamics”. En este caso, teniendo en cuenta al trabajo realizado por Albert Morales 2019 y a las simulaciones previas realizadas, se observa que el tiempo de

simulación y la memoria empleada es considerablemente mayor en simulaciones frente a la simulación estática y en este caso la desviación entre resultados es aceptable.

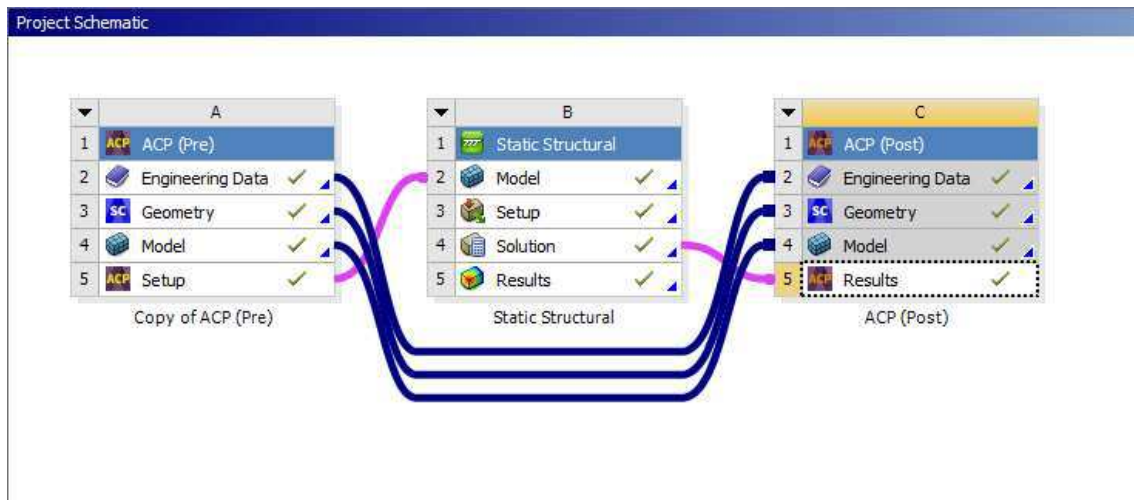


Figura 72. Estructura de proyecto con materiales compuestos en Ansys Workbench

Por último, se emplea el módulo ACP (Post) para estudiar los resultados en cada capa del material.

Condiciones de entorno

Para obtener las condiciones de ensayo se emplea el Principio de D'Alembert, este principio permite estudiar problemas de naturaleza dinámica como si fueran problemas de naturaleza estática, gracias a la introducción de unas acciones físicas ficticias denominadas “*Acciones Inerciales*”. Partiendo de la Segunda Ley de Newton aplicada a un sólido rígido que se encuentre sometido a un movimiento plano:

$$\sum_{i=0}^n \vec{F}_i - m \cdot \vec{a}_G = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (\vec{r}_i \times \vec{F}_i) + \sum_{i=1}^n T_i - I_G \cdot \vec{\alpha} = 0$$

El valor de la fuerza estática equivalente que estará sometida la pala, de forma que se produzcan las sollicitaciones dinámicas equivalentes a las reales en el proceso de golpeo.

$$\vec{F}_{EE} = m_{pelota} \cdot \vec{a}_{pelota}$$

Según la Federación Española de Pádel, el peso de la pelota de pádel se encuentra entre 56 y 59,4gr. en este caso cogemos el valor más “desfavorable” que es 59,4 gr.

En el proceso de impacta la pelota hasta que se detiene se va a suponer una desaceleración constante, para ello calcularemos como si fuera un movimiento rectilíneo uniforme.

$$v_f = v_0 + a \cdot t$$

$$x_f = +x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a t^2$$

A través de las impresiones anteriores, se obtiene el valor de la deceleración:

$$|a| = \left| \frac{v_f - v_0}{t} \right|$$

$$|a| = \left| \frac{0,0 - 20}{0,002} \right|$$

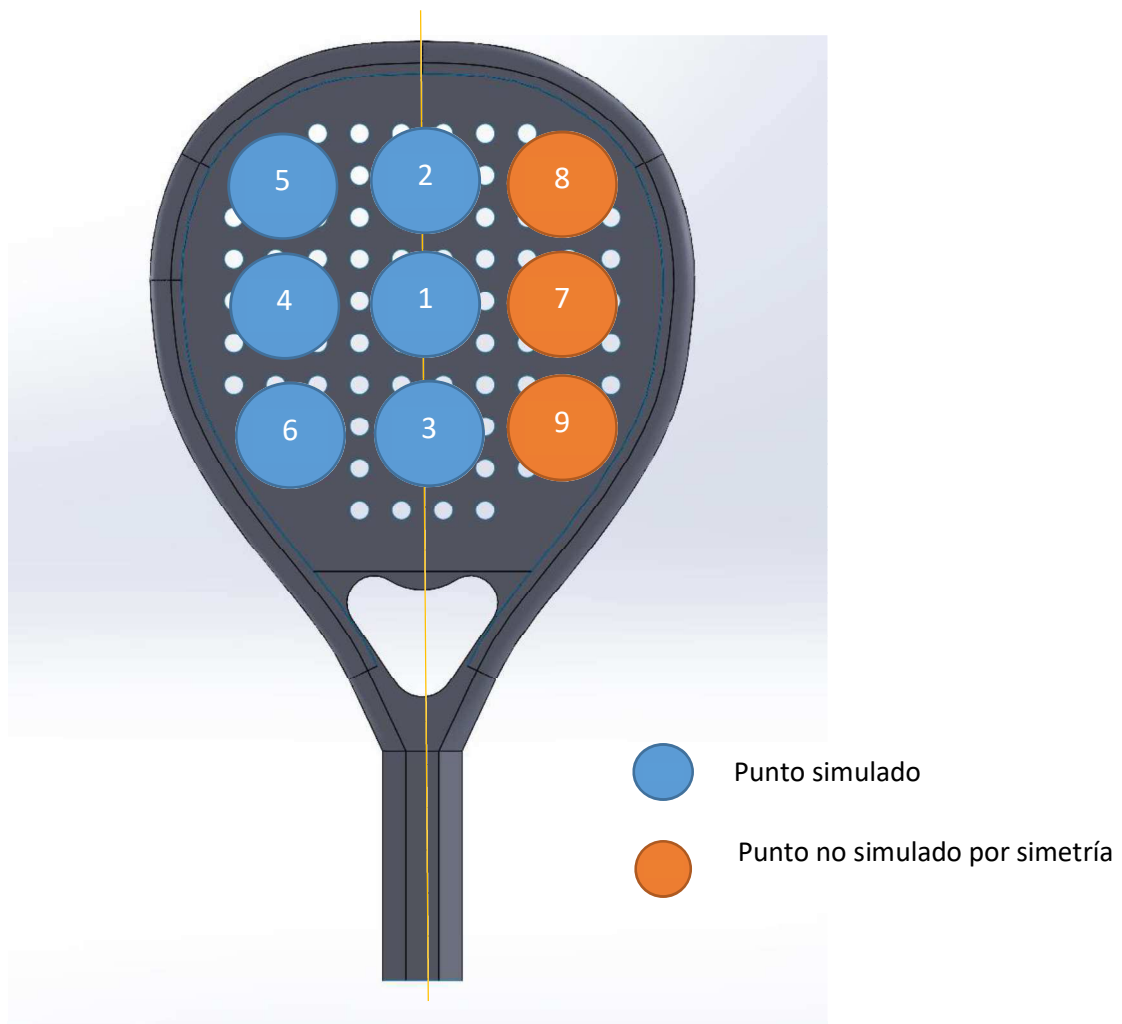
$$|a| = 10000 \text{ m/s}^2$$

Finalmente

$$\overrightarrow{F_{EE}} = m_{pelota} \cdot \overrightarrow{a_{pelota}}$$

$$\overrightarrow{F_{EE}} = 5,94 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^3 = 594 \text{ N}$$

Se realiza 9 puntos de estudio en función del lugar de golpeo de la pala, de estos nuevos puntos se realizan 6 simulaciones dado que la forma de la pala es simétrica se puede extrapolar el resultado al lado derecho de la pala según el eje vertical.



10.3 Configuración del ensayo

En primer lugar, en Ansys worbench, se configura la biblioteca de materiales, para ello se utiliza la biblioteca de fibras pre impregnadas y se crean los materiales con los valores respectivos de sus fichas técnicas, adjuntas en los anexos.

