



Universidad Nacional de Mar del Plata
Facultad de Ingeniería



PROYECTO FINAL

Modificación del material base para tablas de snowboard y su efecto sobre la adhesión al núcleo

Autor: Lanfranconi Matías Raúl

Directora: Dra. Vera Alejandra Álvarez

Codirectora: Dra. Analía Vázquez



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Tabla de Contenidos

<i>Resumen</i>	3
<i>Introducción</i>	4
<i>Objetivos</i>	8
<i>Procedimiento Experimental</i>	9
Materiales.....	9
Preparación de las placas.....	9
Adhesión, ensayo de “Lap Shear”.....	11
Microscopía SEM.....	13
FTIR.....	13
Análisis DSC.....	13
Determinación del coeficiente de fricción.....	13
Absorción de agua y cera.....	14
Ensayo de impacto.....	15
Ensayo de desgaste.....	16
Medición del ángulo de contacto.....	16
<i>Análisis de datos y resultados</i>	17
Adhesión: Ensayo de “Lap Shear”, SEM, FTIR.....	17
Análisis DSC.....	23
Medición del coeficiente de fricción.....	24
Absorción de agua y cera.....	26
Ensayo de impacto.....	27
Ensayo de desgaste.....	31
Medición del ángulo de contacto.....	32
<i>Conclusiones</i>	33
<i>Dificultades encontradas</i>	34
<i>Trabajos futuro</i>	35
<i>Referencias</i>	36
<i>Anexo I: Hojas técnicas de materiales</i>	38
<i>Anexo II: Porcentaje de fibra, calcinación</i>	41

<i>Anexo III: Exposición a llama.....</i>	42
<i>Anexo IV: Ensayo de “lap-shear”, resultados.....</i>	44
<i>Anexo V: Ensayo de FTIR.....</i>	51
<i>Anexo VI: Micrografías SEM.....</i>	55
<i>Anexo VII: Medición del coeficiente de fricción.....</i>	59
<i>Anexo VIII: Absorción de agua y cera.....</i>	60
<i>Anexo IX: Ensayo de impacto.....</i>	62

Resumen

En este trabajo se estudio el efecto de diferentes tratamientos al polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE) sobre la adhesión a un material compuesto (epoxi/fibra de vidrio) que se utilizan como base y núcleo de tablas de snowboard respectivamente, realizando ensayos de “lap-shear”, SEM, FTIR y DSC. Los tratamientos seleccionados fueron: tratamiento con llama, UV y lijado. Los resultados de los ensayos de “lap-shear” mostraron que la adhesión del UHMW-PE con el compuesto vidrio-epoxi aumento más de 6 veces al tratarlo con llama; con lijado de la superficie se observó un incremento pero este fue notablemente menor.

Por otro lado, se estudió el efecto del agregado de arcillas sobre las propiedades de desgaste, fricción, impacto, absorción (de agua y cera) y ángulo de contacto con agua del polietileno de alto peso molecular (HMW-PE) a fines de reemplazar al UHMW-PE debido principalmente a su elevado costo. Se utilizaron arcillas comerciales sin modificar (montmorillonita, C-Na⁺) y modificada (C-30B). Ninguno de los materiales compuestos fue efectivo para mejorar la resistencia al impacto del HMW-PE. La absorción de cera en el nanocompuesto HMW-PE/C-Na⁺ aumentó respecto al HMW-PE solo, la incorporación de esta arcilla también produjo un aumento en la resistencia al desgaste. Esto es importante para la aplicación en tablas de snowboard, ya que su desgaste y deslizamiento están íntimamente ligados a la absorción y retención de cera. El ángulo de contacto con agua del compuesto con C-Na⁺ disminuyó respecto al HMW-PE sólo.

Introducción

El “snowboarding” es un deporte extremo que nació en la década del 1960, cuando el ingeniero Sherman Poppen construyó la primera versión de una tabla para surfear en la nieve. Era una tabla de madera sin agarres para los pies con una cuerda delante para ayudar a mantener el equilibrio. Durante la década de 1970 algunos pioneros de éste deporte (como Tom Sims y Jake Burton) desarrollaron e impulsaron la fabricación de las tablas de snowboard probando nuevos diseños, utilizando materiales más modernos e incluyendo fijaciones para los pies. Desde entonces este deporte tuvo un crecimiento exponencial, con cada vez mayor cantidad de practicantes (1,3 millones de corredores en 1988, 2,1 millones en 1994 y 6,6 millones en 2004, sólo en Estados Unidos) e incluso siendo aceptado como deporte olímpico para las Olimpiadas de Invierno de Nagano en 1998.

Actualmente existen varias modalidades para practicar el snowboard. El “freestyle”, es la modalidad más común, se centra en realizar piruetas con ayuda de diferentes módulos que a su vez distinguen distintas disciplinas dentro del mismo. Generalmente se utilizan tablas más cortas, flexibles y con puntas gemelas. El “freeride” se trata de bajar sobre cualquier terreno disponible. Se utilizan, en general, tablas menos flexibles y más largas, semi-direccionadas (se diferencia la punta de la cola de la tabla). La mayor superficie le permite andar con mayor facilidad sobre nieve blanda, perdiendo la facilidad de giro que tienen las tablas cortas y aumentando el peso total. “All-Mountain”, es una combinación de ambos estilos, donde se corre por el terreno que se dispone y se utiliza el mismo para realizar maniobras como saltos y giros. El último es el estilo carrera, donde se busca bajar lo más rápido posible. Se utilizan tablas largas y angostas, con forma completamente direccional y muy poco flexibles para disminuir el contacto contra la nieve. Como se ve el estilo que el corredor practica define mucho el tipo de tabla que utilizará.

Las tablas de snowboard están compuestas por varias capas de diferentes materiales. La geometría de la tabla y los materiales utilizados definen las características de la misma, que esencialmente contiene [1-4]:

- **Núcleo:** Es la construcción interna de la tabla. Normalmente es de fibra de vidrio laminado en torno a un compuesto de madera. Se utiliza una madera

dura y una blanda, como el álamo y el haya, laminadas en dirección longitudinal. Se siguen probando nuevos materiales para utilizar en el núcleo, tales como el aluminio y compuesto panal de abeja (honeycomb), espumas y resinas para sustituir a la madera del núcleo. Las propiedades deseadas para el núcleo incluyen la amortiguación de vibraciones, resistencia, flexibilidad y bajo peso.

- **Topsheet**: Es la capa superior de la tabla. Protege al núcleo contra la abrasión y la humedad. Debe ser de un material hidrofóbico. Se utiliza poliamida o polibutieno tereftalato co-extrudado (PBT).
- **Cantos**: En los bordes de la tabla se utilizan cantos de acero de alta dureza (mayor a 40 RC), que forma un ángulo de 90° con la nieve. Éstos le permiten al corredor el suficiente agarre para poder doblar, la geometría es fundamental para producir suficiente fricción contra la nieve al momento de maniobrar y frenar.
- **Base**: Es la zona de la tabla que está en contacto directo contra la nieve. Está construida, por lo general, con un polietileno poroso, saturado con cera para obtener una superficie muy deslizante, suave e hidrofóbica. P-TEX es su nombre comercial y se ha transformado en sinónimo de “base para tabla de snowboard”, Isospeed, y Durasurf son las otras dos principales marcas de bases para tablas. El efecto de la cera en la base es fundamental, ya que no sólo permite que la tabla deslice con mayor facilidad sobre la nieve, sino que también protege a la base contra el desgaste. El material que se utiliza debe ser poroso, para absorber la mayor cantidad de cera posible, hidrofóbico para que no absorba agua, la cual afecta a sus propiedades, y resistente al impacto, para evitar roturas cuando la tabla golpee contra algún obstáculo (incluso en el “freestyle” es común saltar contra barandas metálicas). Se venden diferentes tipos de bases, en general de polietileno. Este material extrudado, es más barato y más fácil de reparar pero no tiene tanta porosidad como el sinterizado. Este último se conforma con presión y calor a partir del polvo de polietileno, obteniendo mayor porosidad, y así capacidad para absorber mayor cantidad de cera. Esto permite que la tabla deslice con mayor facilidad y adquiera más velocidad. Finalmente también se venden bases sinterizadas híbridas, se le añade al polietileno partículas de grafito, galio o indio, entre otros materiales, para mejorar algunas características. El polietileno utilizado

en la base es por lo general polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE), que tiene una resistencia al impacto significativamente mayor al resto. También se utiliza polietileno de alto peso molecular (HMW-PE), que es mucho más barato que el UHMW-PE, y también tiene una buena, aunque menor, resistencia al impacto.

El UHMW-PE tiene baja densidad, baja toxicidad, excelente aislación eléctrica, facilidad de procesamiento y almacenamiento, alta tenacidad, alta resistencia a la abrasión química y física, y bajo coeficiente de fricción [5]. Todo esto hace que sea utilizado en muchas aplicaciones distintas. Pero no posee propiedades superficiales que promuevan su efectiva aplicación en campos que requieran adhesión y printabilidad. El UHMW-PE es extremadamente hidrofóbico, formando ángulos de contacto con el agua de alrededor de 100° (avance) y 70° (retroceso) [6]. Entonces, es difícil unir este polímero hidrofóbico directamente con otras sustancias, como adhesivos, tintas, pinturas, y varias superficies metálicas. Para solucionar este inconveniente se utilizan diferentes tratamientos para incrementar la energía superficial del polímero, introduciendo grupos funcionales polares [6]. .

En las últimas décadas [6], muchas tecnologías para modificar las propiedades superficiales de los materiales poliméricos fueron estudiadas, por ejemplo, tratamientos de plasma, químicos, corona, llama, e implantación iónica. Estas técnicas sólo afectan la zona superficial del material, forman una capa de cierta profundidad que depende del tipo de tratamiento y las condiciones del mismo, pero no afectan a las propiedades volumétricas. El tratamiento con llama es el más antiguo y ofrece varias ventajas prácticas, incluyendo la posibilidad de oxidar la superficie con tiempos de proceso extremadamente cortos.

El material comercial que se vende para utilizar como base en las tablas de snowboard ya tienen tratamientos superficiales que les permiten tener una buena adhesión con el resto de las capas. Como es natural, las compañías que fabrican estos materiales no facilitan la información del tratamiento que le realizan al UHMW-PE para aumentar su adhesión al núcleo de la tabla. Es por ello que en este trabajo se estudia si el tratamiento con llama, la irradiación UV y el lijado de la superficie, son tratamientos efectivos para adherir el UHMW-PE con los materiales que se utilizan en el núcleo.

Por otro lado, el UHMW-PE, es un material caro y su costo influye fuertemente en el precio final de la tabla. Para disminuirlo se lo puede reemplazar por HMW-PE, pero sus resistencias mecánica y al desgaste no alcanzan los valores del UHMW-PE. Es por ello que se pensó en otra estrategia para poder utilizarlo como reemplazo del UHMW-PE. Los nanocompuestos de matriz polimérica con carga de silicatos en capas exhiben mejoras notables en sus propiedades respecto tanto al polímero virgen como a los micro o macro compuestos. Por definición, los nanocompuestos son materiales bifásicos, donde al menos uno de ellos se encuentra dentro del rango nanométrico ($1 \times 10^{-9} \text{m}$). Generalmente los elementos de refuerzo macroscópicos contienen imperfecciones. La perfección estructural se incrementa a medida que los elementos de refuerzo se hacen más pequeños. Las propiedades óptimas resultantes de los elementos de refuerzo pueden esperarse cuando sus dimensiones alcanzan niveles atómicos o moleculares. [7]. Incorporando un nano-refuerzo inorgánico a una matriz polimérica se pueden mejorar las propiedades mecánicas, las propiedades de barrera, las propiedades térmicas, y reducir otras tales como la inflamabilidad y la adsorción de agua [8-12]. La incorporación de una carga inorgánica en el HMW-PE, puede jugar un rol importante para mejorar la resistencia al desgaste y las propiedades mecánicas del material [13]. La montmorillonita (MMT) es uno de los silicatos en capas de uso más común en nanocompuestos [13]. Tienen dos características fundamentales para su uso como carga en nanocompuestos, primero, la habilidad de la partícula de silicato a dispersarse en capas individuales, segundo, la capacidad de modificar su química superficial a través de intercambio iónico tanto con cationes orgánicos como inorgánicos [13]. Estas dos características están interrelacionadas ya que el grado de dispersión depende del catión de intercambio. En este trabajo se mezcla HMW-PE con diferentes MMT, una original Closite Na^+ (hidrofilica) y otra organo-modificada Closite 30B (hidrofóbica), con el objetivo de mejorar la resistencia al desgaste y al impacto del HMW-PE y si fuera posible alcanzar las propiedades del UHMW-PE.

Objetivos

Los objetivos generales de este trabajo son:

- Mejorar la adhesión entre el polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE) y un material compuesto de fibra de vidrio con resina epoxi.
- Mejorar las propiedades del polietileno de alto peso molecular (HMW-PE) para optimizar su utilización en tablas de snowboard.

Procedimiento Experimental

▪ Materiales

Los siguientes materiales fueron utilizados durante el trabajo:

- Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE): Termoplástico comercial comprado en placas extrudadas de 1mm de espesor, marca Durogliss.
- Polietileno de alto peso molecular (HMW-PE): Termoplástico en pellets, fue mezclado y prensado para obtener placas, marca Polisur.
- Closite Na⁺: Montmorillonita natural., hidrofílica, de Southern clay products, Inc.
- Closite 30B: Montmorillonita natural modificada con sal cuaternaria de amonio, hidrofóbica, de Southern clay products, Inc.
- Sistema Epoxi Araldite M + HY956: Sistema epoxi endurecedor comercial, cura a temperatura ambiente, fabricado por Huntsman.
- Roving de Vidrio 600: Tejido de vidrio comercial tipo roving, densidad superficial 600g/m², fabricado por Owens Corning.

En el Anexo I se detallan los datos técnicos de los materiales.

▪ Preparación de las placas

Se prepararon diferentes placas que se utilizaron posteriormente en la fabricación de probetas para los diferentes ensayos.

Placas de compuesto epoxi-vidrio.

Se utilizó el roving de vidrio y el sistema epoxi, descritos en la parte de materiales. La proporción de epoxi y endurecedor que se utilizó fue la recomendada por el fabricante, 100 partes de epoxi y 20 partes de endurecedor. La impregnación de la tela fue realizada por moldeo manual con proporciones de 50%-50% en peso, para luego del curado terminar con proporciones de aproximadamente 60% vidrio 40% epoxi. Estas proporciones fueron comprobadas por medio de calcinación, como se explica en el Anexo II. El curado fue realizado a temperatura ambiente, prensando entre dos placas de vidrio recubiertas con teflón, durante 3 días antes de proceder al cortado. Una vez conformadas las placas se cortaron con las dimensiones correspondientes para luego pegarlas a las placas de UHMW-PE.

Placas de UHMW-PE.

Fueron cortadas a mano, con cutter, a partir de las placas de material comercial extrudado. La superficie fue tratada con el objetivo de aumentar su adhesión con el compuesto. Se realizaron los siguientes tratamientos:

- Exposición directa a llama: se expuso a llama directa el extremo de la probeta (zona de solapamiento) mediante pasadas manuales a una distancia de 50 mm de la base de la llama de un soplete (el ancho de la llama en la base fue de 5,5mm). Cada probeta fue pasada de 1 a 8 veces por la llama. El caudal y la relación aire gas fue el mismo para todos las muestras. El proceso fue filmado y analizados los tiempos de exposición a la llama. En el Anexo III se muestran fotos del proceso y se detallan los tiempos de exposición de cada probeta.
- Lijado de la superficie: se realizó un lijado de la zona de solapamiento con papeles lija de 600, 500, 180, 150, 100 y 80 granos por pulgada cuadrada. Se utilizó una pulidora manual como la de la **Figura 1**, manteniendo un tiempo de 1 minuto de lijado para cada probeta.



Figura 1: Pulidora manual para preparación de muestras.

- Exposición a radiación UV: se expuso la zona de solapamiento a radiación UV, $\lambda = 395$ nm, durante 20, 80 y 160 segundos con potencias de 56 mW (x2) y 91 mW (x3).

Placas de HMW-PE solo y reforzado.

Utilizando el mezclador intensivo tipo Brabender perteneciente a INTEMA, se realizó el mezclado del HMW-PE a partir de pellets. También se mezcló el mismo con 5% en peso de arcilla Closite Na⁺ (**HMW-PE/C-Na⁺**), y luego con Closite 30B **HMW-PE/C-30B**. Los tiempos y la velocidad de mezclado (5 minutos a 50 rpm y luego 15 a 150 rpm) fueron los mismos en cada placa que se conformó. Una vez obtenidos los bollos de HMW-PE y los compuestos con arcilla, se prensaron para obtener placas, utilizando la prensa hidráulica modelo AMS160/335DE del laboratorio de materiales. La temperatura de prensado fue de 160°C, el tiempo fue de 15 minutos y la presión fue 150 kg/cm².

▪ Ensayos Realizados

Adhesión: Ensayo de “Lap-shear”

Se siguió la norma ASTM 3163-01. El ensayo es útil para obtener valores comparativos de esfuerzos de corte en la separación de juntas plásticas. En este caso se utiliza particularmente para la comparación de distintos tratamientos superficiales sobre placas de UHMW-PE de 1 mm de espesor, pegados a placas de compuesto epoxi-

vidrio. Los ensayos fueron realizados en la máquina ensayos universales INSTRON - serie 4467, a temperatura ambiente. Se utilizó la celda de carga de 500N. La velocidad de la travesa fue de 1,27 mm/min.

Para la preparación de las probetas de ensayo se pegó, con el sistema epoxi mencionado en los materiales, la zona de solapamiento de las placas de UHMW-PE con la de compuesto vidrio-epoxi. Las condiciones de curado fueron las mismas que las del curado del compuesto (temperatura ambiente y 3 días antes de su manipulación). Se esperó una semana antes de ensayar las probetas.

Debido a la baja adhesión que existe entre el UHMW-PE y el material compuesto se realizó primero el cortado de las probetas y luego se las pegó, prestando especial atención a la alineación de las mismas. En la **Figura 2** se puede ver un esquema de una probeta preparada para el ensayo de “lap-shear”; en la misma figura se detallan las dimensiones. Como el UHMW-PE tiene una baja tensión de fluencia, con algunos tratamientos superficiales, se alcanzó ésta antes que la rotura de la junta. Debido a este inconveniente la longitud de solapamiento L fue disminuida, en algunas probetas, de 10 mm a 5 mm.

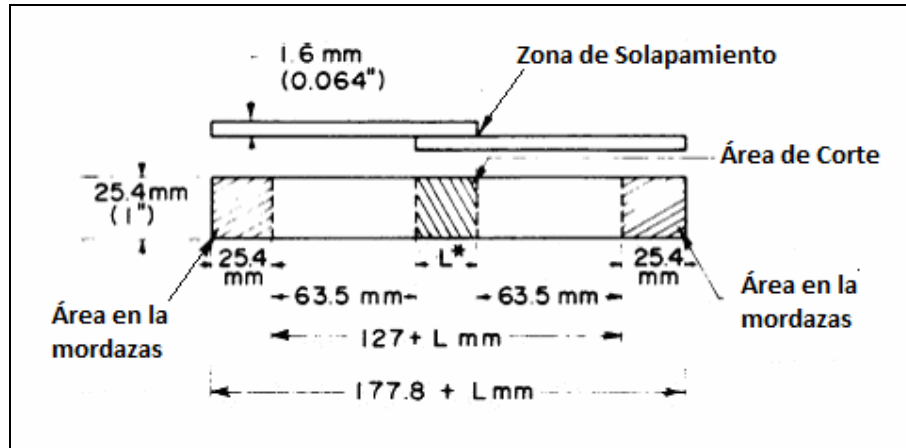


Figura 2: Forma y dimensiones de una probeta para “lap-shear”

También se hicieron probetas poniendo un film de papel manteca entre las dos partes a pegar. Éste tipo de papel es utilizado para imprimir las gráficas de las tablas de snowboard y laminarlo entre capas.