Una vez creado los materiales se abre el módulo “mechanical “y se genera el mallado del modelo, se revisa que la malla mediante tenga una calidad aceptable habilitando “mesh metric skewness” el valor de la media debe encontrar por debajo de 0,3.

Se configura el laminado con las siguientes capas:

Tabla 11. Configuración del laminado.

Nº CAPA	MATERIAL	Grosor (mm)
1	Prepeg.F. Carbono	0.25
2	Prepeg. F. Carbono	0.25
3	Prepeg. F. Carbono	0.25
4	Prepeg.F vidrio	0.25
5	Goma Eva	8
6	Poliuretano	20
7	Goma Eva	8
8	Prepeg. F, Vidrio	0.25
9	Prepeg. F. Carbono	0.25
10	Prepeg. F. Carbono	0.25
11	Prepeg. F. Carbono	0.25

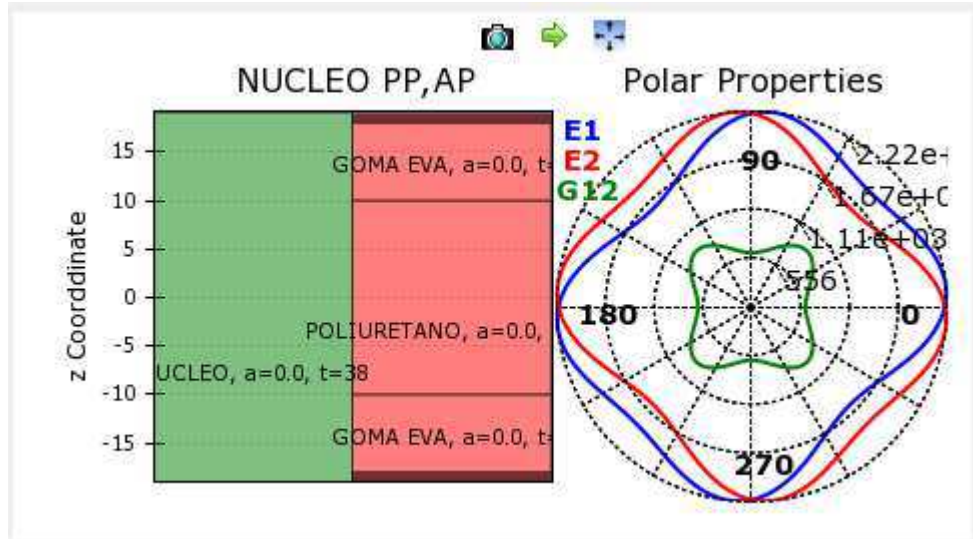


Figura 73. Laminado generado para el núcleo de la pala.

Debido a que dentro del módulo de “Mechanical” no ha sido posible crear un plano para generar la huella de impacto, se aplica la fuerza como si fuera una carga puntual. Se realiza una simulación por cada punto de aplicación del impacto mostrado.

10.4 Resultados

Para la obtención de resultado se emplea el módulo ACP(post), este módulo permite visualizar las soluciones en las distintas capas del laminado.

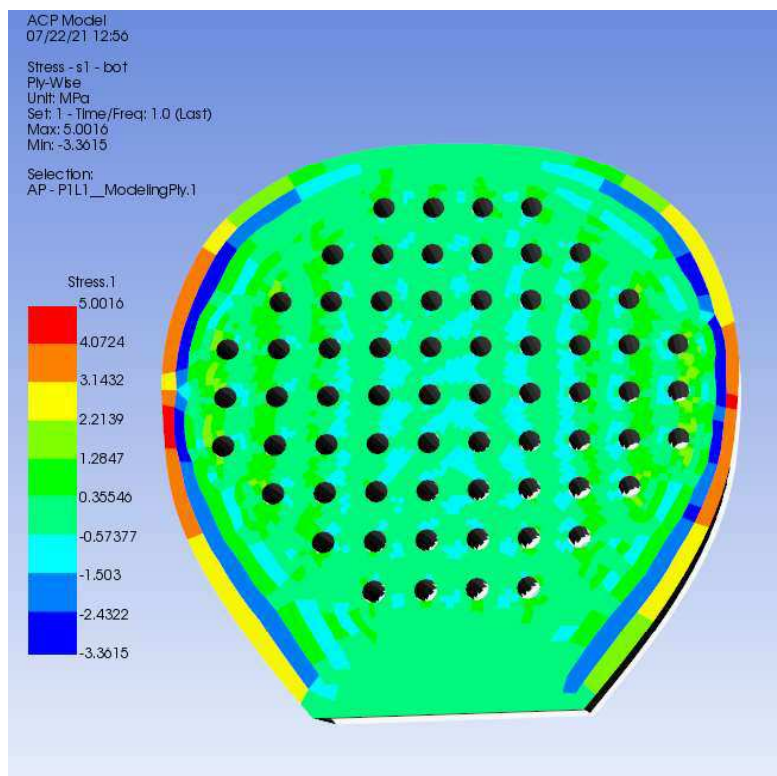
Se ha analizado en la resolución de la simulación los siguientes aspectos:

- Tensiones en las caras de los laminados.
- Factor de seguridad
- Deformaciones producidas.

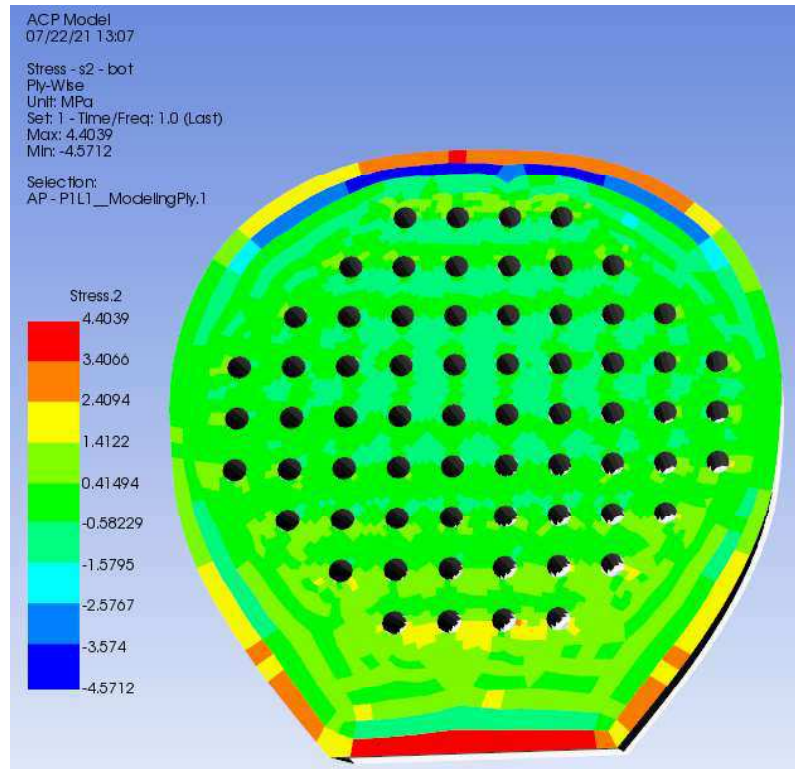
Capa 1 del laminado

Tensiones

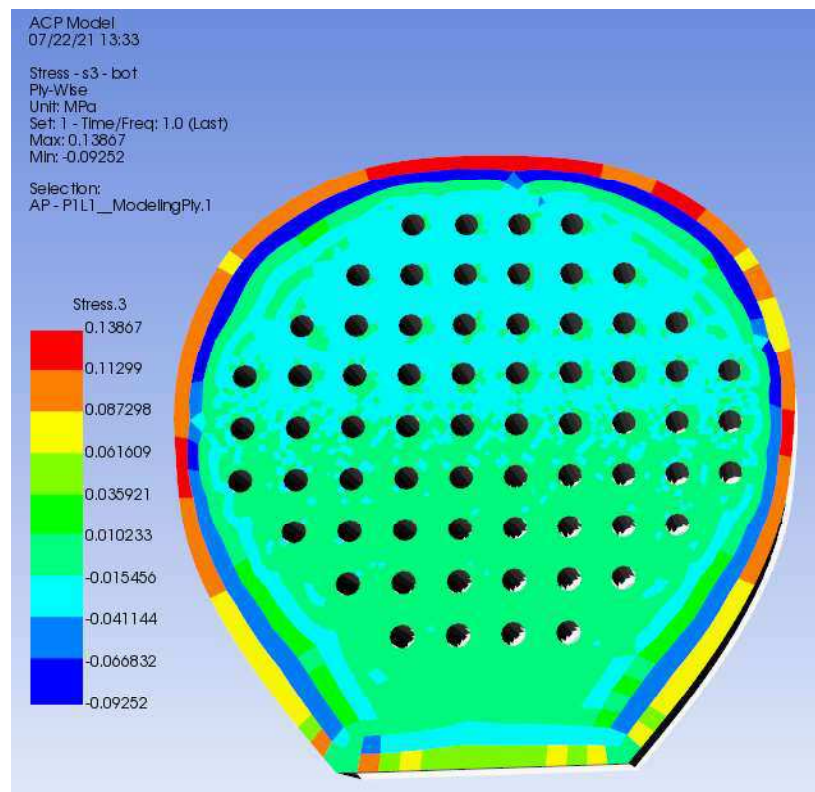
$$\sigma_{1\max} = 5.0016 \text{ MPa} \quad \sigma_{1\min} = -3.36 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{2\max} = 4.40 \text{ MPa} \quad \sigma_{2\min} = -4.57 \text{ MPa}$$