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Se observaron muestras de UHMW-PE tratado superficialmente utilizando un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-6460 LV. Para poder fotografiar materiales no conductores mediante la técnica del SEM es necesario formar una capa de material conductor sobre la superficie. Por esto las muestras fueron recubiertas con una capa de oro. Se sacaron fotos de muestras con tratamientos de exposición a llama y lijado superficial. Se fotografió la superficie superior y el borde de la probeta para intentar ver el alcance del tratamiento.

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

Mediante la técnica de espectroscopia FTIR, se realizó un análisis de la modificación química superficial que sufrió el UHMW-PE al ser expuesto a llama y UV. Se utilizó un espectrómetro Nicolet 6700 con el accesorio ATR, realizando 32 barridos.

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Se realizaron ensayos en un DSC Shimadzu-50, para verificar la ausencia de calor residual en la resina. También se ensayaron los UHMW-PE con tratamiento de exposición a llama para obtener el grado de cristalinidad global. Las corridas se realizaron desde temperatura ambiente hasta 250 °C a 10 °C / min en atmósfera de nitrógeno.

Determinación del Coeficiente de Fricción

Se realizaron ensayos para determinar el coeficiente de fricción de cuatro materiales distintos, polietileno de ultra alto peso molecular comercial (UHMW-PE), polietileno de alto peso molecular (HMW-PE), y mezcla de éste último con dos arcillas distintas, Cloisite Na⁺ y Cloisite 30B.

Se cortaron probeta de 10 mm x 10 mm. Las de UHMW-PE a partir de las placas comerciales extrudadas de 1 mm de espesor. Las de HMW-PE, y los dos compuestos con arcilla, fueron cortadas a partir de la placas prensadas.

El ensayo se realizó con la máquina ensayos universales INSTRON - serie 4467, utilizando un complemento para ensayos de fricción. En la **Figura 3** se muestra la disposición del ensayo.

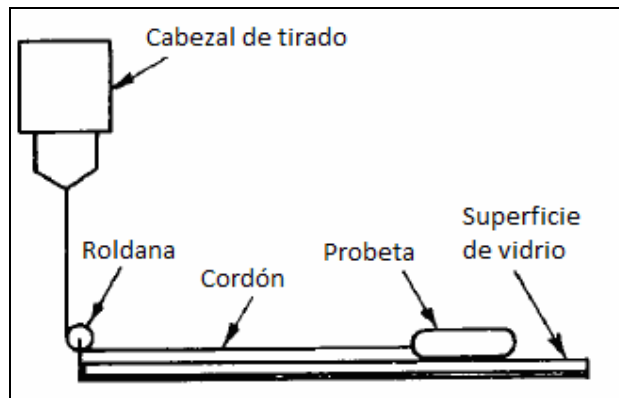


Figura 3: Aparato utilizado para la determinación del coeficiente de fricción.

Se coloca un peso sobre la probeta, apoyada sobre una superficie de vidrio, que ejerce una fuerza normal. Mediante un cordón agarrado a la celda de carga la probeta es arrastrada y medida la fuerza de tiraje. Se utilizó la celda de carga de 100 N. La fuerza normal utilizada fue de 5,6261 N (574,09 g). La velocidad de la travesa fue de 50 mm/min.

Absorción de Agua y de Cera

Se realizaron ensayos para medir la absorción de cera y de agua de los cuatro materiales anteriores, UHMW-PE, HMW-PE y los dos compuestos HMW-PE/C-Na⁺, HMW-PE/C-30B. La cera utilizada para los ensayos fue la misma que se utiliza en el encerado de tablas de snowboard, compuestas por parafina, C₂₅H₅₂ (cera amarilla para ski Preference[®], nieve blanda entre 15°C y -7°C).

La absorción de cera se medio en tres etapas de encerado. El procedimiento fue: pesar la muestra, luego encerar, lustrar con paño, y volver a pesar. Con los datos de la

masa inicial de la muestra (m_0) y la masa con cada encerado (m_i) se calculó la masa de cera absorbida ($m_{abs,i}$) como:

$$m_{abs,i} = m_i - m_0 \quad (\text{ec. 1})$$

Para independizarnos del tamaño de la probeta se divide en el área (A) de la probeta. Él área se calculó a partir del espesor (e), la densidad de cada muestra (ρ), determinada por picnometría, y la masa de las mismas. Se obtuvo la masa de cera absorbida por unidad de área ($m_{abs,i/u}$).

$$m_{abs,i/u} = \frac{m_{abs,i}}{A} = \frac{m_{abs,i}}{m_0} \times e \times \rho \quad (\text{ec. 2})$$

Para el ensayo de absorción de agua primero se midió la masa inicial de cada muestra y luego se sumergieron las probetas en un balde con agua destilada. Se midió la absorción pesando las muestras cada cierto lapso de tiempo. Antes de pesar las muestras se las secó con un papel absorbente. Inmediatamente después de pesarlas fueron devueltas al agua para que continúen absorbiendo agua para la siguiente medición.

Ensayos de impacto

Se realizaron ensayos de impacto tipo “falling weight”, en una máquina de impacto modelo Fractovis de Ceast, sobre placas de UHMW-PE, HMW-PE y los dos compuestos HMW-PE/C-Na⁺, HMW-PE/C-30B. La velocidad de impacto fue de 1,05 m/s. La muestras de UHMW-PE fueron prensadas hasta aproximadamente 0,4 mm, a partir de las placas comerciales, utilizando la prensa hidráulica modelo AMS160/335DE del laboratorio de materiales. La temperatura utilizada fue de 180°C durante 15 minutos a una presión de 150 kg/cm².

Ensayo de desgaste

Se realizaron ensayos de desgaste sobre muestras de UHMW-PE, HMW-PE y los dos reforzados, HMW-PE/C-Na⁺ y HMW-PE/C-30B. Las muestras fueron cortadas con tamaños de 10 mm x 10 mm. Se midió su peso inicial y se registró. Se utilizó una pulidora como la de la **Figura 1**, con un papel lija de 180 granos por pulgada cuadrada, la velocidad de giro fue de 180 rpm. Con una cinta bifaz se pegó una muestra a una pesa calibrada de 100 g y se colocó la misma sobre la lija a una distancia de 7,5 cm del centro del disco de lijado. El movimiento fue restringido mediante una barrera en V, como se muestra en la **Figura 4**. Se desgastó la muestra durante 1 minuto y luego se pesó.

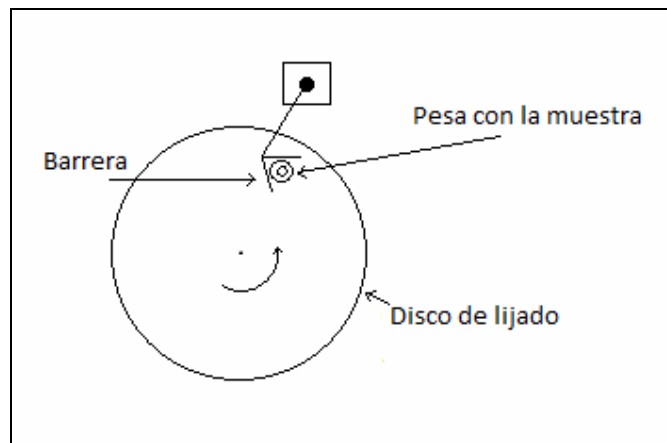


Figura 4: Esquema ensayo de desgaste.

Medición del ángulo de contacto

Se midió el ángulo de contacto ente agua destilada y muestras de UHMW-PE, HMW-PE solo y reforzado con las arcillas. Se utilizó un goniómetro Remé-Hart con el software DropImage. Se tomaron mediciones en intervalos de 15 segundos para poder extrapolar y calcular el ángulo de contacto en el momento en que se depositó la gota.

Resultados y Análisis

- Adhesión: Ensayo de “Lap Shear”, SEM, FTIR.

Probetas tratadas con llama

La tensión de corte para separar ambas superficies se obtuvo a partir de la fuerza máxima para la rotura ($F_{máx}$) y el área de solapamiento (Área), según la ec. 3:

$$\tau = \frac{F_{máx}}{\text{Area}} \quad (\text{ec. 3})$$

En las **Tablas 10.a a 10.e** del Anexo IV se muestran los valores de la tensión de corte de cada probeta obtenidos en el ensayo de “lap-shear”, con el promedio y desviación estándar para cada tratamiento. La **Tabla 11** del mismo anexo muestra todos los resultados de tensión de corte y las observaciones de cada probeta descartada. Los resultados promedio obtenidos, en función del número de pasadas por la llama, se resumen en la **Figura 5**.

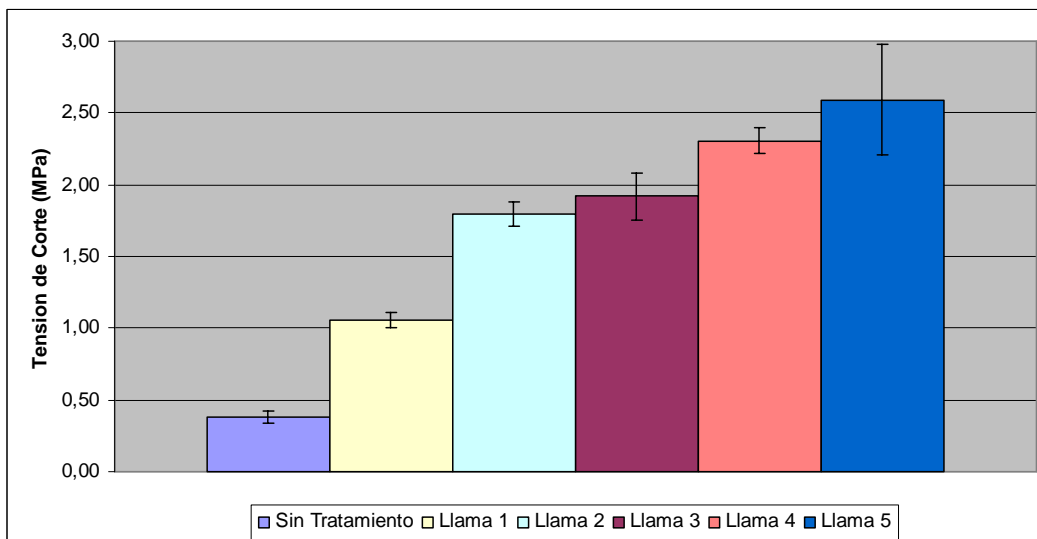


Figura 5: Tensión de corte media (Lap-shear), probetas tratadas con llama.

Se puede ver que la tensión de corte necesaria para el despegue aumenta con el incremento del número de pasadas por la llama. Este aumento en la adhesión está

producido por la oxidación de la superficie debido a la exposición a la llama [6]. El mecanismo de oxidación superficial del polietileno por el contacto con llama involucra la formación de radicales en el polímero a través de la abstracción de hidrógeno por el oxígeno molecular y el oxidrilo (OH), provenientes de la reacción en la llama, y seguido de una rápida reacción de los radicales con O, OH y O₂. Los radicales alcoxi, peroxi y hidroperoxi formados llevan a una ancha gama de productos [6]. Para verificar esta teoría se realizaron ensayos de FTIR que se muestran en la **Figura 6** para probetas de UHMWPE sin tratar, con 3 y 7 pasadas de llama (se han dispuesto uno sobre el otro para poder hacer un mejor análisis visual de los mismos).

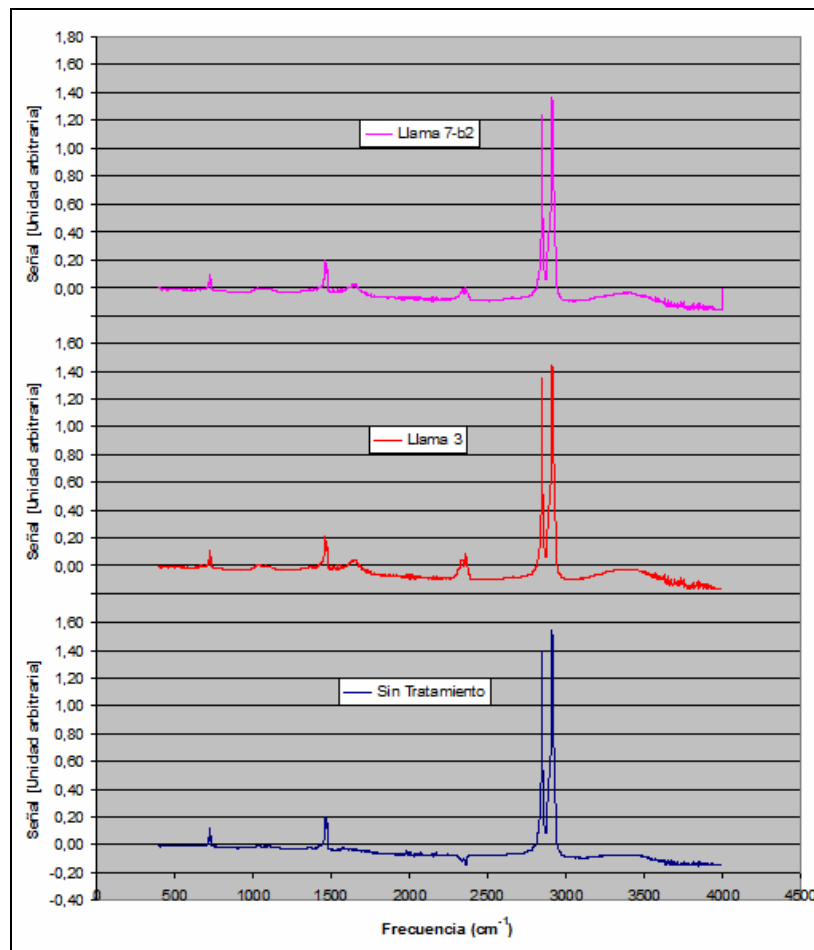


Figura 6: Espectros FTIR para probetas sin tratar, llama 3 pasadas y llama 7 pasadas.

En primer lugar, es posible notar la presencia de las bandas características del polietileno: alrededor de 2950 cm⁻¹ de fuerte intensidad, 1460 y 725 cm⁻¹ de media intensidad y las tres relacionadas con vibraciones de enlaces C-H, estiramiento, flexión

y balanceo respectivamente [16]. El pico de alrededor de 2350 cm^{-1} está relacionado con la cantidad de dióxido de carbono del aire.

En las probetas expuestas a llama se observan picos adicionales alrededor de 1100 y 1660 cm^{-1} respectivamente. Éstos están asociados al estiramiento de enlaces C-O y C=O respectivamente [17], lo que indica claramente que ha ocurrido una oxidación de la superficie expuesta a la llama. La banda de alrededor de 3400 cm^{-1} , que se observa en las probetas expuestas a llama, puede deberse a un enlace -OH o un enlace -NH [18]; que en este caso se trata de un enlace con un oxidrilo producido durante el tratamiento. En las **Figuras 22.a a i** del Anexo V se muestran todos los gráficos del ensayo de FTIR.

Probetas Lijadas

En la **Figura 7** se muestra la tensión de corte promedio para las probetas tratadas con lija.

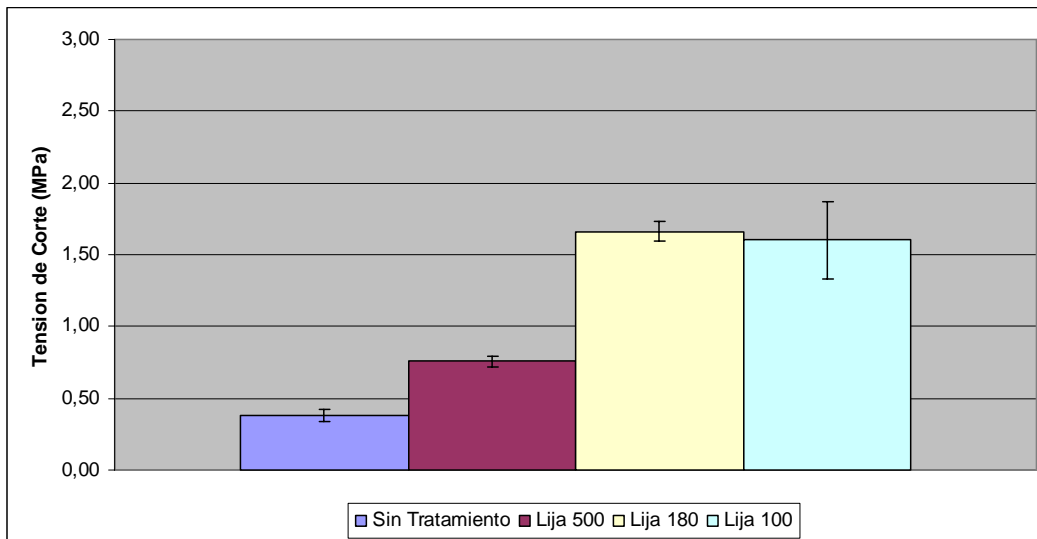


Figura 7: Tensión de corte media (Lap-shear) de las probetas lijadas.

Se ve que la tensión de corte promedio aumenta notablemente al lijar la superficie de solapamiento. Se alcanzó en máximo en la tensión de corte necesaria para el despegue con las probetas tratadas con lija 180, para granulometrías menores los cambios no son importantes. Para intentar explicar este comportamiento se tomaron micrografías SEM de las superficies de muestras tratadas con lijas.

Las **Figuras 8.a a 8.f** muestran micrografías SEM de una muestra sin tratamiento, una con tratamiento de llama y dos con lijado superficial. (En el Anexo VI las **Figuras 23.a a p** y **24.a a j** muestran todas las micrografías SEM).

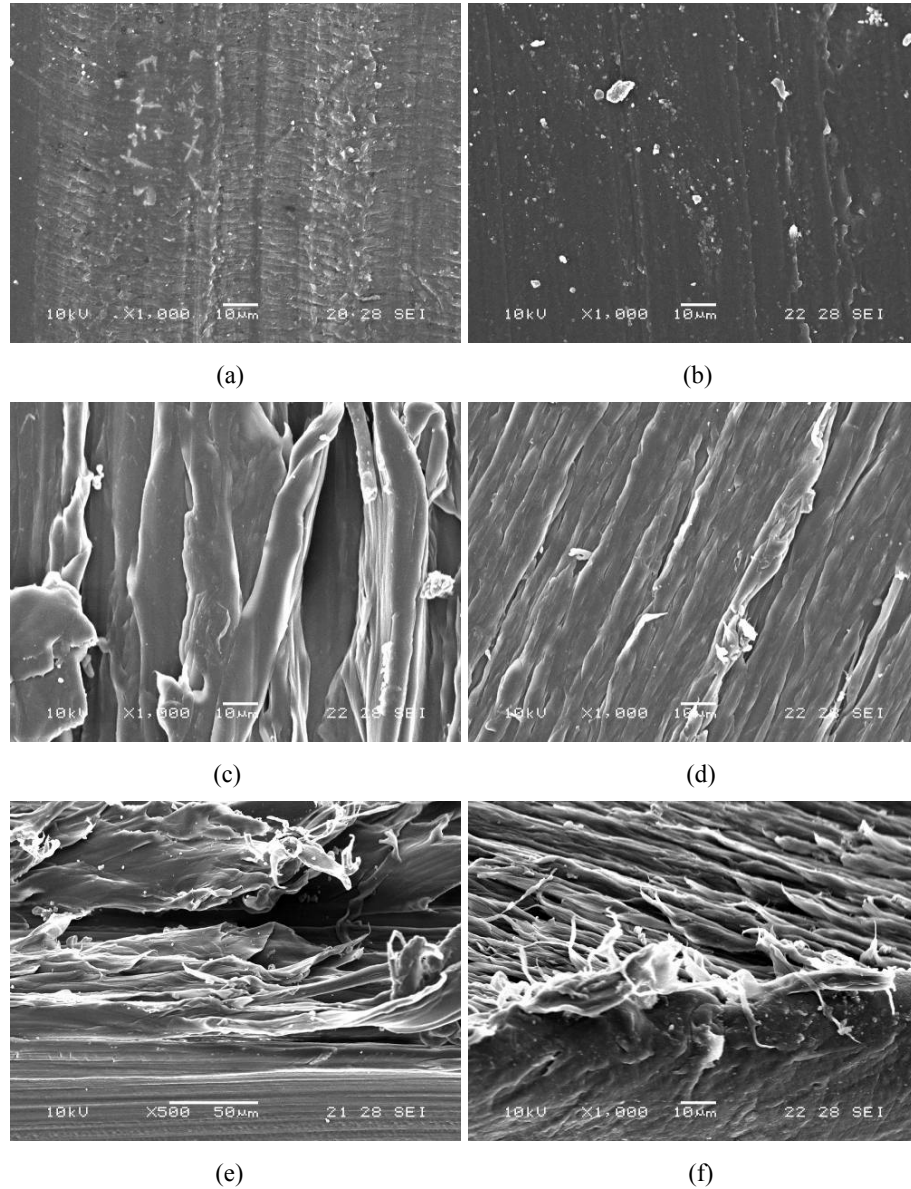


Figura 8: Fotografías SEM UHMW-PE. a) Muestra sin tratamiento, 1000x. b) Tratamiento con llama 7 pasadas, 1000x. c) Lijado grano 100, 1000x. d) Lijado grano 500, 1000x. e) Lijado grano 100. 45° 500x. f) Lijado de grano 500, 45° 1000x.

Comparando las **Figuras 8.a** y **b**, se puede observar que no hubo un cambio notable en la rugosidad superficial de las muestras expuestas a llama.

Por otro lado, se puede ver claramente el efecto del lijado en las **Figuras 8.c, d, e y f**. Se forman fibras de polietileno que aumentan el área de agarre de la resina. La lija 500 genera fibras más parejas pero más pequeñas. En cambio la lija 100 genera rugosidad más despareja pero con mayores espacios donde puede penetrar mayor cantidad de resina. Ambos tratamientos aumentaron notablemente la adhesión, pero el mayor efecto se pudo observar al utilizar lija de 100 granos por pulgada cuadrada.

Mediante la utilización del programa de análisis gráfico Image-Pro Plus, se calcularon el ancho y el largo medio de las fibras generadas por cada tratamiento. Se muestran a continuación, **Tabla 1**, los resultados.

Tabla 1: Dimensiones fibras luego del lijado.

	Lija 500	Lija 100
Ancho promedio [μm]	$3,51 \pm 0,59$	$10,07 \pm 2,50$
Largo promedio [μm]	$4,29 \pm 2,16$	$23,43 \pm 8,49$
Ancho máximo [μm]	4,65	15,57
Largo máximo [μm]	10,10	47,24

Probetas con film intermedio

La **Figura 9** compara los resultados de los ensayos de “lap-shear” de probetas sin tratamiento, lijadas con grano 100 y expuestas a llama con tres pasadas, con y sin el agregado de un film de papel manteca.

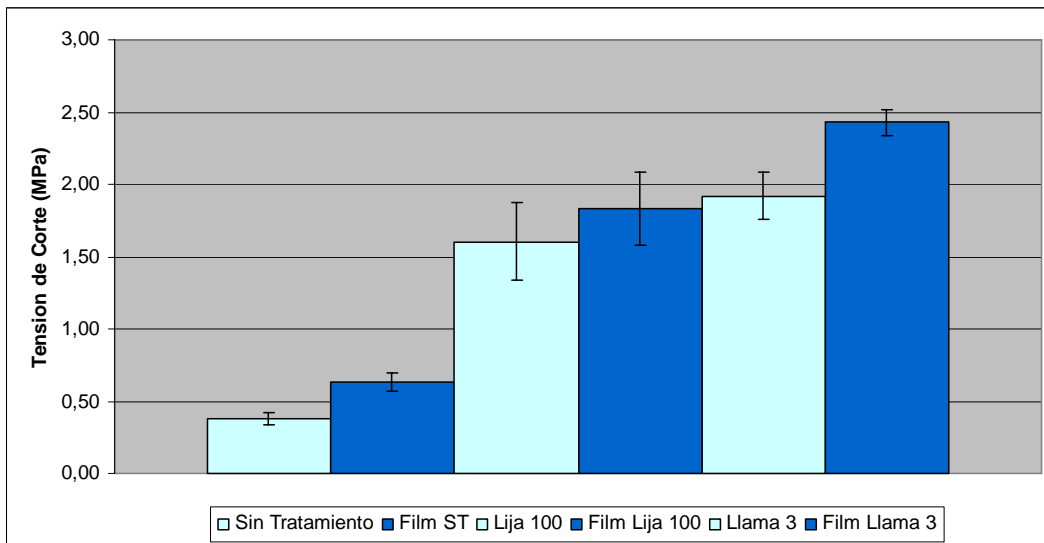


Figura 9: Tensión de corte media (“lap-shear”) de las probetas con film entremedio.

En cada tratamiento se nota un pequeño aumento en la resistencia al despegue. En las probetas sin tratamiento se nota el mayor aumento, 68%, mientras que en las de llama 3 se nota un aumento del 27%. Este efecto se debe, probablemente, a que el papel absorbe por completo la resina y permite que en la unión haya mayor cantidad de la misma. Este efecto es más marcado sobre la resistencia en las probeta con poca capacidad de retener el pegamento, como las sin tratamiento y las llama 3.

Probetas tratadas con UV

En la **Figura 10** se puede ver la tensión de corte promedio para la rotura de la junta en las probetas expuestas a radiación UV.

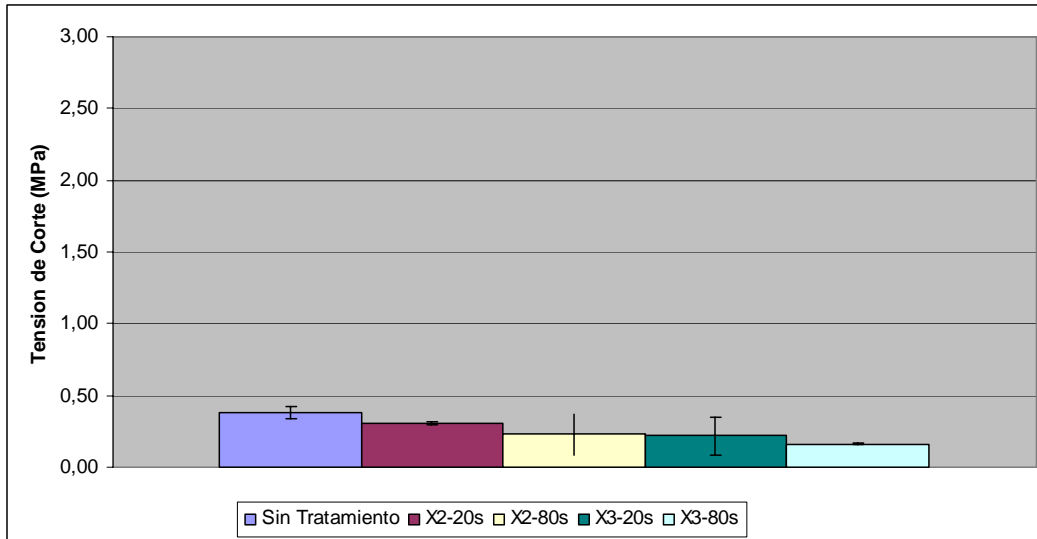


Figura 10: Tensión de corte media (lap-shear) de las probetas tratadas con UV.

No se observa un aumento en la tensión de corte con exposición. La exposición a radiación UV genera foto-oxidación de la superficie, formando grupos carbonilos (C=O) en la superficie y la rotura de enlaces [14]. En este caso no se observó un aumento en la adhesión, esto significa que la oxidación de la superficie no ocurrió u ocurrió en baja medida. Esto puede deberse a que el tiempo y/o la potencia de exposición no fueron suficientes o bien que la frecuencia de la radiación incidente no fue la adecuada para provocar una oxidación en el material.

En la **Figura 11** se observan los gráficos del análisis FTIR de una probeta expuesta a radiación UV (x3) durante 320 segundos y una probeta sin tratamiento.

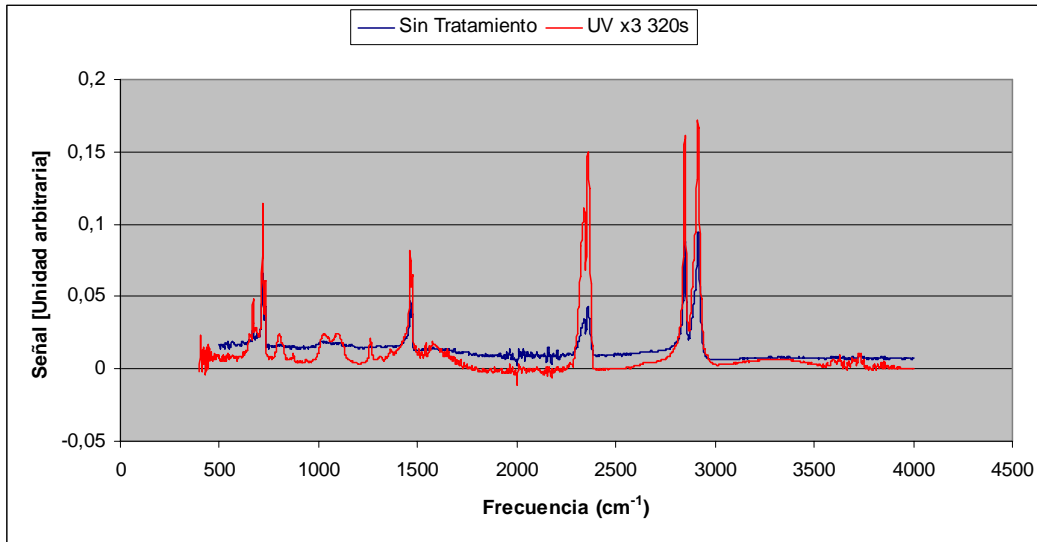


Figura 11: Resultados FTIR, probeta sin tratar y UV X3 320s.

Además de los picos característicos se pueden observar algunos otros entre los cuales podemos destacar tres centrados a 1100, 1640 y 3400 cm^{-1} que también fueron encontrados en las probetas expuestas a llama, y que son atribuidos a vibraciones de enlaces C-O, C=O y -OH respectivamente. Ésta evidencia nos demuestra que la superficie fue oxidada, aunque sea en baja medida.

- Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

A partir de los datos de señal y temperatura obtenidos con el DSC se calculó el calor absorbido o liberado y la temperatura del pico. Las muestras de UHMW-PE, con o sin tratamiento de llama, muestran un pico endotérmico, que corresponde a la fusión de los cristales del polímero. El porcentaje de cristalinidad (X_c) se calculó como la relación entre el calor de fusión de la muestra (ΔH) y el calor de fusión si el polímero fuese 100% cristalino (valor teórico).

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H}{\Delta H_{100}} \times 100 \quad (\text{ec.4})$$

Donde $\Delta H_{100} = 289.3 \text{ J/g}$ [15]. Los resultados obtenidos se resumen en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Resultados DSC, muestras de UHMW-PE con y sin tratamiento de llama.

Material	UHMW-PE	UHL1	UHL3	UHL5	UHL7
Calor [KJ/g]	-0,14	-0,14	-0,13	-0,13	-0,14
Temperatura del Pico [°C]	136,07	134,93	135,61	135,04	135,25
Cristalinidad [%]	0,48	0,48	0,45	0,45	0,48

Se puede ver que no hay un cambio significativo en la cristalinidad con el tratamiento realizado con llama. Tampoco se observa variación en la temperatura de fusión.

En la **Figura 12** se puede observar una corrida DSC para una muestra del sistema epoxi sin curar.

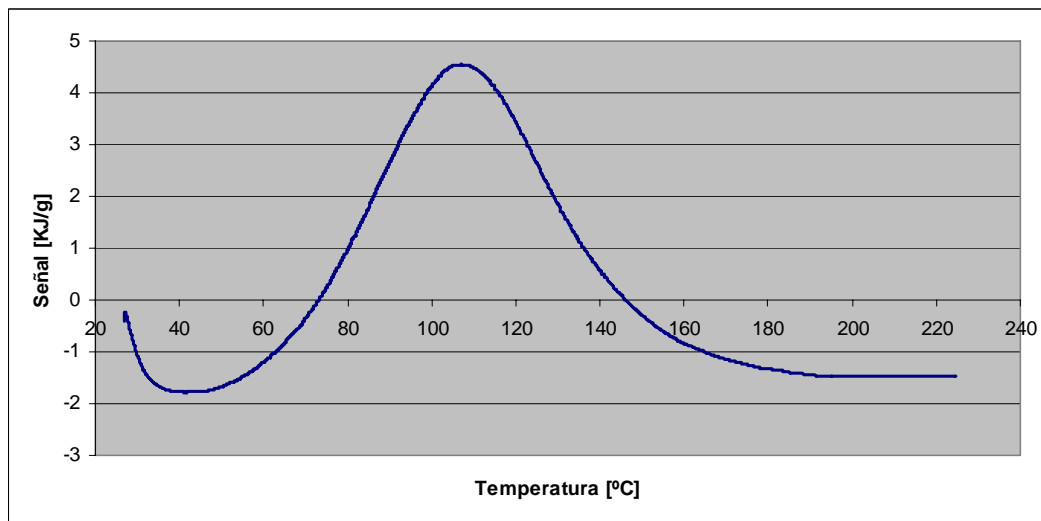


Figura 12: Corrida DSC resina epoxi sin curar.

Debido a que al aumentar la temperatura la resina comienza a curar, se observa un pico de liberación de calor con su máximo en 107 °C. La cantidad de calor total liberada fue 0,36 KJ/g.

En la **Figura 13** se muestra la curva obtenida en el análisis DSC de una muestra del compuesto epoxi-vidrio con el que se hicieron las probetas de “lap-shear”.

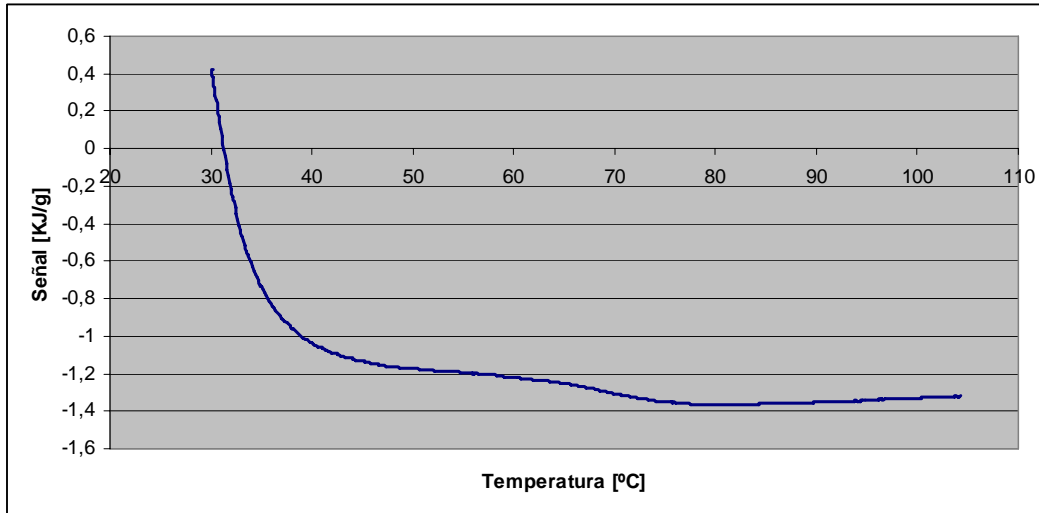


Figura 13: Corrida DSC compuesto epoxi-vidrio.

En la figura anterior, no se observa calor residual lo que indica que el curado de la resina fue completo. A partir de esta curva se determinó la temperatura de transición vítrea de la resina, la cual se ubica centrada en 71,55 °C (inicial 65,46 °C, final 74,28 °C).

- Determinación del coeficiente de fricción

En la **Figura 14** se muestra el coeficiente de fricción cinético promedio para las diferentes muestras estudiadas.

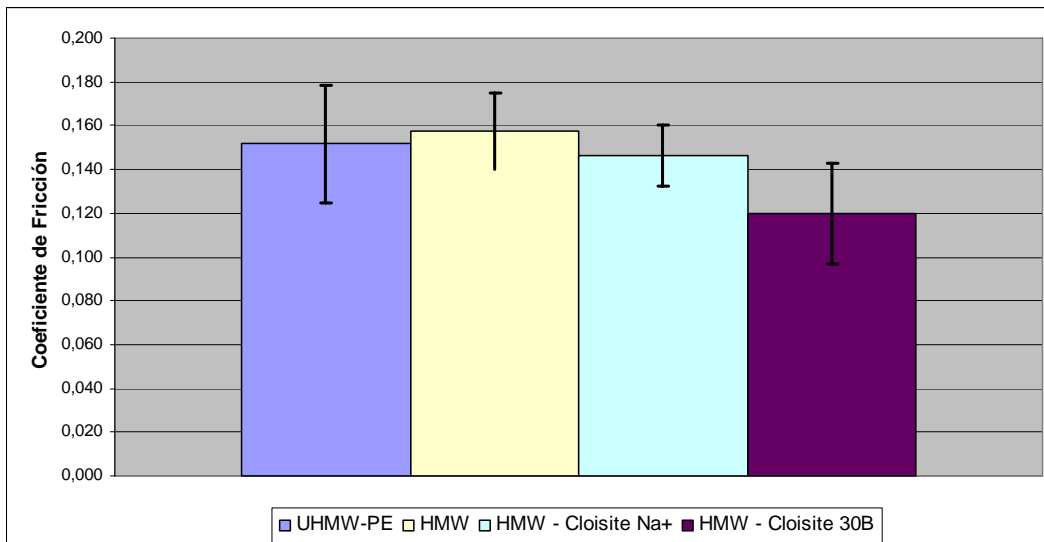


Figura 14: Coeficiente de fricción cinético promedio de los materiales estudiados.

Se puede ver que este parámetro fue similar para el UHMW-PE y para el HME-PE y que su valor no se modificó significativamente con el agregado de C-Na⁺; sin embargo, en el caso de las muestras de HMW-PE/C-30B el coeficiente fue más bajo. Debido a que su desviación estándar es muy grande, no se puede asegurar que haya tenido una real disminución del coeficiente de fricción al agregarle la arcilla al polietileno.

En la **Tabla 12** del Anexo VII se muestran todos los resultados de los ensayos de fricción, con el promedio y su desviación estándar.

- Absorción de cera y agua

En la **Figura 15** se puede ver la cantidad de cera absorbida promedio por unidad de área. Los números en absisas representan la cantidad de encerados.

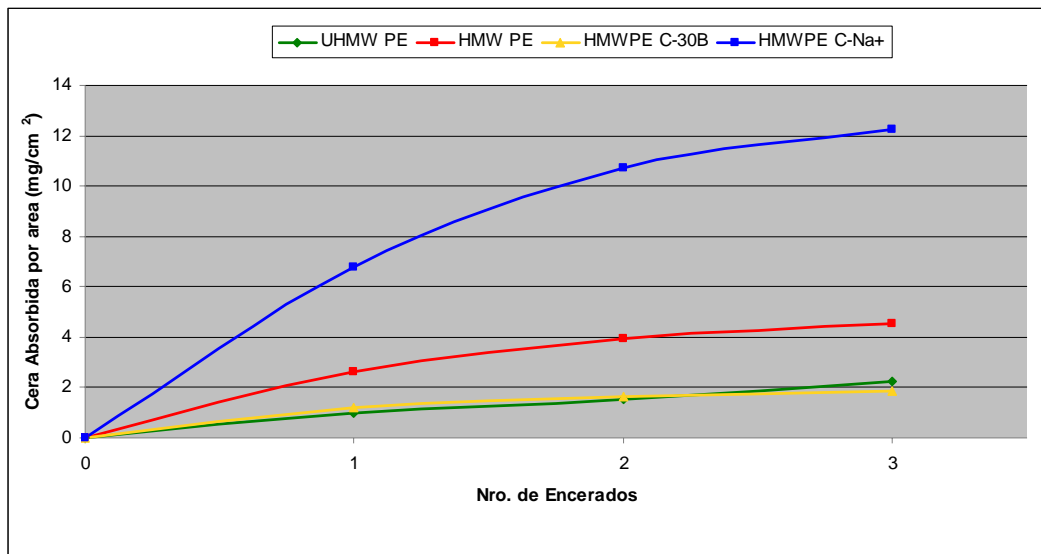


Figura 15: Masa de cera absorbida promedio por unidad de área en función de la cantidad de encerados.