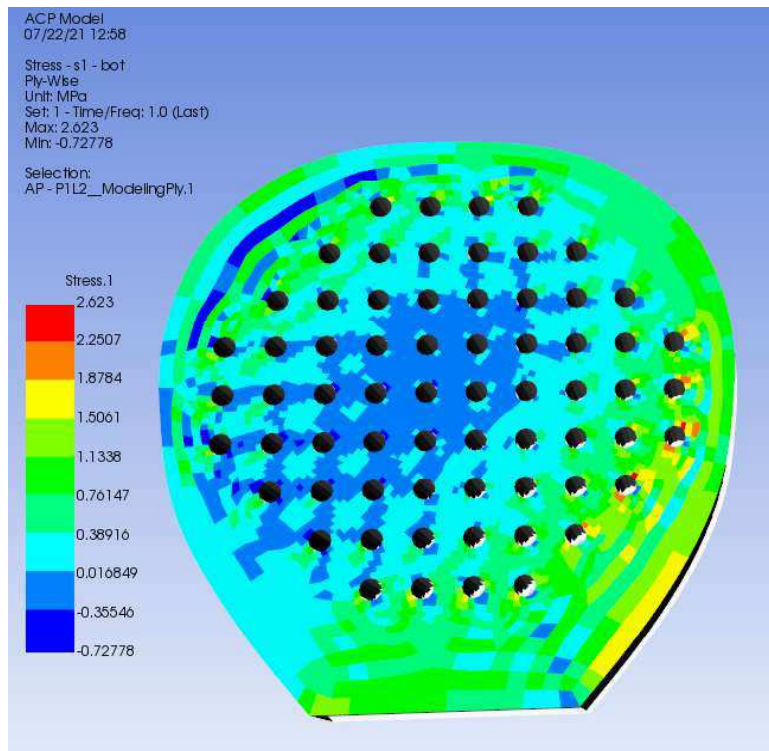


$$\sigma_{3\max} = 0.18 \text{ MPa} \quad \sigma_{3\min} = -0.09 \text{ MPa}$$

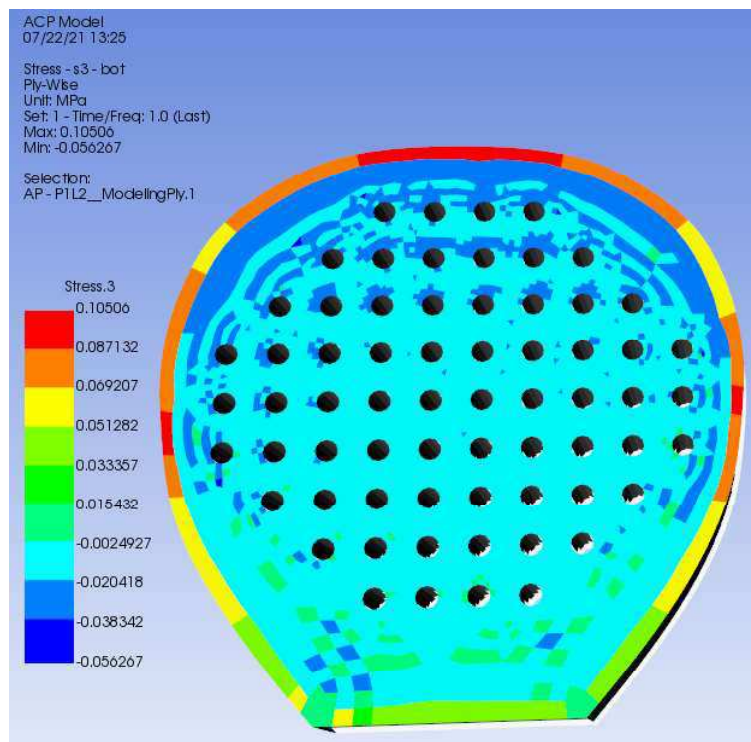


Capa 2 del laminado

$$\sigma_{1\max} = 2.62 \text{ MPa} \quad \sigma_{1\min} = -0.72 \text{ MPa}$$

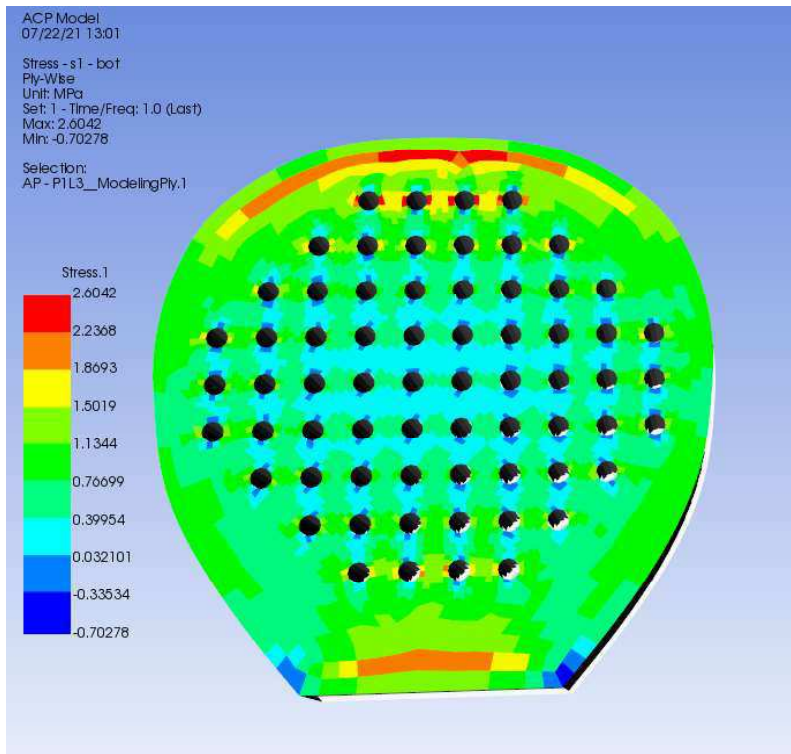


$$\sigma_{2\max} = 2.62 \text{ MPa} \quad \sigma_{2\min} = -0.72 \text{ MPa}$$

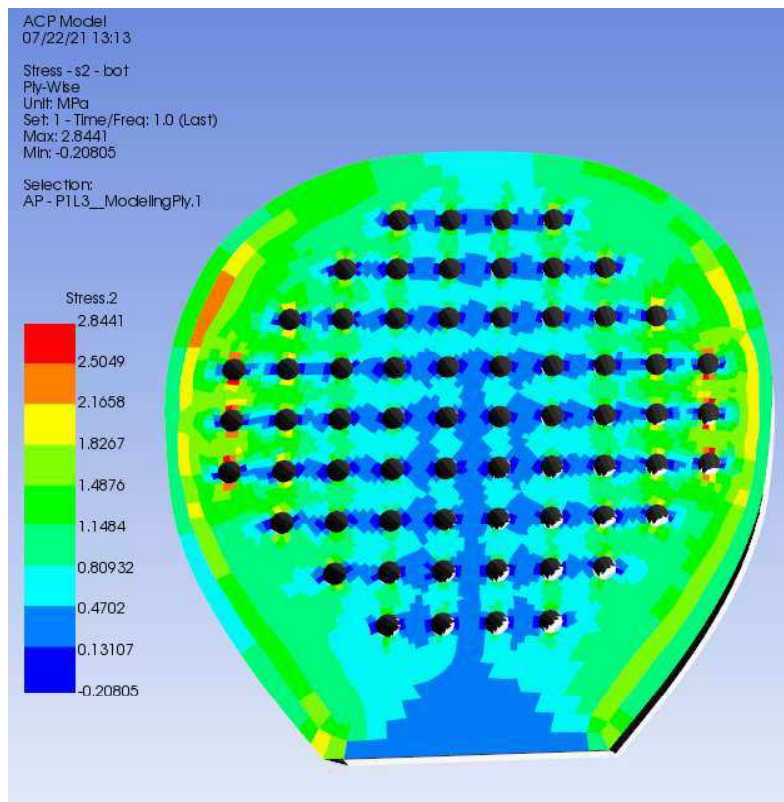


Capa 3 del laminado

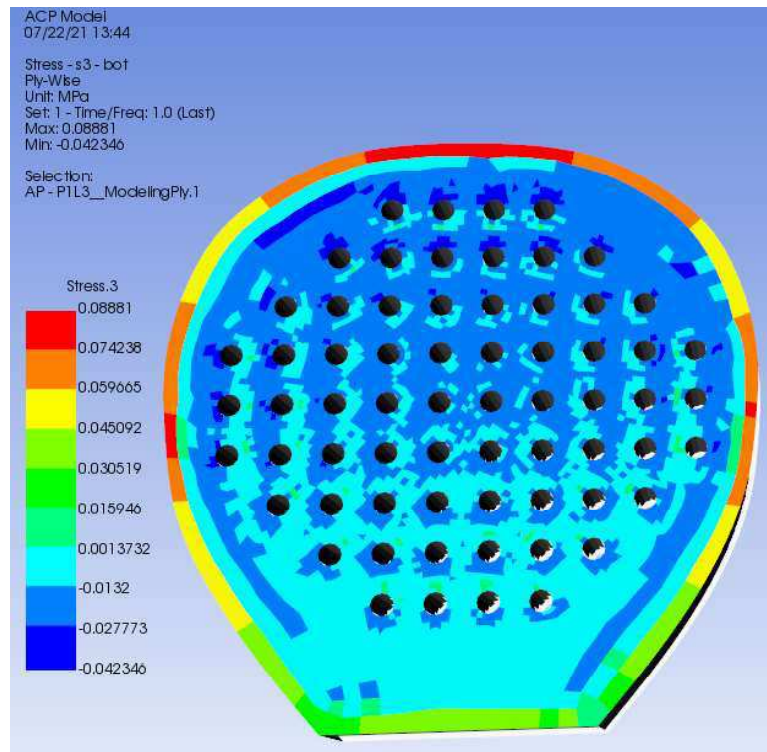