Se observa un notable aumento en la absorción de las muestras de HMW-PE/C-Na⁺. Es debido a que al ser mezclada una partícula hidrofílica en una matriz hidrofóbica el grado de dispersión es bajo, lo que genera granos grandes de arcilla con espacio entre fases donde se puede alojar mayor cantidad de cera; en cambio el C-30B es hidrofóbico y puede dispersarse mejor en la matriz. Las **Figuras 25.a** y **b** del Anexo VIII muestran fotografías de muestras de HMW-PE/C-Na⁺ y HMW-PE/C-30B, donde se puede ver la

mayor homogeneidad de este último. La menor absorción de cera del UHMW-PE, es posiblemente debido a que su procesamiento fue por extrusión, mientras que el resto fueron prensados, dejando menor espacio para que se aloje la cera. En el mismo anexo se muestran en la **Tabla 13** los resultados del ensayo de absorción de cera.

Los resultados de los ensayos de absorción de agua mostraron que ninguna de las muestras absorbió agua, incluso luego de 4 días de inmersión.

- Ensayos de impacto

La carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$) registrada puede convertirse en una tensión que representa la resistencia al impacto cuando la fisura comienza a crecer (σ_d),

$$\sigma_d = 2.5 \cdot \frac{P_{m\acute{a}x}}{t^2} \quad (\text{ec. 5})$$

donde t es el espesor del disco.

La energía total (E_{tot}) requerida para penetrar completamente la probeta se calculó a partir del área bajo la curva carga-desplazamiento.

$$E_{tot} = \frac{1}{t} \int_0^{x_{total}} F \cdot dx \quad (\text{ec.6})$$

Además se calculó la energía de iniciación (E_{inic}) y de propagación (E_{prop}) como:

$$E_{inic} = \frac{1}{t} \int_0^{x_{m\acute{a}x}} F \cdot dx \quad (\text{ec. 7})$$

$$E_{prop} = \frac{1}{t} \int_{x_{m\acute{a}x}}^{x_{total}} F \cdot dx \quad (\text{ec. 8})$$

El promedio de los resultados se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3: Promedio de resultados ensayos de impacto.

	HMW-PE	HMW-PE/C-30B	HMW-PE/C-Na ⁺	UHMW-PE
σ_d [MPa]	15,85±1,10	13,48±1,20	14,15±0,46	> 25,66±0,57
Energía Total [mJ/mm]	39,99±7,28	23,07±6,66	39,20±1,79	> 51,68±0,10
Energía Iniciación [mJ/mm]	19,60±2,30	14,33±3,64	15,89±0,68	> 51,68±0,10
Energía Propagación [mJ/mm]	20,39±5,10	8,73±3,04	23,31±1,37	-

Los resultados muestran que el agregado de arcilla no produjo un aumento en la resistencia al impacto del HMW-PE. Se ve que el agregado de C-Na⁺ aumento la energía para la propagación de la fisura, pero disminuyó el valor para la iniciación de la misma.

En las **Figuras 16.a a d** se muestran fotografías de las placas de impacto luego de ser ensayadas. Las **Figuras 17.a a d** muestran una curva carga-desplazamiento de cada material ensayado.

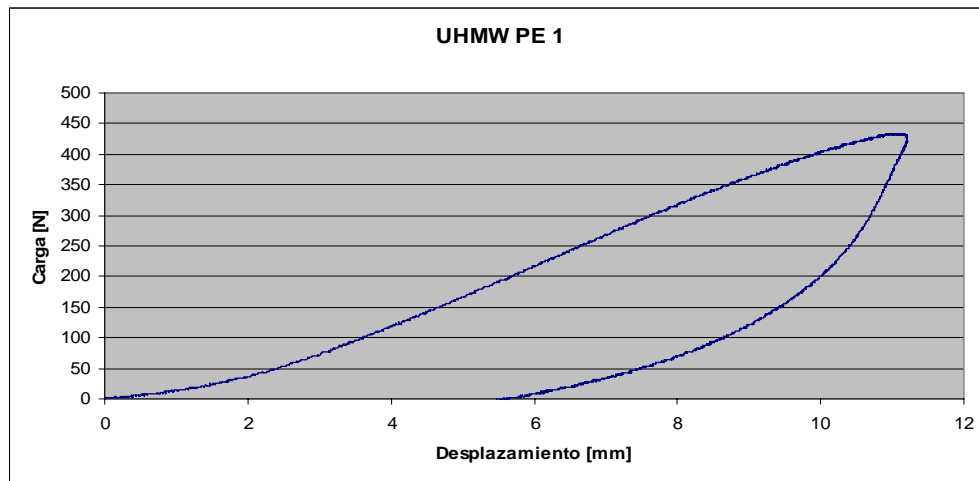


Figura 16.a: Curva carga-desplazamiento, probeta UHMW-PE 1.

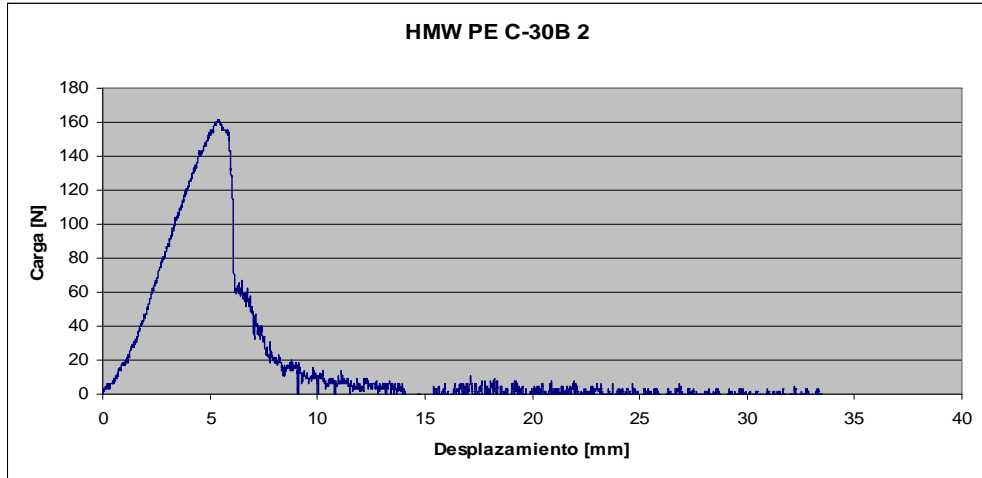


Figura 16.b: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE/C-30B 2.

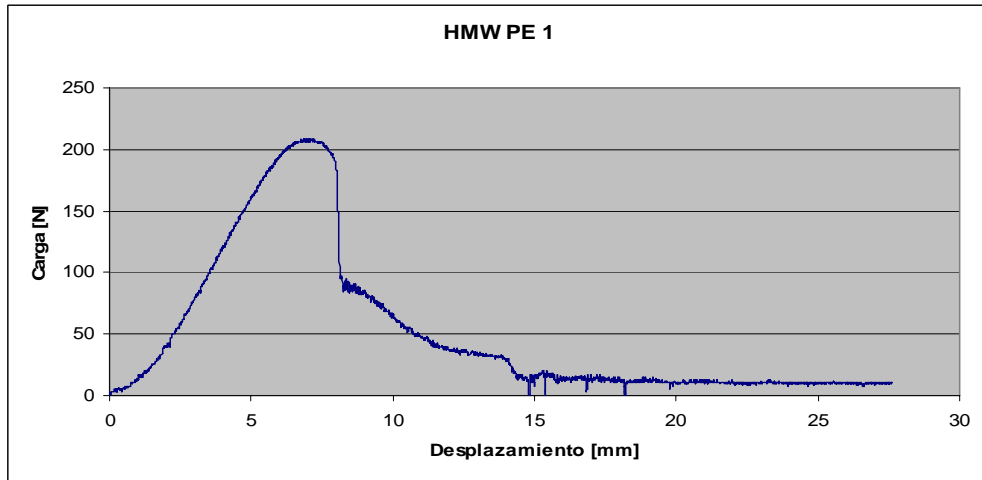


Figura 16.c: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE 1.

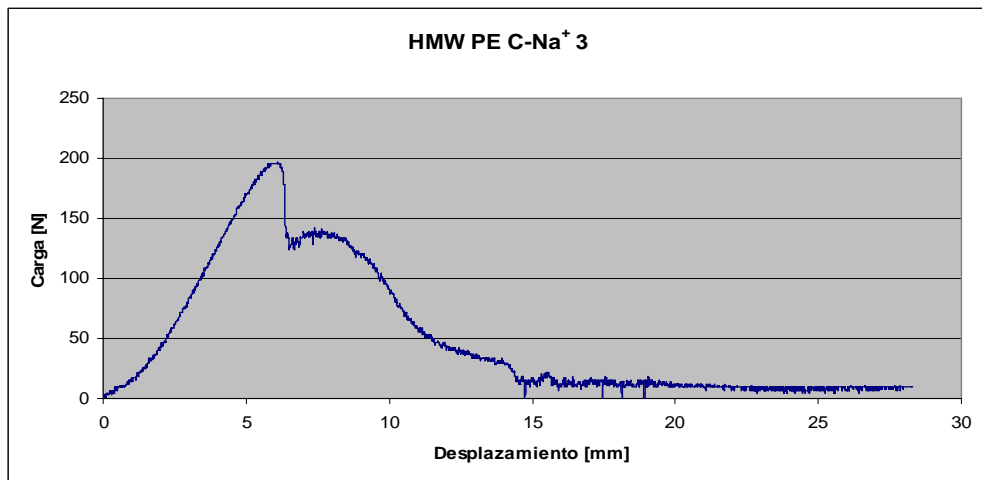


Figura 16.d: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE/C-Na⁺ 3.

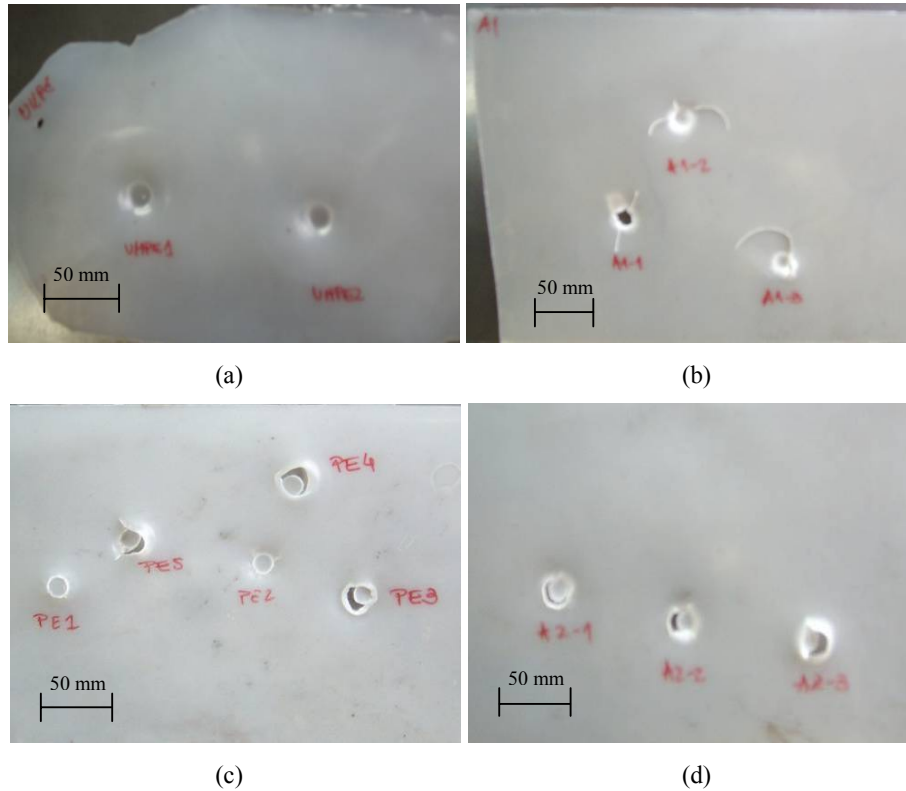


Figura 17: Fotos de las superficies impactadas. a) UHMW-PE. b) HMW-PE/C-30B. c) HMW-PE. d) HMW-PE/C-Na⁺.

Como se observa en la **Figura 16.a** y **17.a**, el impacto contra el UHMW PE fue dúctil. Si bien no se alcanzó la rotura se puede afirmar que la energía necesaria para la misma es mayor a 51,68 mJ/mm. En la única fotografía que se puede ver la propagación de la fisura como una línea es en la de HMWPE/C-30B, **Figura 17.b**, lo que confirma la disminución encontrada en su energía para la propagación. Lo mismo se puede observar e la **Figura 16.b**, con una rápida caída de la carga luego del pico máximo. El HMW-PE con y sin C-Na⁺, muestra una rotura dúctil que se puede observar tanto en las fotografías de la **Figura 17.c** y **d** como en las curvas carga-desplazamiento de las **Figuras 16.c** y **d**.

Las **Figuras 26.a** a **i** del Anexo IX muestran todas las curvas carga-desplazamiento obtenidas en los ensayos de impacto.

▪ Ensayo de desgaste

En la **Tabla 4** se muestran las dimensiones de cada muestra, el peso inicial (m_0), el peso final (m_f), el peso perdido (Δm) y el peso perdido por unidad de superficie ($\Delta m/A$), con el promedio para cada tipo de muestra y la desviación estándar.

Tabla 4: Resultados ensayo de desgaste.

Muestra	Área [mm ²]	m_0 [g]	m_f [g]	Δm [g]	$\Delta m/A$ [g/mm ²]	$\Delta m/A$ promedio	Desviación estándar
UH-1	1,02	102,3	97,7	4,6	4,5	3,24	0,97
UH-2	1,04	105,2	101,6	3,6	3,5		
UH-3	1,04	103,5	101,6	1,9	1,8		
UH-4	1,01	99,5	96,3	3,2	3,2		
UH-5	1,07	107,1	103,7	3,4	3,2		
H-1	1,08	91,1	88,0	3,10	3,15	3,43	1,42
H-2	1,08	91,0	88,0	3,00	3,05		
H-3	1,05	89,0	86,7	2,30	2,34		
H-4	1,04	91,7	85,6	6,1	5,9		
H-5	1,04	90,0	87,2	2,8	2,7		
Na ⁺ -1	1,01	94,2	91,4	2,8	2,8	2,36	0,42
Na ⁺ -2	1,05	98,1	96,3	1,8	1,7		
Na ⁺ -3	1,11	106,6	104,1	2,5	2,3		
Na ⁺ -4	1,05	97,5	95,0	2,5	2,4		
Na ⁺ -5	1,03	95,4	92,7	2,7	2,6		
C30-1	1,06	90,8	86,8	4,0	3,8	4,30	1,31
C30-2	1,05	90,6	87,2	3,4	3,2		
C30-3	1,01	88,7	84,7	4,0	4,0		
C30-4	1,05	93,7	87,2	6,5	6,2		

Los resultados muestran una desviación estándar entre el 15% y el 46% del promedio. Además las muestras marcadas en amarillo se torcieron durante el ensayo, haciendo que el desgaste de las mismas fuera con menor área apoyada, y consecuentemente más crítico. El valor encontrado creció notablemente lo que hace

pensar que un mínimo movimiento genera un error grande en la medición, ya que el área disminuye y la fuerza normal se mantiene constante. Si bien los valores encontrados no son nada precisos, se puede observar una tendencia a disminuir el desgaste de las muestras reforzadas con Na^+ .

- Medición del ángulo de contacto

En la **Tabla 5** se muestran los resultados del ángulo de contacto entre agua y las muestras ensayadas.

Tabla 5: Resultados obtenidos en la medición ángulo de contacto con agua.

Muestra	Izquierda	Derecha	Promedio
UHMW-PE	$96,8^\circ \pm 1,7^\circ$	$96,7^\circ \pm 5,0^\circ$	$96,7^\circ \pm 3,3^\circ$
HMW-PE	$96,4^\circ \pm 0,8^\circ$	$93,5^\circ \pm 0,6^\circ$	$94,9^\circ \pm 0,1^\circ$
HMW-PE/C30B	$92,4^\circ \pm 3,5^\circ$	$94,4^\circ \pm 3,3^\circ$	$93,4^\circ \pm 3,5^\circ$
HMW-PE/CNa ⁺	$78,6^\circ \pm 0,3^\circ$	$79,7^\circ \pm 1,8^\circ$	$79,2^\circ \pm 1,1^\circ$

Los primeros 3, el UHMW, el HMW-PE solo y el reforzado con arcilla C-30B no tienen diferencia importante en el ángulo de contacto, el cual ronda los 95° .

Entre las muestras de HMW-PE reforzado con C- Na^+ se observa una disminución de ángulo. Es lógico que disminuya debido a que la arcilla es hidrofílica, y evidentemente, algunas de las partículas quedaron sobre la superficie del material haciendo que la misma se vuelva más polar.

La **Figura 18** muestra una foto capturada en el momento del ensayo.

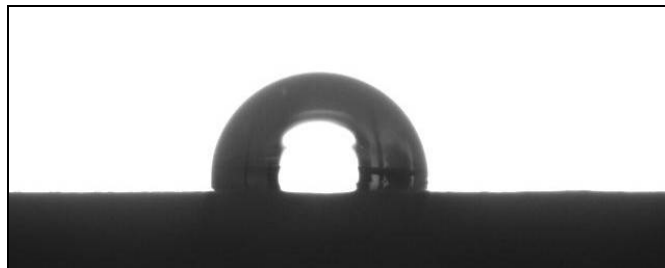


Figura 18: Fotografía de una gota de agua sobre la superficie de HMW-PE.

Conclusiones

En este trabajo se estudio el efecto de diferentes tratamientos a polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE) sobre la adhesión a un material compuesto (epoxi/fibra de vidrio) que se utilizan como base y núcleo de tablas de snowboard respectivamente. Los realizaron tratamientos con llama, UV y lijado.

Los resultados de los ensayos de “lap-shear” mostraron que la adhesión del UHMW-PE con el compuesto vidrio-epoxi aumento más de 6 veces al tratarlo con llama. En el caso del lijado de la superficie, también se observó un incremento pero este fue notablemente menor. La primera técnica introduce grupos óxidos y carbonilos (demostrado mediante FTIR), aumentando la energía superficial del UHMW-PE, mientras que la segunda aumenta el área donde se puede alojar la resina (demostrado mediante SEM). En el caso de las probetas tratadas con UV también pudo verse la oxidación de la superficie del UHMW-PE, lo que se corroboró a partir de FTIR; sin embargo no se pudo lograr un aumento en la adhesión al material compuesto lo que podría deberse a que la intensidad del tratamiento (tiempo, potencia) no fue suficiente.

Por otro lado, se estudió el efecto del agregado de arcillas sobre las propiedades de desgaste, fricción, impacto y absorción del polietileno de alto peso molecular (HMW-PE) a fines de reemplazar al UHMW-PE debido principalmente a su elevado costo. Se utilizaron arcillas comerciales sin modificar (montmorillonita, C-Na⁺) y modificada (C-30B).

Ninguno de los materiales compuestos fue efectivo para mejorar la resistencia al impacto del HMW-PE. Además la arcilla menos hidrofílica, C-30B, tuvo un efecto negativo, disminuyendo la energía total de impacto; mientras que la arcilla sin modificar, C-Na⁺, no varió la energía total al tiempo que produjo un aumento en la energía para la iniciación de la fisura. La absorción de cera en el nanocompuesto HMW-PE/C-Na⁺ aumentó respecto al HMW-PE solo, debido a la porosidad superficial generada por las partículas de arcilla, la incorporación de esta arcilla también produjo un aumento en la resistencia al desgaste. Esto es importante para la aplicación en tablas de snowboard, ya que su desgaste y deslizamiento están íntimamente ligados a la absorción y retención de cera. El ángulo de contacto tuvo una disminución con el agregado arcilla C-Na⁺, esto muestra que algunas partículas quedaron sobre la superficie del material haciéndola más hidrofílica.

Dificultades Encontradas

Se intento mezclar el UHMW-PE con las arcillas, pero debido a su gran viscosidad, no fue posible con el equipamiento que se tuvo disponible; incluso utilizando una temperatura de 190°C, el torque de la mezcladora intensiva no fue suficiente. Si se hubiese podido mezclar se hubiera podido comparar todos los materiales con el mismo tipo de procesamiento, y además ver como se modifican las propiedades del UHMW-PE con el contenido de arcilla.

Debido a la ausencia de algún equipo para la medición de la resistencia al desgaste en buen estado, se tuvo que confeccionar un ensayo casero. La realización del mismo fue difícil y con alto porcentaje de error.

El tratamiento con llama de las muestras fue filmado para poder verificar que fueron expuestas en forma adecuada. El control del tratamiento no fue bueno ya que no se dispuso de algún dispositivo electrónico para realizarlo vigilando que el tiempo y la distancia sean precisos.

Trabajos Futuros

A partir de los resultados surgen los siguientes trabajos pendientes:

- Mezclar el polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE) para obtener placas por presión con y sin las arcillas. Esto no se pudo realizar debido a que los equipos de mezclado con los que se cuenta actualmente no tienen el torque suficiente.
- Ensayar probetas de polietileno de alto peso molecular (HMW-PE) con y sin arcilla y de UHMW-PE utilizando una máquina para medir la resistencia al desgaste.
- Caracterizar los nanocompuestos (TEM y DRX) para determinar la distribución y dispersión de las nanoarcillas en la matriz polimérica.
- Tratamientos con UV: mejorar cambiando la intensidad del tratamiento para encontrar un incremento en la adhesión con el compuesto epoxi/fibra de vidrio.

Referencias

- [1] <http://www.ussa.org/>
- [2] <http://www.snowboarding.com>
- [3] <http://www.bettersnowboarding.com/typesofsnowboards.html>
- [4] <http://www.worldsnowboardfederation.org/>
- [5] X.L. Xie, C.Y. Tanga, Kathy Y.Y. Chan, X.C. Wu, C.P. Tsui, C.Y. Cheung, “Wear performance of UHMW-PE/quartz composites”; *biomat.* 24 (2003) 1889-1896. (*paper*)
- [6] J. Song, U. Gunst, H. F. Arlinghaus, G. J. Vancso, “Flame treatment of LDPE: Surface chemistry across the length scales”; *app. sur. sci.* 253 (2007) 9489-9499. (*paper*)
- [7] M. Alexandre, P. Dubois, “Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials”; *Materials Science and Engineering: R*, 2000, Vol 28, pp 1-63. (*paper*)
- [8] X. Kornmann, M. Reesa, Y. Thomannb, A. Necolaa, M. Barbezata, R. Thomannb, “Epoxy-layered silicate nanocomposites as matrix in glass fibre-reinforced composites”; *Composites Science and Technology*, 2005, pp 2259-2268. (*paper*)
- [9] P. Messersmith and E. Giannelis, “Synthesis and barrier properties of poly(epsiv-caprolactone)-layered silicate nanocomposites”; *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 1995, Vol 33, pp 1047-1057. (*paper*)
- [10] Y. Kojima, A. Usuki, M. Kawasumi, A. Okada, Y. Fukushima, T. Kurauchi and Osami Kamigaito, “Mechanical properties of nylon 6-clay hybrid”; *Journal of Materials Research*, 1993, Vol 8, pp 1185-1189. (*paper*)
- [11] J. Gilman, C. Jackson, A. Morgan, R. Harris, E. Manias, E. Giannelis, M. Wuthenow, D. Hilton and S. Phillips, “Flammability Properties of Polymer-Layered-Silicate Nanocomposites. Polypropylene and Polystyrene Nanocomposites *Chemistry of Materials*”, 2000, Vol 12, pp 1866-1873. (*paper*)
- [12] G. Gorrasi, M. Tortora, V. Vittoriaa, B. Lepoittevin, M. Alexandre and P. Dubois, “Vapor barrier properties of polycaprolactone montmorillonite nanocomposites: effect of clay dispersion”, *Polymer*, 2003, Vol 44, pp 2271-2279. (*paper*)
- [13] S. S. Ray, M. Okamoto, “Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing”; *prog. poly. sci.* 28 (2003) 1539-1641. (*paper*)
- [14] F. Khoylou and S. Hassanpour, “The Effect of Environmental Conditions on Electron Beam Cross-linked Agricultural Polyethylene Films”; *Iranian pol. jour.* 14 (10), 2005, 875-879. (*paper*)
- [15] Wunderlich, B. and Cormier, C. M., “Heat of fusion of polyethylene”; *J. Polym. Sci.*, Vol A-2, No. 5, 1967, pp. 987–988. (*libro*)

- [16] M. Antunes, D. Arencón, V. Realinho and J.I. Velasco, “Microstructure anisotropy in polyolefin flexible foams”; 5th International Conference on Advanced Materials Research IOP Publishing 2009. (*paper*)
- [17] H. Kumagai, T. Kusunoki and T. Kobayashi, “Surface Modification of Polymers by Thermal Ozone Treatments”; AZojomo (ISSN 1833-122X) Volume 3 December 2007. (*paper*)
- [18] C. Jiang, H. Sun, D. Zhang, W. Hu, Z. Qin, “FTIR analysis of fractional extracts from Zhunge'er bituminous coal”; School of Chemical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China. (*paper*)

Anexo I: Hojas técnicas de materiales

Polietileno de ultra alto peso molecular, datos técnicos:

Tabla 6: Especificaciones técnicas del UHMW-PE.

Propiedades mecánicas a 23°C	Unidad	ASTM	DIN	Valores
Peso específico	gr/cm ³	D-792	53479	0,93
Res. a la tracción (fluencia / rotura)	Kg/cm ²	D-638	53455	200 / --
Res. a la compresión (1 y 2 % def)	Kg/cm ²	D-695	53454	45 / 80
Resistencia a la flexión	Kg/cm ²	D-790	53452	--
Resist. al choque sin entalla	Kg.cm/cm ²	D-256	53453	No rompe
Alargamiento a la rotura	%	D-638	53455	> 350
Modulo de elasticidad (tracción)	Kg/cm ²	D-638	53457	6000
Dureza	Shore D	D-2240	53505	61 - 64
Coef. de fricción estático s/acero		D-1894		0,20 - 0,25
Coef. de fricción dinámico s/acero		D-1894		0,15 - 0,20
Resist. al desgaste por fricción				Muy buena
Propiedades térmicas	Unidad	ASTM	DIN	Valores
Calor específico	Kcal/Kg.°C	C-351		0,54
Temp. de flex. B/carga (18,5kg/cm ²)	°C	D-648	53461	46
Temp. de uso continuo en aire	°C			-30 a 80
Temp. de fusión	°C			130
Coef. de dilatación lineal de 23 a 1	por °C	D-696	52752	0,0002
Coef. de conducción térmica	Kcal/m.h.°C	C-177	52612	0,36
Propiedades eléctricas	Unidad	ASTM	DIN	Valores
Constante dieléctrica a 60 hz		D-150	53483	2,3
Constante dieléctrica a 1 khz		D-150	53483	2,3
Constante dieléctrica a 1 mhz		D-150	53483	2,3
Absorción de humedad al aire	%	D-570	53472	< 0,01
Resistencia superficial	Ohm	D-257	53482	> 10 a la 15
Resistencia volumétrica	Ohms-cm	D-257	53482	> 10 a la 14
Rigidez dieléctrica	Kv/mm	D-149		45

Propiedades químicas		Observaciones
Resistencia a hidrocarburos		Regular
Res. a ácidos débiles a temp. amb.		Regular
Res. a alcalis débiles a temp. amb.		Buena
Res. a productos químicos definidos		Consultar
Efecto de los rayos solares		Lo afectan
Aprob. p/contacto con alimentos		Si
Comportamiento a la combustión		Arde fácilmente
Propagación de llama		Mantiene la llama
Comportamiento al quemarlo		Funde gotea y se descompone
Color de la llama		Amarilla
Olor al quemarlo		No tiene

Closite Na⁺ y Closite 30B, datos técnicos:

Tabla 7.a: C-Na⁺, C-30B, modificador, porcentaje de humedad, peso perdido por ignición.

Tratamiento/ Propiedades	Modificador Orgánico	Concentración de Modificador	% Humedad	% Peso Perdido por Ignición
Closite Na ⁺	No	No	4-9	7
Closite 30B	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{N}^+-\text{T} \\ \\ \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} \text{ (1)} \end{array}$	90 meq/100g	<2	30

⁽¹⁾ methyl, tallow, bis-2-hydroxyethyl, quaternary ammonium.

Tabla 7.b: C-Na⁺, C-30B, tamaño de partícula seca.

Tamaño Part. Seca	10% menor que:	50% menor que:	90% menor que:
Closite Na ⁺	2µm	6µm	13µm
Closite 30B	2µm	6µm	13µm

Tabla 7.c: C-Na⁺, C-30B, densidad.

Densidad	Loose Bulk, lbs/ft ³	Packed Bulk, lbs/ft ³	Density, g/cc
Closite Na ⁺	12,45	20,95	2,86
Closite 30B	14,25	22,71	1,98

Sistema Epoxi Araldite M + HY956, datos técnicos:

Procesado: 100 partes Araldite M, 20 partes Endurecedor HY956

Viscosidad a 25°C: 1200-1400 mPa.s

Tiempo Mínimo de Curado: 24-36 horas.

Tiempo Desmolde: 20-24 horas.

Anexo II: Porcentaje de fibra, calcinación.

Para averiguar el porcentaje en peso de fibra que contiene las placas conformadas, se realizó un tratamiento de calcinación con etapas de calentamiento en mufla, como se muestra en la **Figura 18**.

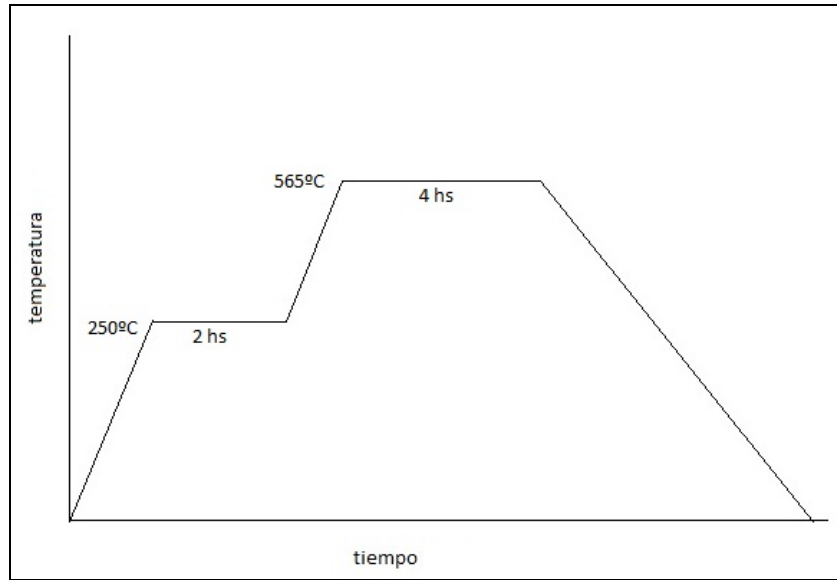


Figura 18: Calcinación en mufla, tiempos y temperaturas.

Se calculó como cien veces la relación entre el peso después de la calcinación y el peso antes. Los resultados se muestran en la **Tabla 8**.

Tabla 8: Resultados calcinación.

Muestra	Peso inicial [g]	Peso final [g]	% en peso de Fibra
Compuesto 1	0,81	0,52	64,2
Compuesto 2	0,64	0,46	71,9
Compuesto 3	1,80	1,11	61,7
Compuesto 4	1,31	0,84	64,1
Compuesto 5	1,03	0,62	60,2
Compuesto 6	0,91	0,54	59,3
Compuesto 7	1,24	0,76	61,3
Compuesto 8	0,95	0,56	58,9

Anexo III: Exposición a llama.

En la **Figura 19** se muestra el soplete utilizado para los tratamientos de llama realizados sobre las probetas de UHMW-PE.



Figura 19: Fotografía del tratamiento con llama, probeta de UHMW-PE.

El tratamiento fue filmado y analizado para hallar el tiempo de exposición a la llama. La **Tabla 9** muestra la cantidad de cuadros que estuvo expuesta la probeta a la llama, el tiempo de exposición total de cada probeta y el tiempo medio en ancho (ancho de la llama dividido ancho de la probeta por tiempo de exposición total)

Tabla 9: Tiempo de exposición a llama.

Probeta	Cuadros expuesto	Tiempo de un cuadro [s]	Tiempo total [s]	Tiempo medio [s]
L1-P1	4	1/24	0,167	0,036
L1-P2	4	1/24	0,167	0,036
L1-P3	4	1/24	0,167	0,036
L1-P4	4	1/24	0,167	0,036
L2-P1	10	1/30	0,333	0,072
L2-P2	10	1/30	0,333	0,072
L2-P3	10	1/30	0,333	0,072
L2-P4	10	1/30	0,333	0,072
L3-P1	12	1/24	0,500	0,108
L3-P2	13	1/24	0,542	0,117
L3-P3	12	1/24	0,500	0,108

L3-P4	13	1/24	0,542	0,117
L3-P5	14	1/30	0,467	0,101
L3-P6	15	1/30	0,500	0,108
L4-P1	20	1/30	0,667	0,144
L4-P2	20	1/30	0,667	0,144
L4-P3	18	1/30	0,600	0,130
L5-P1	23	1/30	0,767	0,166
L5-P2	25	1/30	0,833	0,180
L5-P3	24	1/30	0,800	0,173
L5-P4	24	1/30	0,800	0,173
L5-P5	24	1/30	0,800	0,173
L7-P1	35	1/30	1,167	0,253
L7-P2	35	1/30	1,167	0,253
L7-P3	34	1/30	1,133	0,245
L8-P1	32	1/24	1,333	0,289
L8-P2	32	1/24	1,333	0,289
L8-P3	31	1/24	1,292	0,280
L8-P4	31	1/24	1,292	0,280
L1v-P1	5	1/30	0,167	0,036
L1v-P2	5	1/30	0,167	0,036
FL3-P1	14	1/30	0,467	0,101
FL3-P2	13	1/30	0,433	0,094
FL3-P3	14	1/30	0,467	0,101

Anexo IV: Ensayo de “lap-shear”, resultados.

En las siguientes **Tablas 10.a a 10.e** se muestran los resultados de “lap-shear” con su promedio y desviación estándar. En la **Tabla 11** se muestran los todos resultados, incluyendo los descartados con las observaciones de cada probeta.

Tabla 10.a: Sin Tratamiento, Lap Shear.

Sin Trat.	[MPa]
ST-P5	0,35
ST-P6	0,37
ST-P8	0,33
ST-P9	0,42
ST-P10	0,42
Media	0,38
Des. Est.	0,04

Tabla 10.b: Tratamiento superficial con llama, Lap Shear.

Llama 1	[MPa]	Llama 2	[MPa]	Llama 3	[MPa]	Llama 4	[MPa]	Llama 5	[MPa]
L1-P1	1,10	L2-P2	1,78	L3-P1	1,92	L4-P1	2,22	L5-P3	2,18
L1-P2	0,99	L2-P3	1,79	L3-P2	1,81	L4-P2	2,30	L5-P4	2,96
L1-P4	1,08	L2-P4	1,82	L3-P3	1,87	L4-P3	2,40	L5-P5	2,63
				L3-P4	1,71				
				L3-P5	2,18				
				L3-P6	2,03				
Media	1,06	Media	1,79	Media	1,92	Media	2,31	Media	2,59
De. Est.	0,06	De. Est.	0,02	De. Est.	0,16	De. Est.	0,09	De. Est.	0,39

Tabla 10.c: Film intermedio, Lap Shear.

Film ST	[MPa]	Film Lija 100	[MPa]	Film Llama 3	[MPa]
FST-P1	0,68	FL100-P1	2,00	FL3-P1	2,33
FST-P2	0,68	FL100-P2	1,54	FL3-P2	2,43
FST-P3	0,54	FL100-P3	1,95	FL3-P3	2,52

FST-P4	0,64				
Media	0,63	Media	1,83	Media	2,43
De. Est.	0,07	De. Est.	0,25	De. Est.	0,09

Tabla 10.d: Lijado, Lap Shear.

Lija 500	[MPa]	Lija 180	[MPa]	Lija 100	[MPa]
L500-P1	0,80	L180-P1	1,58	L100-P1	1,27
L500-P2	0,74	L180-P2	1,70	L100-P2	1,47
L500-P3	0,73	L180-P3	1,71	L100-P4	1,54
				L100-P5	1,94
				L100-P6	1,80
Media	0,76	Media	1,66	Media	1,61
De. Est.	0,04	De. Est.	0,07	De. Est.	0,27

Tabla 10.e: Tratamiento superficial con radiación UV, Lap Shear.

UV-X2-20s	[MPa]	UV-X2-80s	[MPa]	UV-X3-20s	[MPa]	UV-X3-80s	[MPa]
X2S20-P1	0,30	X2S80-P1	0,19	X3S20-P2	0,33	X3S80-P1	0,16
X2S20-P2	0,32	X2S80-P2	0,43	X3S20-P3	0,25	X3S80-P2	0,16
		X2S80-P3	0,20			X3S80-P3	0,15
						X3S80-P4	0,17
Media	0,31	Media	0,28	Media	0,29	Media	0,16
De. Est.	0,01	De. Est.	0,14	De. Est.	0,06	De. Est.	0,01

Tabla 11: Todos los Resultados Lap Shear.