$$\sigma_{1\max} = 0.10 \text{ MPa} \quad \sigma_{1\min} = -0.05 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{2\max} = 2.60 \text{ MPa} \quad \sigma_{2\min} = -0.70 \text{ MPa}$$

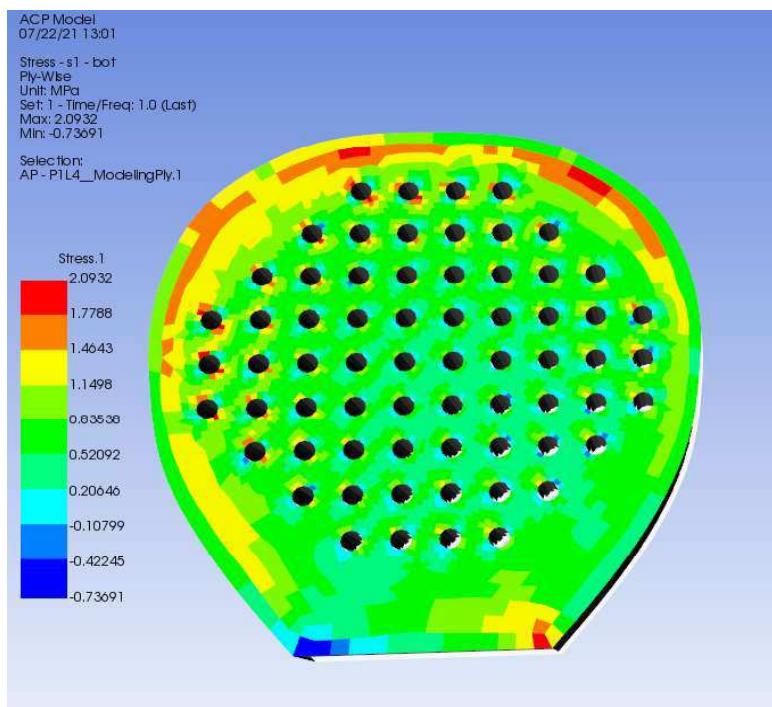


$$\sigma_{3\max} = 0.088 \text{ MPa} \quad \sigma_{3\min} = -0.042 \text{ MPa}$$

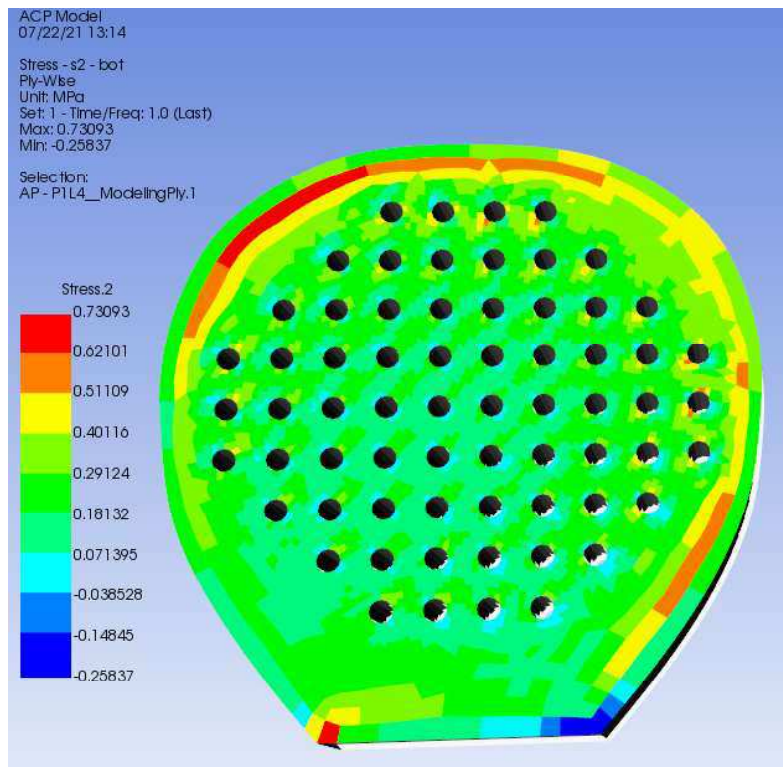


Capa 4 del laminado

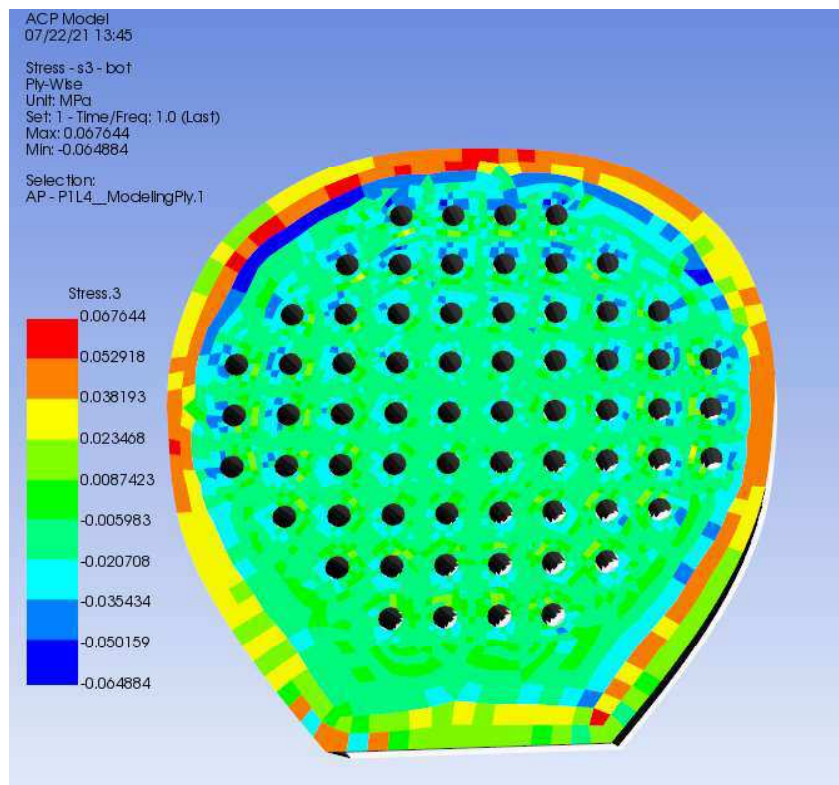
$$\sigma_{1\max} = 2.09 \text{ MPa} \quad \sigma_{1\min} = -0.73 \text{ MPa}$$