ID	Tratamiento	Observaciones	Corte [MPa]	Long. pegado
ST-P1	Sin tratamiento	Rotura adhesiva-cohesiva	0,19	10
ST-P2	Sin tratamiento	Rotura adhesiva-cohesiva	0,20	10
ST-P3	Sin tratamiento	Rotura adhesiva-cohesiva	0,28	10
ST-P4	Sin tratamiento	Rotura adhesiva-cohesiva	0,16	10
ST-P5	Sin tratamiento		0,35	10
ST-P6	Sin tratamiento		0,37	10

ST-P7	Sin tratamiento	Pegado torcido	0,45	10
ST-P8	Sin tratamiento		0,33	10
ST-P9	Sin tratamiento		0,42	5
ST-P10	Sin tratamiento		0,42	5
ST-P11	Sin tratamiento	Pegado torcido	0,22	5
L1-P1	Llama 1 pasada		1,10	10
L1-P2	Llama 1 pasada		0,99	10
L1-P3	Llama 1 pasada	Patino mordaza	-	10
L1-P4	Llama 1 pasada		1,08	10
L2-P1	Llama 2 pasadas	Pegado torcido	2,22	5
L2-P2	Llama 2 pasadas		1,78	5
L2-P3	Llama 2 pasadas		1,79	5
L2-P4	Llama 2 pasadas		1,82	5
L3-P1	Llama 3 pasadas		1,92	10
L3-P2	Llama 3 pasadas		1,81	10
L3-P3	Llama 3 pasadas		1,87	10
L3-P4	Llama 3 pasadas		1,71	10
L3-P5	Llama 3 pasadas		2,18	5
L3-P6	Llama 3 pasadas		2,03	5
L4-P1	Llama 4 pasadas		2,22	5
L4-P2	Llama 4 pasadas		2,30	5
L4-P3	Llama 4 pasadas		2,40	5
L5-P1	Llama 5 pasadas	Rotura adhesiva-cohesiva	1,15	5
L5-P2	Llama 5 pasadas	Rotura adhesiva-cohesiva	1,42	5
L5-P3	Llama 5 pasadas		2,18	5
L5-P4	Llama 5 pasadas		2,96	5
L5-P5	Llama 5 pasadas		2,63	5
L7-P1	Llama 7 pasadas	Rotura en partes	1,20	5
L7-P2	Llama 7 pasadas	Rotura en partes	1,11	5
L7-P3	Llama 7 pasadas	Rotura en partes	1,31	5
L8-P1	Llama 8 pasadas	Pegado torcido	1,20	10
L8-P2	Llama 8 pasadas	Rotura adhesiva-cohesiva	0,87	10
L8-P3	Llama 8 pasadas	No rompió	-	10
L8-P4	Llama 8 pasadas	No rompió	-	10
L1v-P1	Llama 1 pasada		1,89	
L1v-P2	Llama 1 pasada		2,38	

FST-P1	Film sin tratamiento		0,68	10
FST-P2	Film sin tratamiento		0,68	10
FST-P3	Film sin tratamiento		54	10
FST-P4	Film sin tratamiento		0,64	10
FL100-P1	Film Lija 100		2,00	5
FL100-P2	Film Lija 100		1,54	5
FL100-P3	Film Lija 100		1,95	5
FL3-P1	Film Llama 3 pasadas		2,33	5
FL3-P2	Film Llama 3 pasadas		2,43	5
FL3-P3	Film Llama 3 pasadas		2,52	5
L600-P1	Lija 600	Lijada a mano	0,66	10
L600-P2	Lija 600	Lijada a mano	1,36	10
L600-P3	Lija 600	Lijada a mano	0,81	10
L600-P4	Lija 600	Lijada a mano	1,04	10
L500-P1	Lija 500		0,80	5
L500-P2	Lija 500		0,74	5
L500-P3	Lija 500		0,73	5
L180-P1	Lija 180		1,58	5
L180-P2	Lija 180		1,70	5
L180-P3	Lija 180		1,71	5
L150-P1	Lija 150	Lijada a mano	1,81	10
L150-P2	Lija 150	Lijada a mano	1,78	10
L150-P3	Lija 150	Lijada a mano	1,62	10
L150-P4	Lija 150	Lijada a mano	1,75	10
L100-P1	Lija 100		1,27	5
L100-P2	Lija 100		1,47	5
L100-P3	Lija 100	Pegado torcido	0,69	5
L100-P4	Lija 100		1,54	5
L100-P5	Lija 100		1,94	5
L100-P6	Lija 100		1,80	5
L80-P1	Lija 80	Lijada a mano	1,05	10
L80-P2	Lija 80	Lijada a mano	1,15	10
L80-P3	Lija 80	Lijada a mano	1,37	10
L80-P4	Lija 80	Lijada a mano	1,55	10
L80-P5	Lija 80	Lijada a mano	2,30	10
L80-P6	Lija 80	Lijada a mano	2,06	10

L80-P7	Lija 80	Lijada a mano	1,71	10
X2S20-P1	UV x2 20s		0,30	10
X2S20-P2	UV x2 20s		0,32	10
X2S80-P1	UV x2 80s		0,19	10
X2S80-P2	UV x2 80s		0,43	10
X2S80-P3	UV x2 80s		0,20	10
X2S80-P4	UV x2 80s	Rotura adhesiva-cohesiva	0,09	10
X3S20-P1	UV x3 20s	Rotura adhesiva-cohesiva	0,07	10
X3S20-P2	UV x3 20s		0,33	10
X3S20-P3	UV x3 20s		0,25	10
X3S80-P1	UV x3 80s		0,16	10
X3S80-P2	UV x3 80s		0,16	10
X3S80-P3	UV x3 80s		0,15	10
X3S80-P4	UV x3 80s		0,17	10

Todos los resultados marcados en amarillo fueron descartados por diferentes motivos. Las probetas L80, L150 y L600 fueron lijadas a mano, los resultados muestran mucha dispersión, la cual que fue atribuida al método de lijado. Por ello se ensayaron probetas lijadas con papeles lija de 100, 180 y 500 granos por pulgada cuadrada, realizando el tratamiento con la pulidora manual mostrada en la **Figura 1**. Algunas probetas como la ST-P7 y la ST-P11 fueron mal pegadas, quedando desalineadas. La **Figura 20** muestra una foto de una probeta mal pegada ya ensayada.

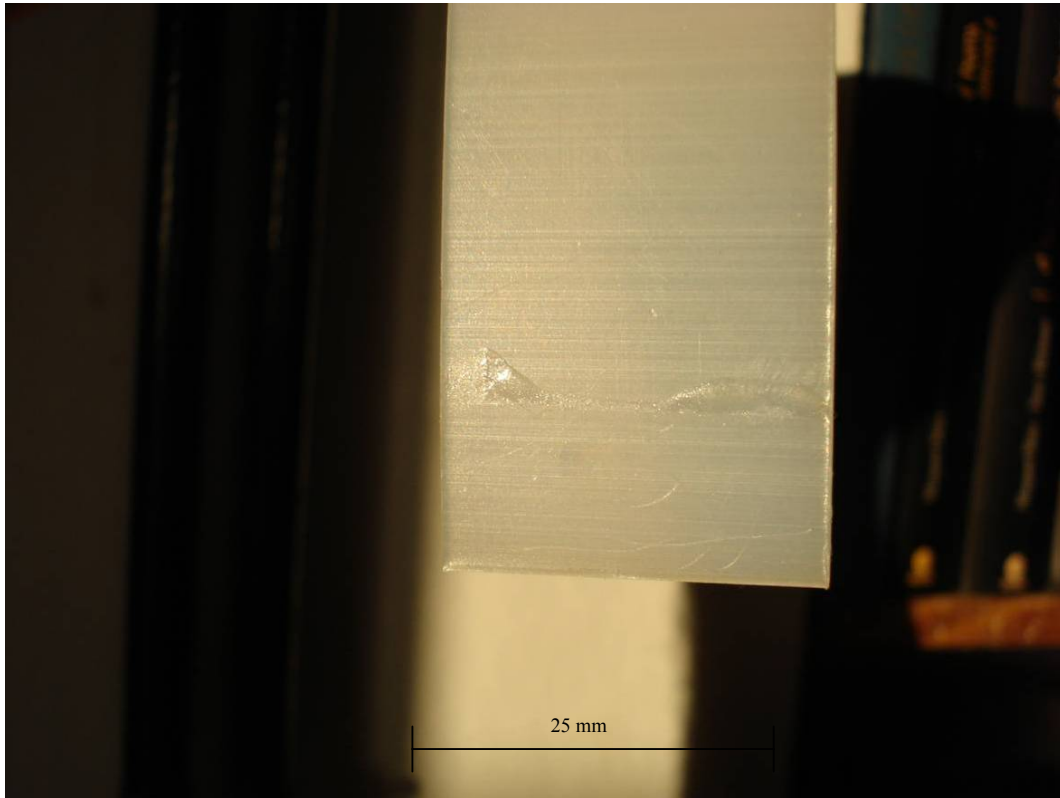


Figura 20: Probeta ST-P7 ya ensayada.

En la fotografía se puede ver la línea de adhesivo que marca la zona de solapamiento, ésta tiene 25 mm de ancho y tiene una diferencia de 1 mm de altura en cada lado, a la izquierda 10,3 mm a la derecha 11,3 mm. Esta diferencia produjo una desalineación del solapamiento entre el polietileno y el compuesto, y durante el ensayo un tirado desparejo. En otras probetas como la L8-P2, la falla no fue completamente adhesiva, se vio que la fractura paso de una interface a la otra, dejando muestras de adhesivo en ambas caras (el polietileno y el compuesto). Se puede ver este comportamiento de la probeta L7-P1 en la **Figura 21**.

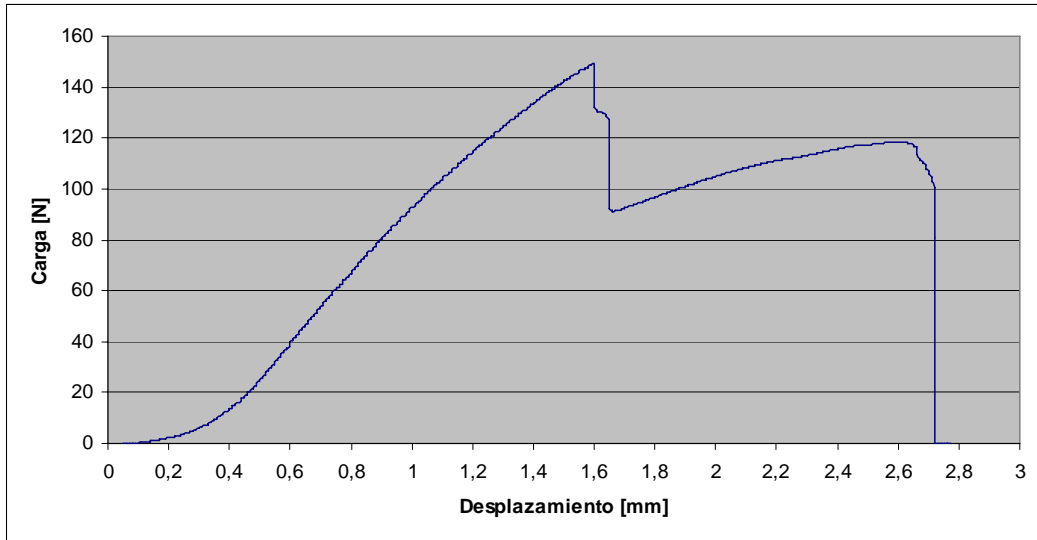


Figura 21: Curva carga-desplazamiento, probeta L7-P1.

Las probetas L7 rompieron por partes, primero una mitad, luego la otra; se ve este comportamiento como una primera caída en la carga, donde rompe la mitad de la zona de solapamiento, y una nueva carga y segunda caída donde termina de romper.

Anexo V: Ensayo FTIR.

A continuación, en las **Figuras 22.a a i**, se muestran a todos los gráficos de los ensayos de FTIR.

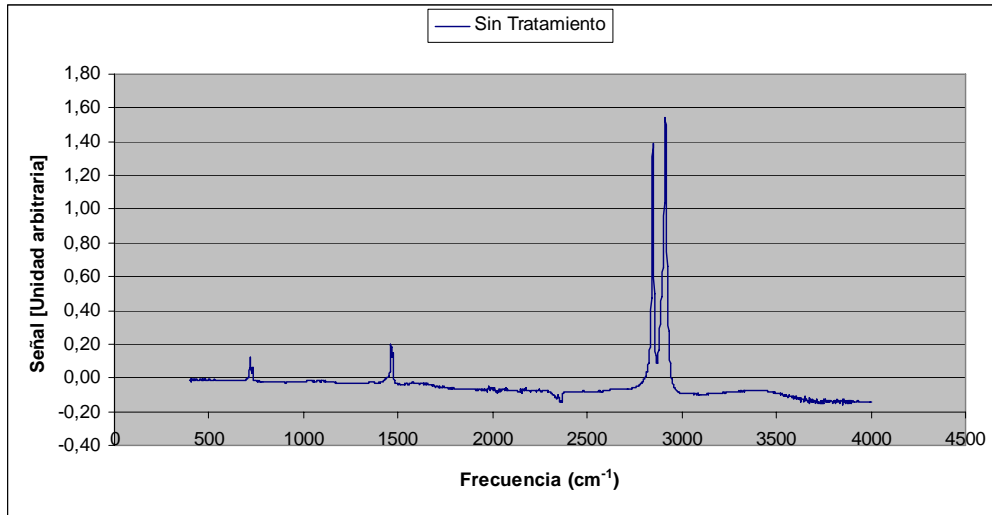


Figura 22.a: Sin Tratamiento.

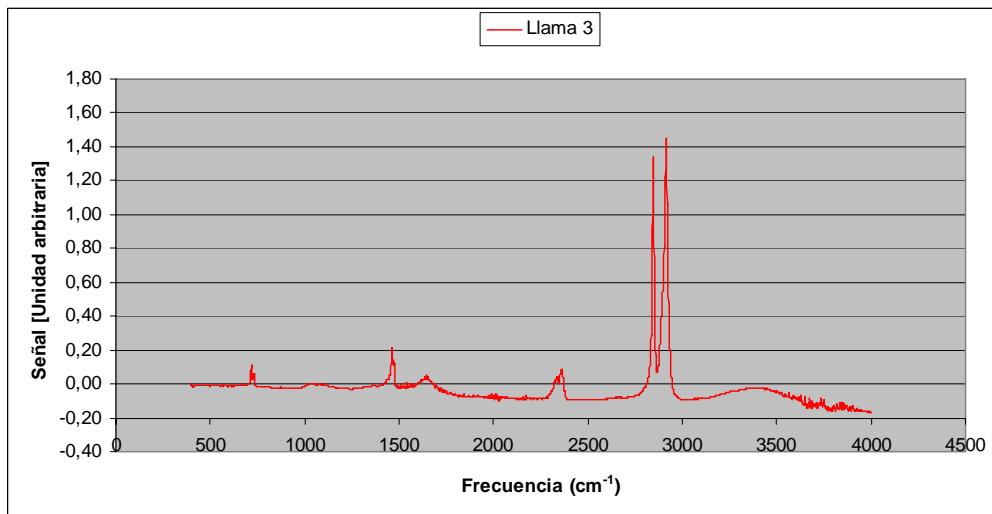


Figura 22.b: Llama 3.

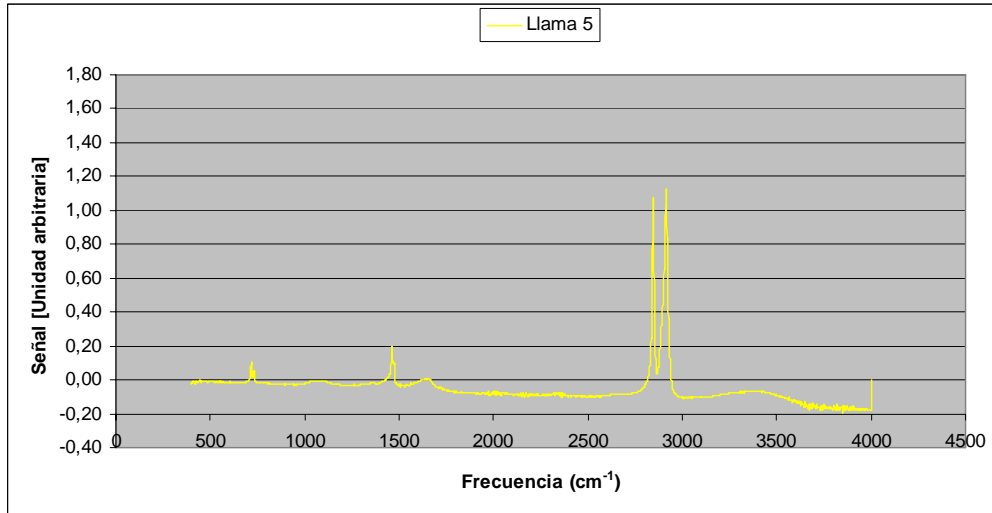


Figura 22.c: Llama 5.

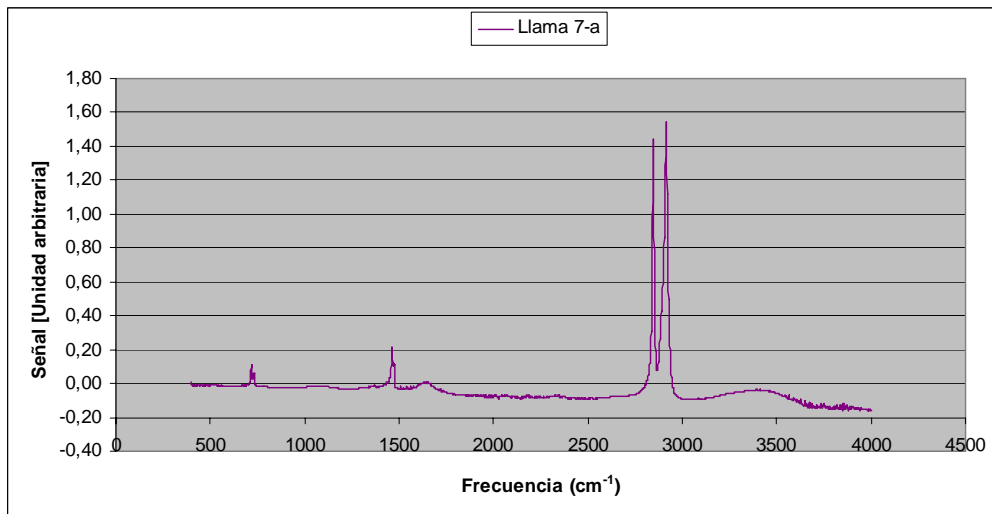


Figura 22.d: Llama 7 a.

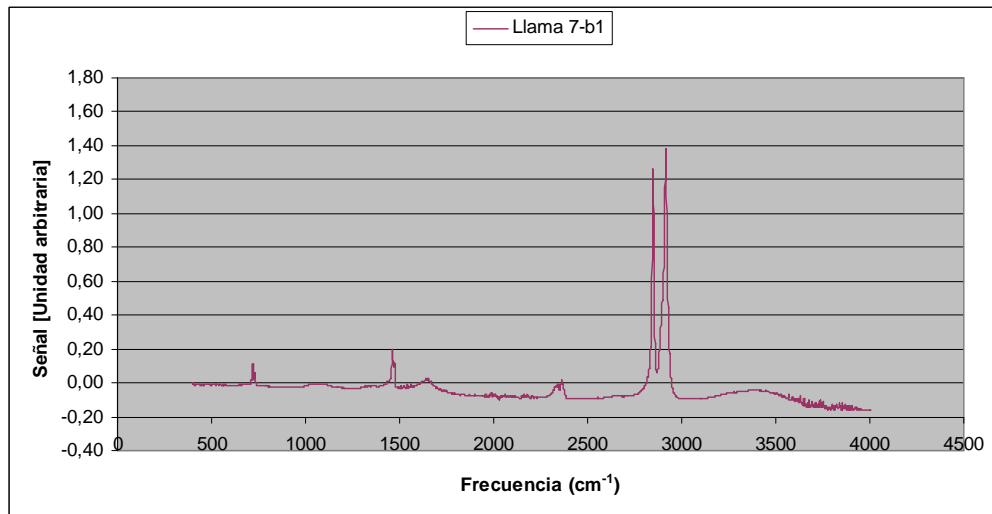


Figura 22.e: Llama 7 b1.

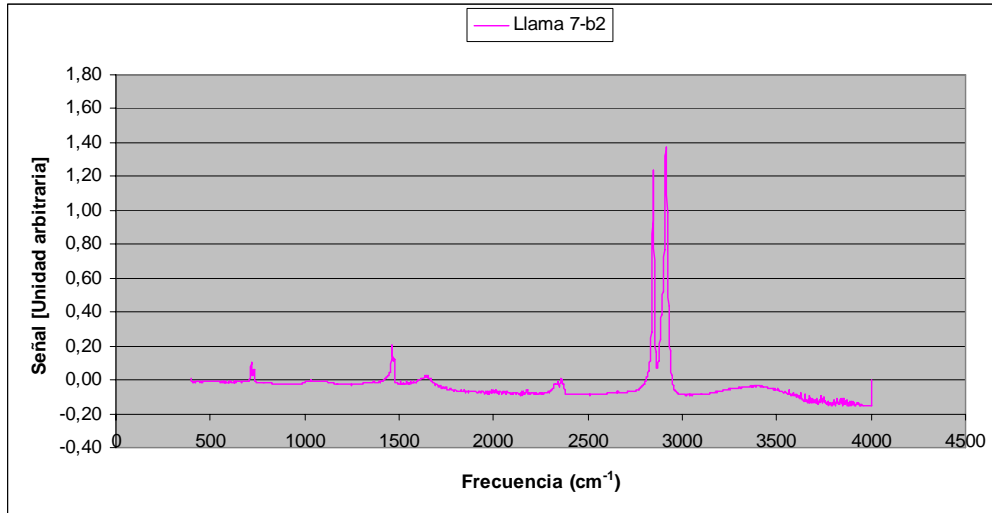


Figura 22.f: Llama 7 b2.