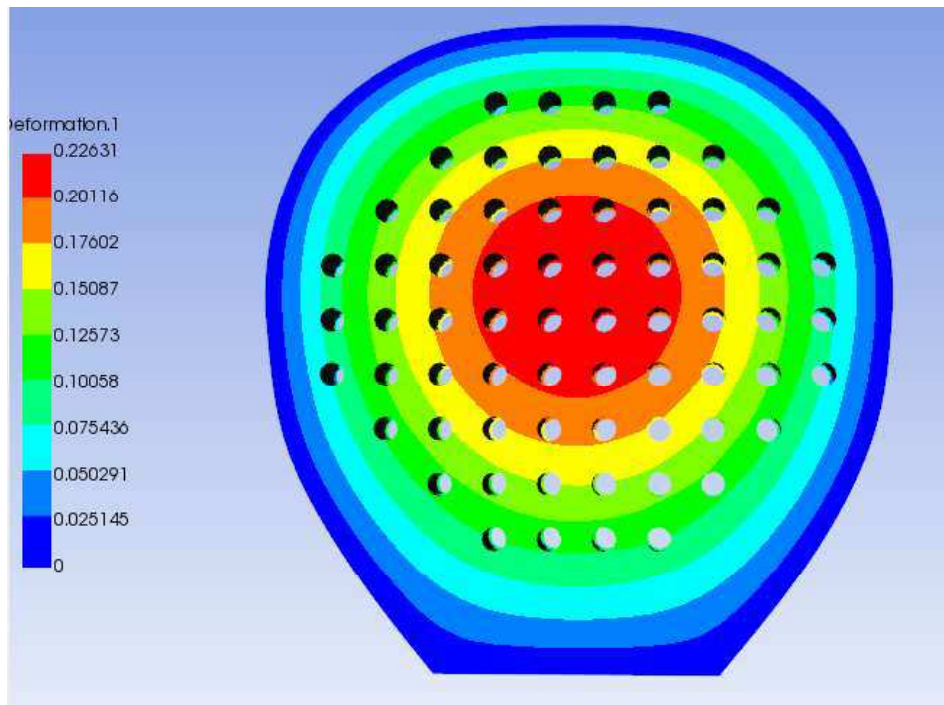
$$\sigma_{2\max} = 0.73 \text{ MPa} \quad \sigma_{2\min} = -0.258 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{3\max} = 0.73 \text{ MPa} \quad \sigma_{3\min} = -0.258 \text{ MPa}$$



Deformaci3n



10.5 Discusi3n

El golpe que mäs tensi3n genera es en la parte superior izquierda y extrapolando en la derecha, con una tensi3n mäsima de 11,87 MPa y una deformaci3n de 0.35 mm, esto es debido a la rigidez que genera en esos puntos el marco de la pala pero que en ningùn momento llega a superar la tensi3n admisible para el laminado. Los valores de tensi3n dentro de los materiales del nùcleo son muy bajos, se puede decir que el relleno del nùcleo de la pala, hace de amortiguador del impacto.

La capa interna del nùcleo de poliuretano, ha conseguido aguantar las sollicitaciones causadas a traväs del impacto de la bola, y puede ser un buen material para que la pala tuviera un comportamiento mäs uniforme durante todo el año, a diferencia de otros materiales celulares como son la espuma de Etilvinilacetato y la espuma de polietileno.

11. Conclusiones

Con este trabajo, se ha demostrado que existe una dependencia entre la temperatura y el comportamiento de la pala. Esto es debido a la variabilidad de dureza a la que se ven sometidos los materiales celulares debido a la temperatura.

- Se ha comprado la fuerza que puede absorber distintos tipos de espumas celulares poliméricas a las temperaturas usuales de juego en España, cuanto menor es la temperatura la espuma tiende a rigidizarse y absorber mäs impacto y cuanto mayor es la temperatura mäs blanda es su temperatura.

- Se ha comprobado que el material que se encarga de absorber el impacto de la pelota es las fibras de cara y del marco, la función del núcleo prácticamente absorber la vibración generada y según su densidad de generar un golpe más fuerte o más suave.
- Se ha confirmado que la espuma de poliuretano puede ser un material que reemplace a la goma Eva o al Polietileno o se combine con estos, como material del núcleo de la pala. La espuma de poliuretano no se ve afectada a las temperaturas de juego.

12. Líneas de futuros

En cuanto a las futuras vías de investigación y desarrollo que abre el trabajado realizado en esta tesis, son las siguientes:

- Investigación materiales respetuosos con el medio ambiente como alternativa^{21 22} a los materiales tradicionales aplicados en el sector del pádel, como puedan ser las fibras de yute o cáñamo²³.
- Materiales celulares con mayor estabilidad térmica, como podrían ser las espumas de silicona de baja densidad.
- Realización de un análisis de fatiga de los distintos materiales con el fin de desarrollar palas más duraderas.
- Realización de simulaciones con distintas velocidades para valorar el comportamiento de los materiales a diversas velocidades.
- Estudio vibracional de los materiales, en función de las velocidades de impacto y sus mecanismos de atenuación, con el fin de prevenir lesiones en los jugadores.

13. Referencias

1. Navas, D., Veiga, S., Navarro, E. & Ramón-Llín, J. Differences in kinematic and match-play demands between elite winning and losing wheelchair padel players. *PLoS One* **15**, 1–12 (2020).
2. Sánchez-Alcaraz, B. J. *et al.* Ball Impact Position in Recreational Male Padel Players: Implications for Training and Injury Management. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **18**, (2021).
3. Harkati, E. H., Bezazi, A., Guenfoud, M. & Scarpa, F. Stacking layer sequence effects for glass fibre/epoxy resin cross-ply laminates. *Strength Mater.* **39**, 320–330 (2007).
4. Prasad, N. *et al.* Carbon Fiber Composites Based on Multi-Phase Epoxy/PES Matrices with Carbon Nanotubes: Morphology and Interlaminar Fracture Toughness Characterization. *Adv. Eng. Mater.* **18**, 2040–2046 (2016).
5. Yusof, N. & Ismail, A. F. Post spinning and pyrolysis processes of polyacrylonitrile (PAN)-based carbon fiber and activated carbon fiber: A review. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **93**, 1–13 (2012).
6. SEGURA, J. G., JULIA, E. & GADEA, J. M. Impact Acoustic Isolation of Ethylene Vinyl Acetate Panels. *Ann. ORADEA Univ. Fascicle Manag. Technol. Eng.* **XXIV (XIV)**, 1–4 (2015).
7. Guin, A. K., Mallik, B. P. & Shreepathi, S. Electrochemical and mechanical studies on influence of curing agents on performance of epoxy tank linings. *Prog. Org. Coatings* **78**, 340–347 (2015).
8. Albiter, E. *et al.* Synthesis, characterization, and photocatalytic performance of zno-graphene nanocomposites: A review. *J. Compos. Sci.* **5**, 1–40 (2021).
9. Overgaard, M. H. *et al.* Highly Conductive Semitransparent Graphene Circuits Screen-Printed from Water-Based Graphene Oxide Ink. *Adv. Mater. Technol.* **2**, 1–7 (2017).
10. Shi, E. *et al.* Colloidal Antireflection Coating Improves Graphene – Silicon Solar Cells. **0–5** (2013).
11. Zhu, J., Yang, D., Yin, Z., Yan, Q. & Zhang, H. Graphene and graphene-based materials for energy storage applications. *Small* **10**, 3480–3498 (2014).
12. Costa, U. O. *et al.* Effect of graphene oxide coating on natural fiber composite for multilayered ballistic armor. *Polymers (Basel)*. **11**, (2019).
13. Ko, Y. *et al.* Thermal effects of copper-graphene composite films in a human skin analogous for the application to clothing. *Int. J. Cloth. Sci. Technol.* **32**, 601–618 (2020).
14. Long, S., Yao, X., Wang, H. & Zhang, X. Failure analysis and modeling of foam sandwich laminates under impact loading. *Compos. Struct.* **197**, 10–20 (2018).
15. Tan, W., Falzon, B. G., Chiu, L. N. S. & Price, M. Predicting low velocity impact damage and Compression-After-Impact (CAI) behaviour of composite laminates. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **71**, 212–226 (2015).
16. Vanegas Useche, L. & Arias Maya, L. Falla De Los Materiales Compuestos Laminados. *Sci. Tech.* **X**, 113–118 (2004).

17. Trallero, R., Atienza, R., Frovel, M. & Zuluaga, P. Proceso de caracterización en fatiga de un material compuesto. *Rev. Ciencia, Tecnol. y Medio Ambient.* **XI**, 18 (2013).
18. Moreno, P., Rodrigue, D., Giroux, Y., Ballerini, A. & Gacitúa, W. Caracterización mecánica y morfológica de termoplásticos reciclados espumados reforzados con subproductos de madera. *Maderas Cienc. y Tecnol.* **15**, 3–16 (2013).
19. Kulhavy, P., Petru, M. & Syrovatková, M. Possibilities of the Additional Damping of Unidirectional Fiber Composites by Implementation of Viscoelastic Neoprene and Rubber Layers. *Shock Vib.* **2017**, (2017).
20. Focus, T. ACP : Realistic Composite Models Without the Sparkly Costume. 1–15 (2010).
21. Pandian, C. K. A. & Jailani, H. S. Linen Fabric-Jute Fabric-Fumed Silica-Epoxy Sandwich Laminate: AWJ Machining and Multi-Response Optimisation. *Silicon* **13**, 1239–1248 (2021).
22. Akpan, E. I., Wetzel, B. & Friedrich, K. Process design for performance improvement in purely ecofriendly composites for structural applications. *J. Appl. Polym. Sci.* **137**, 1–14 (2020).
23. Persico, P., Acierno, D., Carfagna, C. & Cimino, F. Mechanical and thermal behaviour of ecofriendly composites reinforced by Kenaf and Carò fibers. *Int. J. Polym. Sci.* **2011**, (2011).

14. Listado de figuras

Figura 1. Evolución de las licencias de jugador, base de datos de la FEP.	3
Figura 2. Pista construida por Enrique Corcuera.	4
Figura 3. Balance en función de la forma de la pala.	6
Figura 4. Izquierda: Pala con forma redonda. Centro Pala con forma de diamante. Derecha: Pala con forma de lágrima.	7
Figura 5. Partes que conforman la pala de pádel.	10
Figura 6. Molde para la fabricación de una pala de pádel.	16
Figura 7. malla tubular de fibra de carbono.	16
Figura 8. proceso de pintura de un lote de palas de pádel.	17
Figura 9. Izquierda, Sílice en estructura cristalina, cuarzo. Derecha, estructura molecular del sílice.	18
Figura 10. Sílice en estado amorfo, el vidrio.	18
Figura 11. Bushing por el que pasa el material refundido.	19
Figura 12. Comparativa de fibra de vidrio orientadas al azar y fibras tejidas.	20
Figura 13. Ejemplos de aplicaciones de la fibra de vidrio.	21
Figura 14. Sección de una lámina de grafito.	22
Figura 15. Proceso de formación de las unidades de anillos de ciano a través del calentamiento del poliacrilonitrilo.	22
Figura 16. Formación de los anillos piridínicos.	22
Figura 17. Unión de las cadenas de anillos piridínicos a través de la temperatura.	23
Figura 18. Formación de la matriz a través de unión de anillos piridínicos.	23
Figura 19. Fibra de carbono, antes y después del tratamiento superficial.	24
Figura 20. Aplicaciones de la fibra de carbono.	26
Figura 21. Formación del Etileno-vinilacetato.	27
Figura 22. Aplicaciones del etilvinilacetato.	30
Figura 23. Molécula del polietileno.	30
Figura 24. Fórmula del polietileno.	31
Figura 25. Aplicaciones de la espuma de polietileno.	32
Figura 26. Polímero obtenido de la reacción del bisfenol A y la epiclohidrina.	33
Figura 27. Composición de una molécula de una resina epoxi a base de bisfenol A.	34
Figura 28. Composición de una molécula de una resina epoxi a base de bisfenol A.	34
Figura 29. Composición de una molécula de una resina epoxi bromada.	34
Figura 30. Composición de una molécula de una resina epoxi flexible.	35
Figura 31. Síntesis del diepoxi a partir de bisfenol A y epiclohidrina.	35
Figura 32. Formación de sal sódica de bisfenol A.	35
Figura 33. Reacción de la epiclohidrina con la sal de sodio.	36
Figura 34. Los epoxis pueden ser pequeños como este o grandes DP=25.	36
Figura 35. Reacción entre epiclohidrina y bisfenol en una relación 1/2.	36
Figura 36. La sal sódica ataca al epoxido, dando un dímero. Este dímero es una sal de sodio.	37
Figura 37. El oxígeno negativo tomará un protón del agua, generándose un grupo alcohol y nuevamente se forma NaOH.	37
Figura 38. Los electrones de la diamina atacan al carbono próximo al oxígeno epoxi, confiriéndole carga negativa al oxígeno y carga positiva al nitrógeno.	38
Figura 39. Los electrones del oxígeno reaccionan con el hidrógeno, forman un grupo alcohol y una amina.	38
Figura 40. Reacción con otro grupo.	38
Figura 41. Los otros grupos epoxis interactúan con la amina del otro grupo terminal de la diamina y finalmente todo el oligómero diepoxi se convierte en una red molecular.	39
Figura 42. Molécula de resina epoxi.	39
Figura 43. Ejemplo de una amina alifática.	40

Figura 44. Ejemplo de una amina aromática	40
Figura 45. Ejemplo de composición química de un aducto de amina	41
Figura 46. Estructura química de un ejemplo de poliamida como endurecedor.	41
Figura 47. Diferentes aplicaciones de las resinas epoxi: a) recubrimiento b) Mobiliario c) tabla de surf d) pala de pádel.	42
Figura 48. Realización entre la calidad y el coste de producción del grafeno según su proceso de fabricación.	44
Figura 49. Fases de la deposición química al vapor.....	44
Figura 50 : Esquema de obtención de GO por el método de solución de exfoliación.....	45
Figura 51. Aplicaciones del grafeno.....	46
Figura 52. Desarrollo del proceso de fatiga en materiales compuestos.	48
Figura 53. Defectos internos en el interior del marco.....	48
Figura 54. Esquema de montaje según la normativa ISO 14125:1998.....	52
Figura 55. Máquina universal de ensayos del laboratorio de ensayos destructivos.	53
Figura 56. Gráfica tensión deformación de la fibra de vidrio del marco de una pala de pádel.....	56
Figura 57. Gráfica tensión deformación de una combinación de fibra de carbono y fibra de vidrio del marco de una pala de pádel.	57
Figura 58. Gráfica tensión deformación de la combinación fibra de carbono y fibra de aramida del marco de una pala de pádel.	57
Figura 59. Gráfica tensión deformación de la fibra de carbono del marco de una pala de pádel.	58
Figura 60. Gráfica tensión deformación en el eje Y de la fibra carbono de la cara plana de una pala de pádel.....	59
Figura 61. Gráfica tensión deformación en el eje X de la fibra carbono de la cara plana de una pala de pádel.....	59
Figura 62. Gráfica tensión deformación en el eje X de la fibra vidrio de la cara plana de una pala de pádel.	60
Figura 63. Gráfica tensión deformación en el eje Y de la fibra carbono de la cara plana de una pala de pádel.....	60
Figura 64. Gráfica tensión deformación en el eje Y de un laminado de lino.	61
Figura 65. Gráfica tensión deformación en el eje X de un laminado de lino.....	61
Figura 66. Gráfica fuerza deformación a temperaturas de -10°C, 5-10°C, 22,5°C y 40°C de la espuma de polietileno.	62
Figura 67. Gráfica fuerza deformación a temperaturas de -10°C, 5-10°C, 22,5°C y 40°C de la espuma de etilvinilacetato.....	63
Figura 68. Gráfica fuerza deformación a temperaturas de -10°C, 5-10°C, 22,5°C y 40°C de la espuma de la espuma de poliuretano.	64
Figura 69. Gráfica fuerza deformación a temperaturas de -10°C, 5-10°C, 22,5°C y 40°C de la espuma de la espuma de polietileno de poro cerrado.	64
Figura 70. Gráfica fuerza deformación a temperaturas de -10°C, 5-10°C, 22,5°C y 40°C de la combinación de espumas de polietileno.	65
Figura 71. Pala diseñada mediante el software SolidWorks.	66
Figura 72. Estructura de proyecto con materiales compuestos en Ansys Workbench	67
Figura 73. Laminado generado para el núcleo de la pala	70