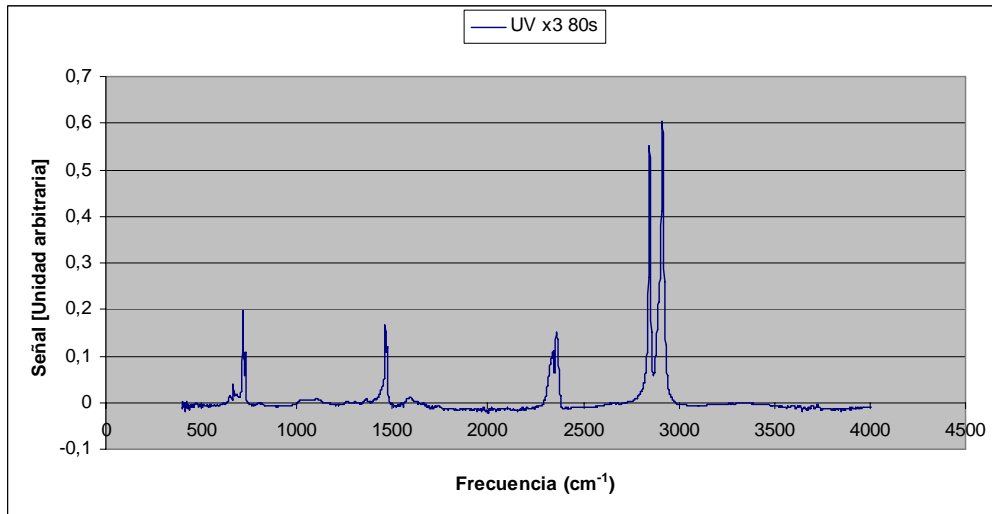


Figura 22.g: UV x3 80s.

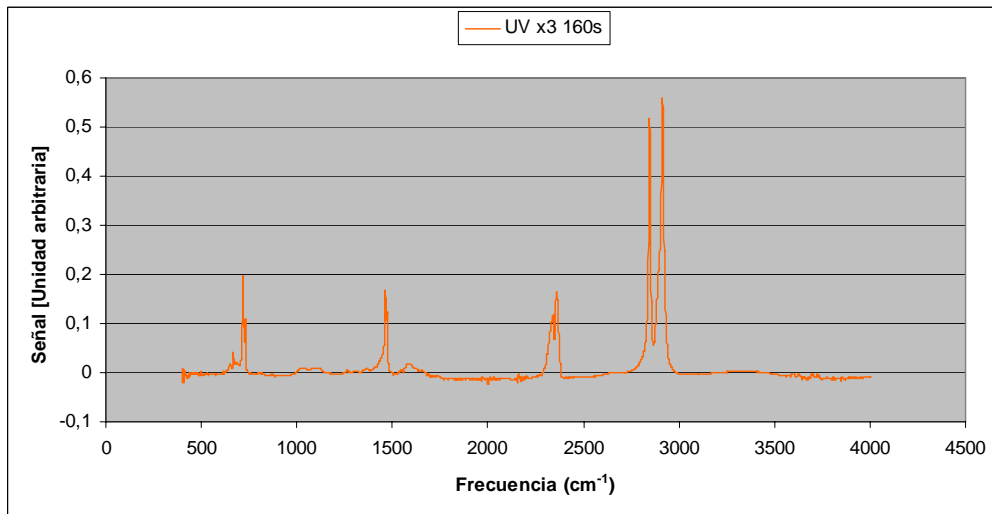


Figura 22.h: UV x3 160s.

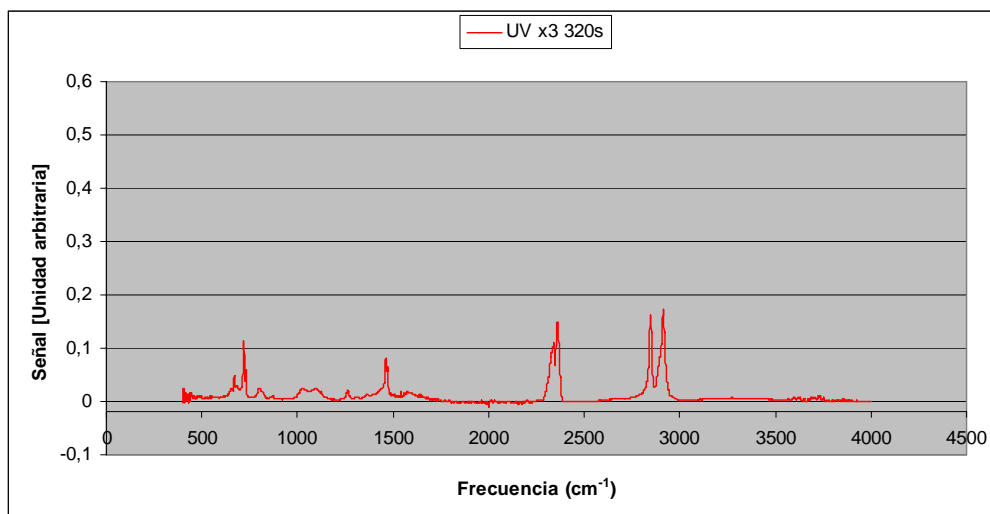
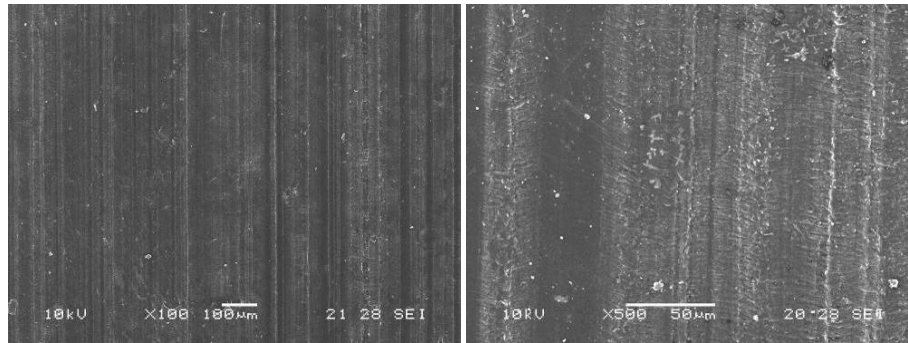


Figura 22.i: UV x3 320s.

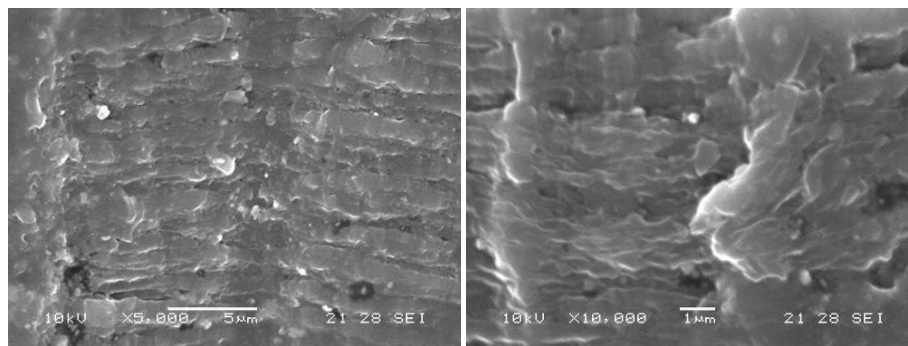
Anexo VI: Micrografías SEM.

En las **Figuras 23.a a p**, se muestran las micrografías SEM de las muestras de UHMW-PE sin tratamiento, con tratamiento con llama y con lijado.



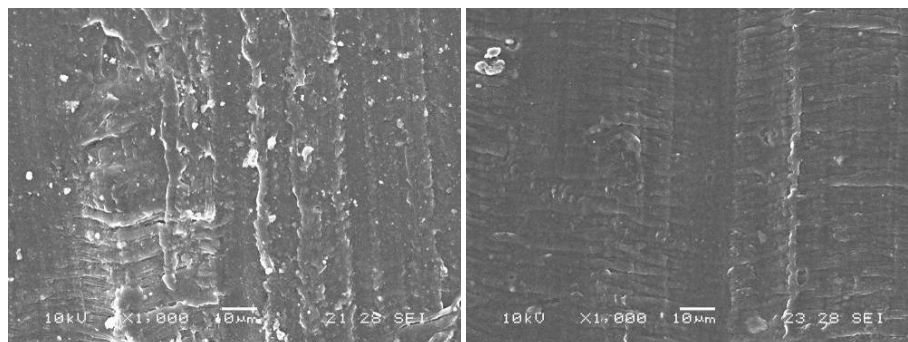
(a) ST.

(b) ST.



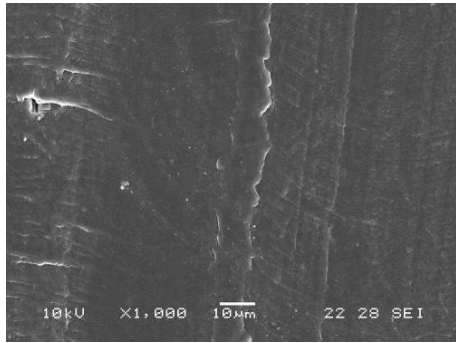
(c) ST.

(d) ST.

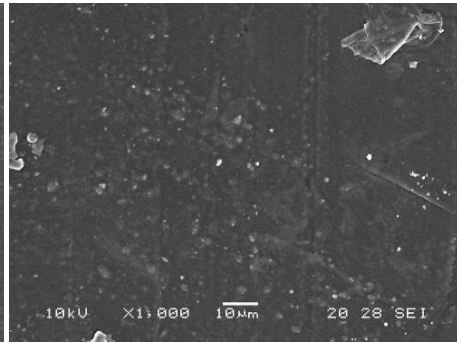


(e) L1.

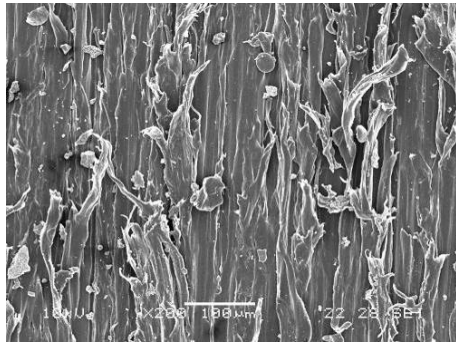
(f) L3.



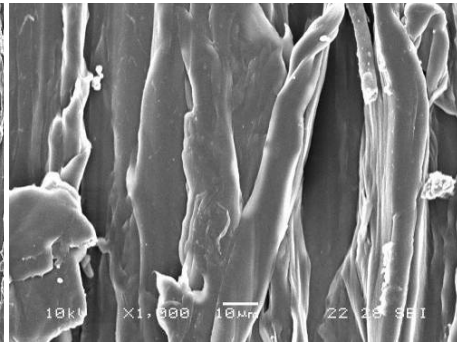
(g) L5.



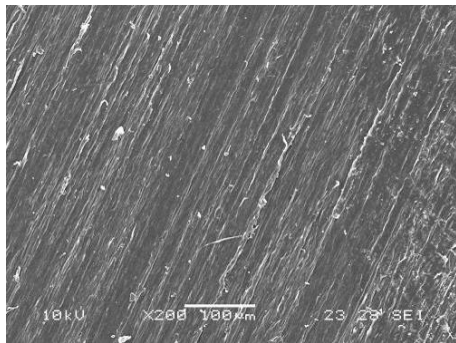
(h) L7.



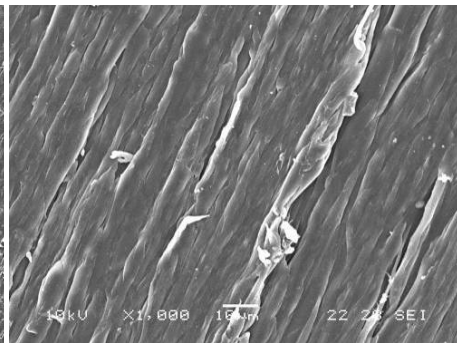
(i) L100.



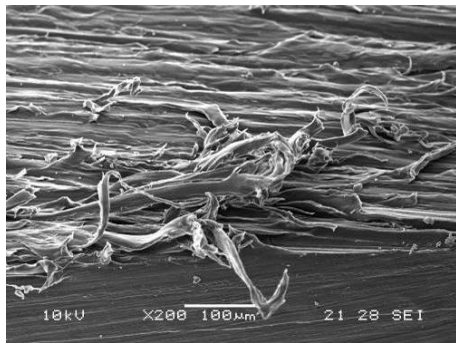
(j) L100.



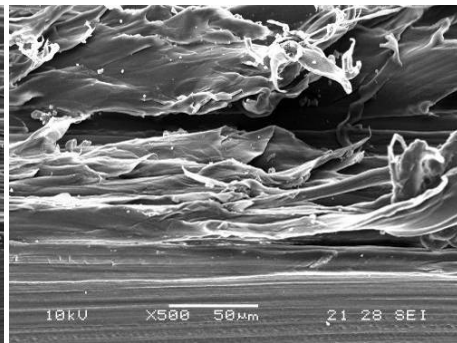
(k) L500



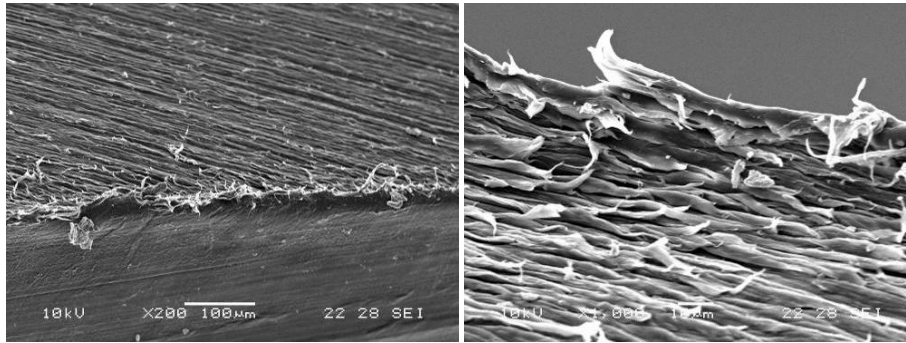
(l) L500.



(m) L100.



(n) L100.

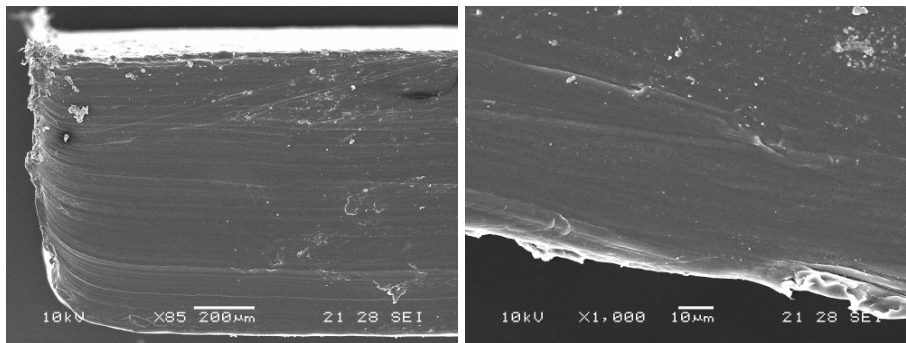


(o) L500.

(p) L500.

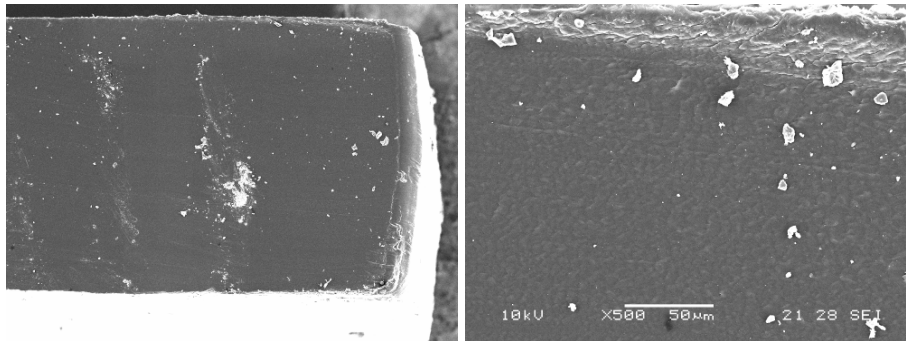
Figura 23: Micrografías SEM UHMW-PE. - Muestra sin tratamiento: a) 100x. b) 500x. c) 1000x. d) 10000x. – Muestras expuestas a llama, 1000x: e) 1 pasada. f) 3 pasadas. g) 5 pasadas. h) 7 pasadas. – Muestras lijadas: i) Lija 100, 200x. j) Lija 100, 1000x. k) Lija 500, 200x. l) Lija 500, 1000x. m) Lija 100, 200x, 45°. n) Lija 100, 500x, 45°. o) Lija 500, 200x, 45°. p) Lija 500, 1000x, 45°.

Las **Figuras 24.a a j** muestran las micrografías tomadas del borde de las muestras.



(a) ST.

(b) ST.



(c) L1.

(d) L1.

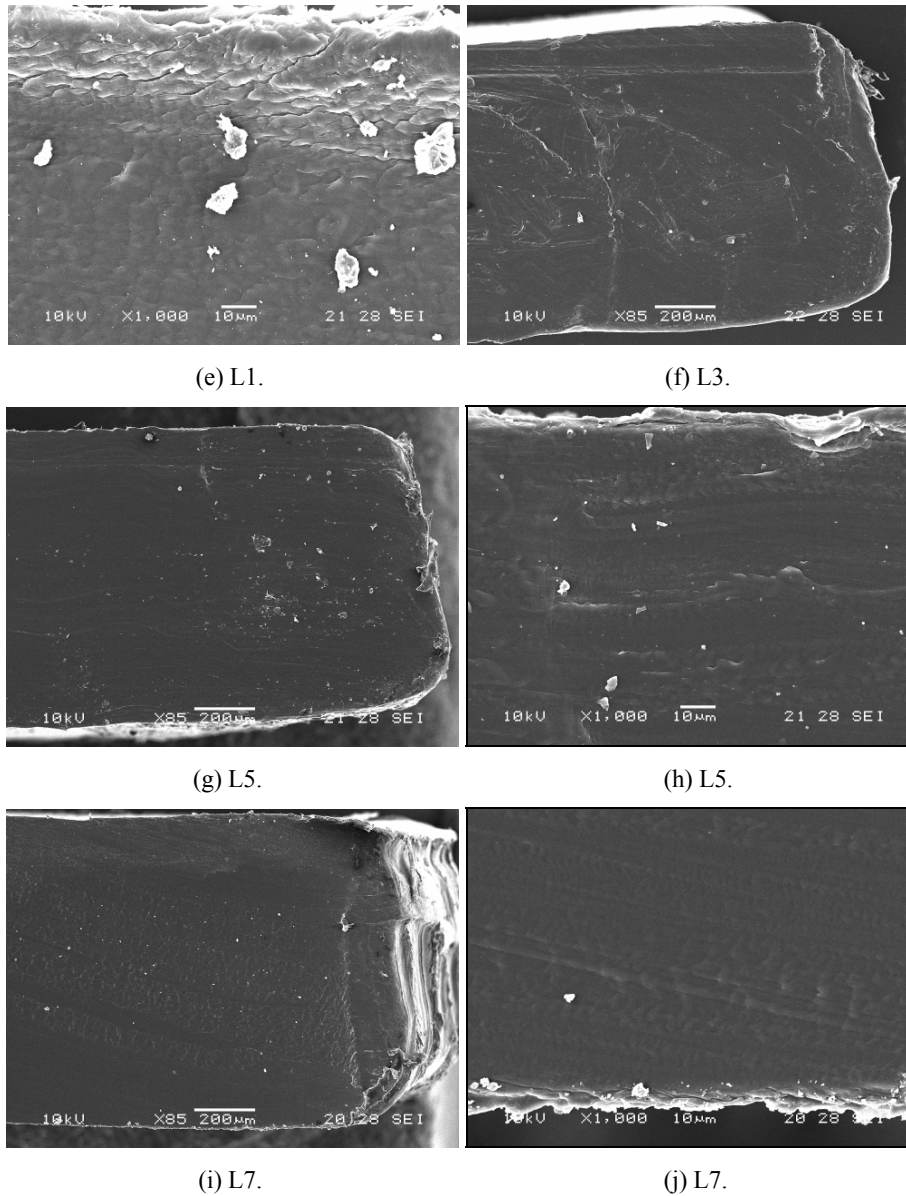


Figura 24: Micrografías SEM UHMW-PE Borde. - Muestra sin tratamiento: a) 85x. b) 1000x. - Muestras expuestas a llama, 1 pasada: c) 80x. d) 500x. e) 1000x. - 3 pasadas: f) 85x. - 5 pasadas: g) 85x. h) 1000x. - 7 pasadas: i) 85x. j) 1000x.