15. Listado de tablas

Tabla 1. Propiedades de los distintos tipos de fibras.....	21
Tabla 2. Tabla de propiedades típicas de goma EVA.....	29
Tabla 3. Tamaño de las probetas según la UNE-EN-ISO 14125:1998.....	52
Tabla 4. Tamaño de las probetas según la UNE-EN-ISO 1209-1:2007.	52
Tabla 5. Probeta de materiales reforzados por fibras.	53
Tabla 6. Probetas de materiales celulares rígidos.....	53
Tabla 7. Materiales reforzados por fibras empleados.	54
Tabla 8. Materiales celulares rígidos empleados.	54
Tabla 9. Propiedades de flexión obtenidas en los ensayos.....	56
Tabla 10. Propiedades de flexión obtenidas en los ensayos.....	58
Tabla 11. Configuración del laminado.....	70

16. Anexos

Materiales Comerciales

TECHNICAL DATA

PE 45

BASIS	POLYETILENE FOAM
CELLULAR STRUCTURE	CLOSED
COLOUR	BLACK
DENSITY (ISO 845-8)	45 +/- 10 KG/m3
WATER ABSORPTION (DIN 53428)	2%
TEMPERATURE RANGE (ISO 2796)	- 40° C + 90° C
DIMENSIONAL STABILITY (ISO 2796)	< 5%
ULTIMATE ELONGATION - (ISO 1798)	> 105 %
TENSILE STRENGHT - (ISO 1798)	> 2,4 KG/cm ² (240 kPa)
RESISTENCE	AIR+ U.V. - GOOD
COMPRESSION SET at 22h x 23°C at 25% (ISO 1856)	%<14
SPECIFIC VOLUME RESISTANCE (DIN 60093)	Ωcm >10E15
COMPRESSIVE STRENGHT AT 10% (ISO 3386/1)	kPa > 60
COMPRESSIVE STRENGHT AT 25% (ISO 3386/1)	kPa > 76
COMPRESSIVE STRENGHT AT 50% (ISO 3386/1)	kPa > 142
SHORE HARDNESS 00 - (ASTM D 2240)	50 +/-5
THERMAL CONDUCTIVITY (DIN 52612) At 10°	0,038 K/cal
THERMAL CONDUCTIVITY (DIN 52612) At 40°	0,041 K/cal
FIRE RESISTANT	FMVSS 302

The above given information should be considered as a guide but cannot regarded as an engagement from our side.

Data Emissione/Issue Date 23/06/2008
Revisione/Revision 00 Del/Of 23/06/2008

TECHNICAL DATA

EVA 100

BASIS	E.V.A.
CELLULAR STRUCTURE	CLOSED
COLOUR	"SEE OUR COLORS CHART"
DENSITY (ISO 845-88 - ASTM D 3575)	85/90 KG/m ³
WATER ABSORPTION (ASTM D 1056)	2 % < 3%
TEMPERATURE RANGE CONSTANT	- 10° C + 70° C
LINEAR SHRINKAGE AFTER 7 DAYS AT 70°C	< 1,6% max < 3%
ULTIMATE ELONGATION - (ASTM D 412)	> 130%
TENSILE STRENGTH - (ASTM D 412)	13 KG/cm ² (1300 kPa)
TEAR RESISTANCE - (ASTM D 624)	3,3 KG/cm (0,33 kN/m)
RESISTENCE	AIR+ U.V. VERY GOOD OZONE 168 H/ 200 pphm
COMPRESSION STRENGTH - (ASTM 1056/85)	AL 25% - 0,90 KG/cm ² (90 kPa)
COMPRESSION SET 25% - (ASTM D 395)	10%
SHORE HARDNESS 00	75 +/-5
NORM	EN 71 PART 3 ASTM F.963

The above given information should be considered as a guide but cannot regarded as an engagement from our side.

Stratocell® L

Closed cell Polyethylene foam, CFC and HCFC free

Stratocell® L

Typical Physical Properties

Physical Properties	Test Method	Unit	Typical Physical Properties
Density	ASTM D3575 Suffix W ISO 845:2006	Kg/m ³	16
Compressive Strength Vertical @ 25% Vertical @ 50%	ASTM D3575 Suffix D ISO 7214:2007	KPa	28 75
Compressive Strength Vertical @ 25% 4th comp. Vertical @ 50% 4th comp. Vertical @ 70% 4th comp.	ISO 3386 1986 part 1 DIN 53577	KPa	14 64 169
Compression Set	ASTM D3575-08 Suffix B (50% compression)	%	30
Compressive Creep (0,8 psi - 5,6 kg/dm ²)	ASTM D3575-00 Suffix BB 168 hrs	%	14
Compressive Creep (0,8 psi - 5,6 kg/dm ²)	ASTM D3575 Suffix BB 1000 hrs	%	25
Cell Size	BS 4443/1 Met.4	Cells/25mm	> 20
Tensile Strength @ peak (MD/CD)	ASTM D3575 Suffix T ISO 1798: 2008	KPa	250 150
Thermal Conductivity	ASTM C-177 ISO A301	W/mK	0,055
Tensile Elongation (MD/CD)	ASTM D3575 Suffix T ISO 1798: 2008	Volume %	75 65
Thermal Stability (24hrs at 70°C)	ASTM D3575-08 Suffix S ISO2796	%	< 3
Tear Strength (MD/CD)	ASTM D3575 Suffix G	N/cm	12 7

NOTICE: The data presented for this product is for unfabricated polyethylene foam product. While values shown are typical of this product, they should not be construed as specification limits. Factory makes no warranties, express or implied, including without limitation, warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, with respect to any product, information or recommendations referred to herein, and shall not be liable for any loss or damage, directly or indirectly, related to such product, information or recommendations or for consequential or incidental damages. User should test each application to determine suitability of the product for the intended use.

PLANCHAS DE POLIURETANO **D/35**

DESCRIPCION	Planchas de espuma rígida de poliuretano cortadas a partir de un bloque.	
APLICACIONES	Aislamiento térmico en general: -Camiones frigoríficos -Túneles de congelación -Suelos de cámaras frigoríficas -Paneles sándwich con fibrocemento, madera, chapa metálica, poliéster, etc. -Aplicaciones de temperaturas negativas y hasta +70°C.	
PRESENTACION	-Planchas de 2500 x 1000 mm. En cualquier espesor -Otras medidas consultar.	
CARACTERISTICAS	Densidad global (kg/m ³)	35±2
	Resistencia a la compresión(kg/cm ²)	1.8±0.5
	Resistencia a la compresión(kg/cm ²) ⊥	1.0±0.3
	Coefficiente de conductividad térmica a 10°C 45d (w/mK)	0.023
	Clasificación al fuego (ASTM D-1692)	AE

MTC510 Epoxy Component Prepreg

Introduction

MTC510 is an epoxy resin system designed to cure between 80°C and 120°C allowing flexibility in component manufacture. It is a toughened epoxy resin system designed for component manufacturing that can be supplied on a variety of fabrics and in UD format.

Mechanical Properties

MTC510-42%-2X2T-3K-T300-1250				
Compression Test - BS EN ISO 14126 : 1999				
	Sample	Dimensions (mm)	Max Load (kN)	Comp Strength (MPa)
001: 0 Direction	1	9.80 x 1.90	11.3	606
002: 0 Direction	2	9.78 x 1.90	11.3	608
003: 0 Direction	3	9.78 x 1.90	11.7	631
Mean			11.4	615
Standard Deviation			0.23	13.9
% Co-Efficient of Variance			2.02	2.26
Item 01: Through Thickness Shear				
Item 03: Through Thickness Shear				

MTC510-42%-2X2T-3K-T300-1250					
Tension - ISO 527-4: 9					
	Sample	Dimensions (mm)	Max Load (kN)	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (GPa)
004: Tension 0	1	1.93 x 24.87	32.00	666	55.00
005: Tension 0	2	1.95 x 24.89	30.70	633	55.60
006: Tension 0	3	1.95 x 24.84	30.80	637	54.90
Mean			31.20	645	55.20
Standard Deviation			0.72	18.00	0.38
% Co-Efficient of Variance			2.32	2.79	0.69

VTC401

Epoxy Component Prepreg

Introduction

VTC401 is an epoxy resin system designed to give an initial cure at low temperatures or snap cure at high temperatures with enhanced toughness, honeycomb bondability and higher service temperature, giving greater flexibility in component manufacture. It can be supplied on a variety of fabrics in UD format to meet your cost and manufacturing requirements.

Typical applications: *General purpose – Visual*

Mechanical Properties

Tests performed on **VTC401-C200T-T300-2X2T-3K-42%RW** laminates

Test	Results	Standard
Compression	Compressive strength 631 MPa	<i>BS EN ISO 14126 : 1999</i>
Tension	Tensile strength 573 MPa	<i>BS EN ISO 527-4 : 1997</i>
	Tensile modulus 52.7 GPa	
Flexure	Flexural strength 863 MPa	<i>BS EN ISO 14125 : 1998</i>
	Flexural modulus 51.7 GPa	
	Strain to failure 1.7 %	
Interlaminar Shear Strength	Interlaminar shear strength 74.0 MPa	<i>BS EN 2563 : 1997</i>
DMA	Tg – Storage Modulus Onset 143 °C	<i>AITM 1-0003 Issue 3</i>
	Tg – Tan δ Peak 151 °C	

Complete test results tables on pages 4 to 6.

Cure Cycles & performances

Cure	Initial Min Cure	Tg
65°C (minimum)	16 hours	70°C
80°C	8 hours	85°C
100°C	1 hour	105°C
120°C (maximum)	45 minutes	125°C
135°C Post-cure	2 hours	140°C

- ☒ Curing Schedule is meant to be a guide only and is subject to local conditions.
- To avoid exotherm particular care must be taken with thick laminates.
Ramp rates must not exceed 3.0°C per minute during **initial cure**.
Ramp rates must not exceed 0.3°C per minute during **post cure** (free standing).

Volatile content	< 1.0%
Fibre volume fraction	50 to 60%
Voidage (autoclave cure)	< 1.0%

RESULTADOS DE LAS TENSIONES OBTENIDAS

Punto	Lámina	σ 1 máx. (MPa)	σ 1 mín. (MPa)	σ 2 máx. (MPa)	σ 2 mín. (MPa)	σ 3 máx. (MPa)	σ 3 mín. (MPa)	Fallo
1	1	5,0016	-3,615	4,4039	-4,5712	0,13867	-0,09252	NF
	2	2,623	-0,7278	2,6955	-0,96633	0,10506	-0,056267	NF
	3	2,6042	-0,7028	2,8441	-0,20805	0,08881	-0,042346	NF
	4	2,0932	-0,73691	0,73093	-0,25837	0,067644	-0,064884	NF
	5	0,030504	-0,021478	0,030974	-0,022749	0,066733	-0,055792	NF
	6	0,0022847	-0,0059803	0,0020794	-0,0063818	-0,0040837	-0,011744	NF
	7	0,0092425	-0,0044757	0,00999929	-0,044258	0,033959	-0,067982	NF
	8	1,1465	-2,7202	0,3963	-0,8452	0,040978	-0,06366	NF
	9	1,54147	-3,5668	0,40465	-3,1138	0,02512	-0,087308	NF
	10	0,81256	-2,0638	0,45168	-2,1516	0,036307	-0,096817	NF
	11	0,65849	-2,24247	0,77526	-2,0277	0,053338	-0,12234	NF
3	1	5,4052	-4,9754	5,2821	-7,1397	0,30757	-0,17388	NF
	2	3,3179	-1,966	3,2856	-2,1169	0,18553	-0,080852	NF
	3	3,3088	-3,4651	7,1363	-0,32652	0,10684	-0,059331	NF
	4	6,5398	-2,3326	2,234	-0,74201	0,1973	-0,16202	NF
	5	0,03786	-0,024538	0,037675	-0,025907	0,07489	-0,06469	NF
	6	0,0055262	-0,0062291	0,0048759	-0,006549	0,0035906	-0,020151	NF
	7	0,0098507	-0,057614	0,01408	-0,061089	0,035887	-0,07933	NF
	8	2,4352	-4,8352	0,85244	-1,8403	0,090837	-0,13221	NF
	9	3,9469	-3,9014	0,032627	-7,0388	0,024681	-0,10526	NF
	10	2,6141	-5,3442	1,8529	-4,0462	0,027967	-0,13791	NF
	11	0,8371	-2,6117	1,7961	-3,1545	0,084657	-0,21203	NF
2	1	5,402	-4,3029	5,2776	-9,2969	0,22719	-0,16035	NF
	2	3,6613	-1,6877	3,8997	-2,1834	0,17738	-0,01818	NF
	3	3,2579	-0,44565	3,4895	-1,3478	0,14772	-0,070391	NF
	4	3,1345	-1,3613	1,2069	-0,43768	0,096434	-0,12087	NF
	5	0,050338	-0,033847	0,052179	-0,036231	0,10869	-0,090158	NF
	6	0,0028469	-0,0065925	0,005116	-0,010102	0,0059941	-0,021783	NF
	7	0,01103	-0,068129	0,023177	-0,07138	0,048811	-0,11039	NF
	8	0,58143	-3,999	0,22584	-1,2421	0,062116	-0,10703	NF
	9	0,49723	-4,5322	0,64336	-3,8019	0,02799	-0,14313	NF
	10	0,55938	-2,8062	0,51453	-2,9758	0,043164	-0,1591	NF
	11	0,90738	-2,9844	2,069	-3,3309	0,082319	-0,19372	NF
4	1	6,6072	-10,338	5,07777	-5,7838	0,31191	-0,18207	NF
	2	4,0089	-2,2011	3,5357	-1,8843	0,24165	-0,084679	NF
	3	3,894	-0,94233	4,2485	-0,47522	0,20202	-0,08752	NF
	4	3,7337	-1,4449	1,441	-0,2523	0,13317	-0,13837	NF
	5	0,066074	-0,043684	0,064083	-0,04178	0,14108	-0,10865	NF
	6	0,0074803	-0,013241	0,0036492	-0,0078822	0,0083529	-0,026153	NF
	7	0,025776	-0,076456	0,014198	-0,08304	0,062158	-0,13796	NF
	8	1,6297	-4,9826	0,26495	-1,2019	0,065975	-0,14047	NF

	9	1,5324	-4,5272	0,77928	-4,6486	0,031954	-0,18389	NF
	10	0,62188	-3,7052	1,2209	-3,0642	0,032872	-0,20535	NF
	11	2,5738	-3,6634	1,2076	-2,5394	0,09202	-0,25442	NF
5	1	6,5173	-11,87	5,6209	-9,9237	0,32083	-0,21269	NF
	2	4,7922	-3,1139	3,392	-1,9352	0,24442	-0,10713	NF
	3	4,3476	-56749	4,2098	-2,8146	0,20177	-0,099446	NF
	4	4,4475	-3,147	1,8294	-0,53195	0,13531	-0,17929	NF
	5	0,066189	-0,04643	0,064115	-0,043568	0,14132	-0,11515	NF
	6	0,0077331	-0,0132	0,0055972	-0,010947	0,012812	-0,032152	NF
	7	0,034529	-0,088855	0,031641	-0,093092	0,064021	-0,13835	NF
	8	1,5217	-5,4161	0,36136	-1,4857	0,087392	-0,14176	NF
	9	0,82933	-4,951	1,8158	-5,1509	0,037458	-0,18414	NF
	10	0,89837	-2,967	1,2729	-3,3615	0,039681	-0,20877	NF
	11	2,8346	-3,219	2,3165	-3,0729	0,10023	-0,26094	NF
6	1	6,8455	-10,195	5,7177	-6,7369	0,35552	-0,20683	NF
	2	4,4378	-1,5722	4,1572	-3,3275	0,2432	-0,1032	NF
	3	3,8613	-2,289	8,0167	-0,55912	0,20279	-0,091474	NF
	4	4,2783	-2,6416	2,5466	-0,40802	0,17709	-0,12595	NF
	5	0,065938	-0,04581	0,064047	-0,043089	0,14079	-0,1124	NF
	6	0,0080844	-0,013291	0,0039429	-0,0070915	0,011683	-0,026482	NF
	7	0,031934	-0,078179	0,023888	-0,073649	0,063979	-0,1375	NF
	8	2,5963	-4,4626	0,54062	-2,0225	0,052791	-0,1517	NF
	9	2,6631	-4,189	0,67638	-7,9559	0,034808	-0,18476	NF
	10	1,2617	-6,1655	2,2718	-2,8084	0,035218	-0,20672	NF
	11	2,4243	-3,7394	1,5606	-3,3849	0,096395	-0,25326	NF