No se observa ninguna en las micrografías alguna indicación de la penetración del tratamiento con llama.

Anexo VII: Medición del coeficiente de fricción.

En la **Tabla 12** se muestran todos los resultados del ensayo para determinar el coeficiente de fricción, con su promedio, desviación estándar, valor máximo y mínimo y la relación entre la desviación estándar y el promedio.

Tabla 12: Resultados, Ensayos de Fricción.

UHMW-PE			HMW-PE		HMW-PE/C-Na+		HMW-PE/C-30B	
ID	$\mu //$	$\mu \perp$	ID	μ	ID	μ	ID	μ
UH1	0,098	0,195	H1	0,161	Fi1	0,150	Fo1	0,086
UH2	0,150	0,188	H2	0,164	Fi2	0,148	Fo2	0,097
UH3	0,156	0,169	H3	0,159	Fi3	0,167	Fo3	0,149
UH4	0,121	0,140	H4	0,171	Fi4	0,131	Fo4	0,134
UH5	0,134	0,159	H5	0,172	Fi5	0,132	Fo5	0,101
UH6	0,147	0,162	H6	0,121	Fi6	0,138	Fo6	0,133
			H7	0,154	Fi7	0,165	Fo7	0,137
					Fi8	0,139	Fo8	0,123
			Media	0,157				
Media	0,134	0,169	Desv	0,017	Media	0,146	Media	0,120
Desv	0,014	0,017	Desv/med	0,110	Desv	0,014	Desv	0,023
Desv/med	0,106	0,102	Max	0,172	Desv/med	0,094	Desv/med	0,189
Max	0,156	0,195	Min	0,121	Max	0,167	Max	0,149
Min	0,098	0,140			Min	0,131	Min	0,086
Med Gral	0,152							
Desv	0,027							
Desv/med	0,177							

Anexo VIII: Absorción de agua y cera.

La **Tabla 13** muestra los resultados del ensayo de absorción de cera.

Tabla 13: Masa de cera absorbida por área en mg/cm².

MUESTRAS 1	UHWM PE	HMW-PE	HMW/C-30B	HMW/C-Na ⁺
1er encerado	1,0064	2,7120	1,2333	6,7581
2do encerado	1,5096	4,0115	1,6623	10,9031
3er encerado	2,2064	4,6188	1,8767	12,4950
MUESTRAS 2	UHWM PE	HMW-PE	HMW/C-30B	HMW/C-Na ⁺
1er encerado	0,9822	2,6264	1,1912	6,7865
2do encerado	1,5212	3,9114	1,6212	10,7008
3er encerado	2,2528	4,5327	1,8721	12,2335

La **Figura 25.a** y **b** muestran fotografías de las muestras de HMW-PE/C-Na⁺ y HMW-PE/C-30B.

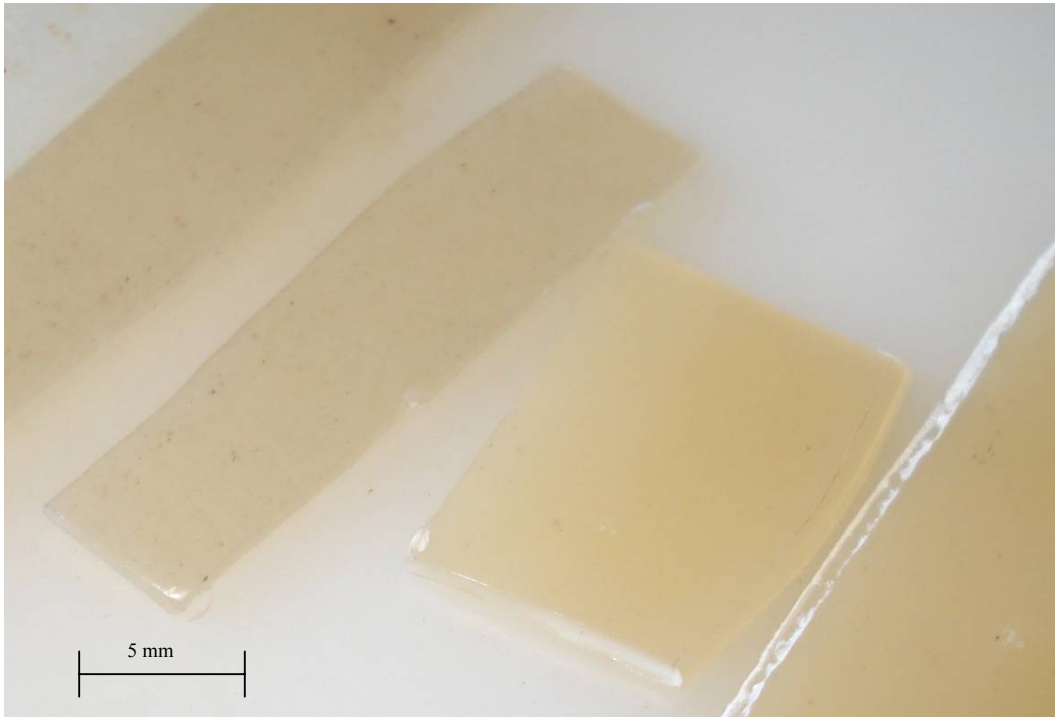


Figura 25.a: Fotografía muestras: HMW-PE/C-Na⁺ (izquierda), HMW-PE/C-30B (derecha).

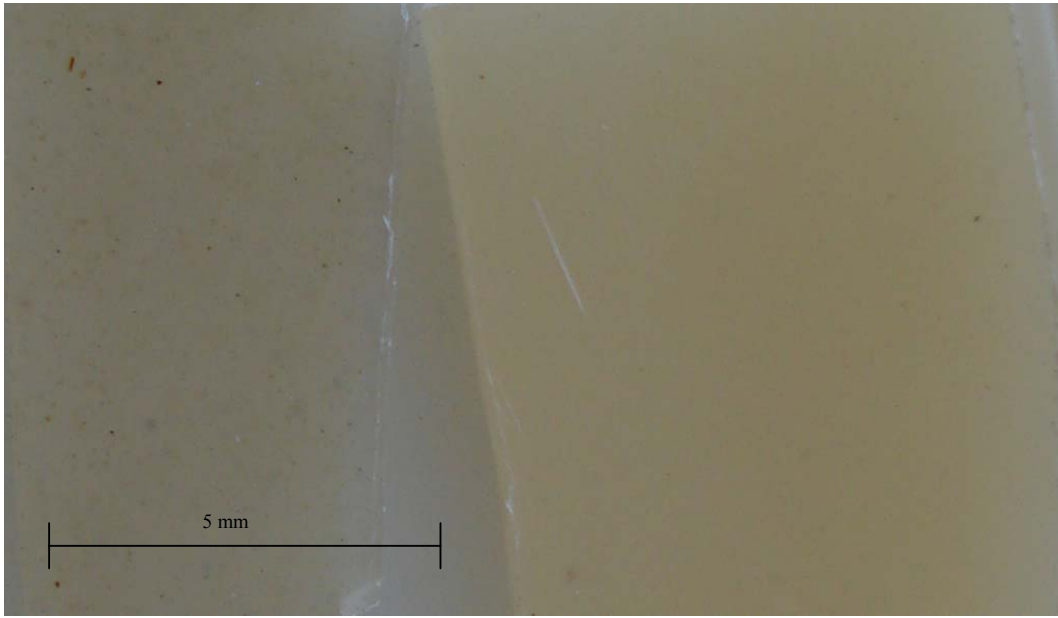


Figura 25.b: Fotografía muestras: HMW-PE/C-Na⁺ (izquierda), HMW-PE/C-30B (derecha).

Se puede ver que las muestras de la derecha presentan una mayor homogeneidad que las de la izquierda, en las que se logran visualizar algunas partículas que no se han dispersado correctamente.

Anexo IX: Ensayo de impacto.

A continuación se muestran las gráficas de carga-desplazamiento de los ensayos de impacto. Estas dos primeras, **Figuras 26.a** y **b**, muestran la carga-desplazamiento de las probetas de UHMW-PE. Ninguna de las dos rompió. El espesor de las mismas tendría que haber sido menor, o bien tirar el dardo desde mayor altura para que adquiriera más energía.

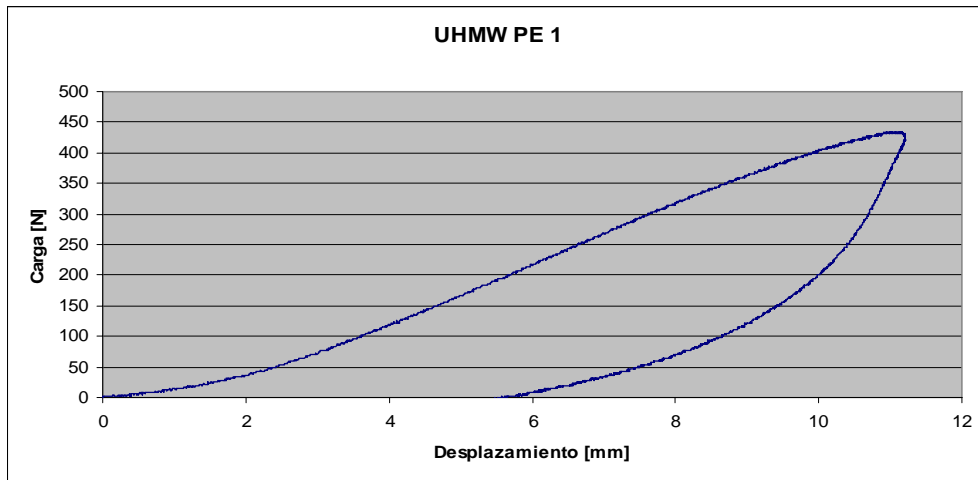


Figura 26.a: Curva carga-desplazamiento, probeta UHMW-PE 1.

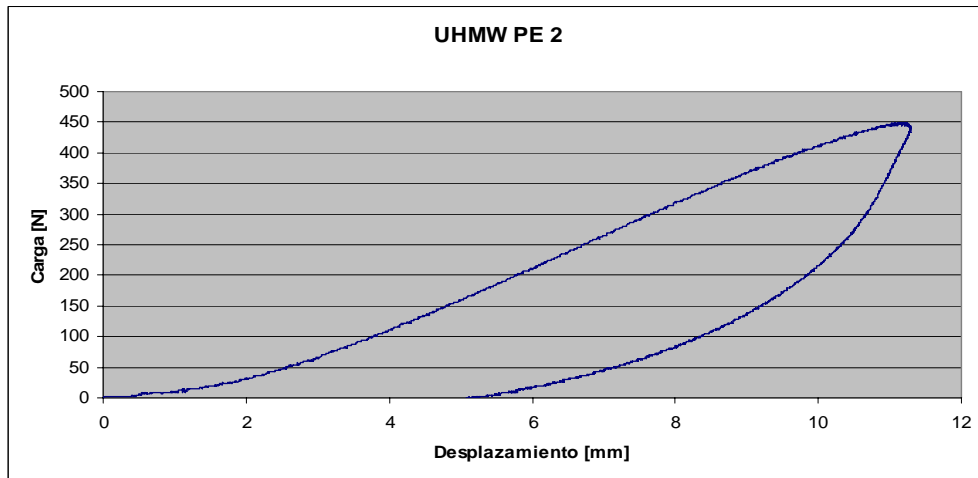


Figura 26.b: Curva carga-desplazamiento, probeta UHMW-PE 2.

Las siguiente tres, **Figuras 26.c** a **e**, muestran las gráficas carga desplazamiento para las probetas de HMW-PE. Se ve en las curvas que tienen bastante propagación.

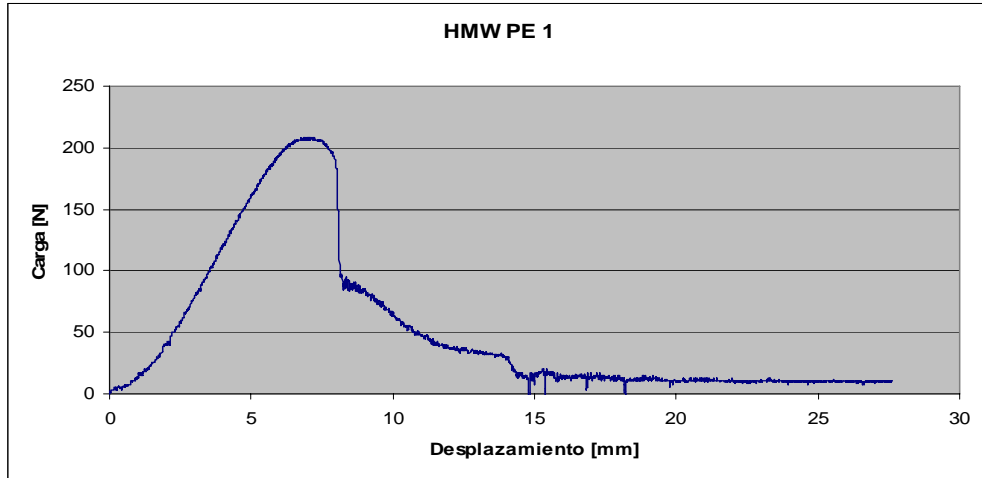


Figura 26.c: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE 1.

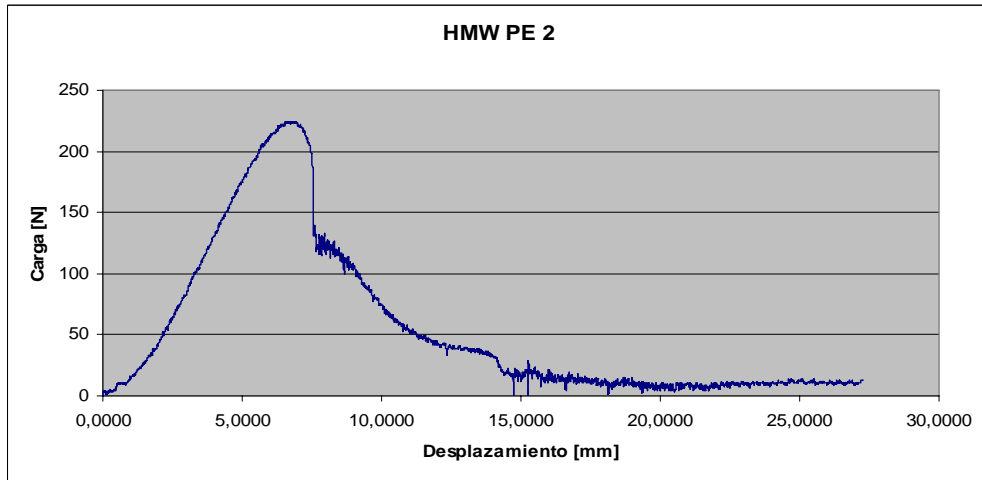


Figura 26.d: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE 2.

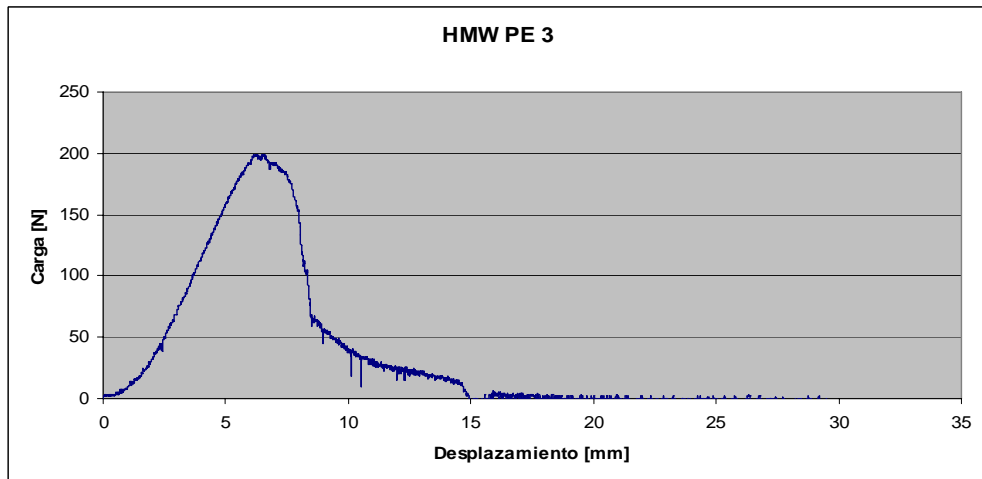


Figura 26.e: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE 3.

Las siguientes, **Figuras 26.f a h**, muestran las gráficas carga desplazamiento de las probetas de HMW-PE/C-30B. Se observa que una vez alcanzada la ruptura la carga cae rápido, absorbe poca energía en la propagación.

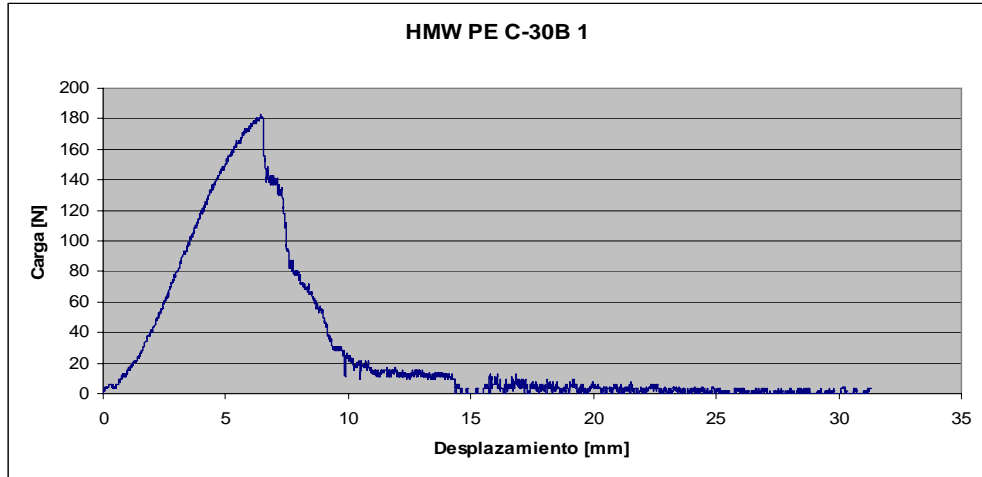


Figura 26.f: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE/C-30B 1.

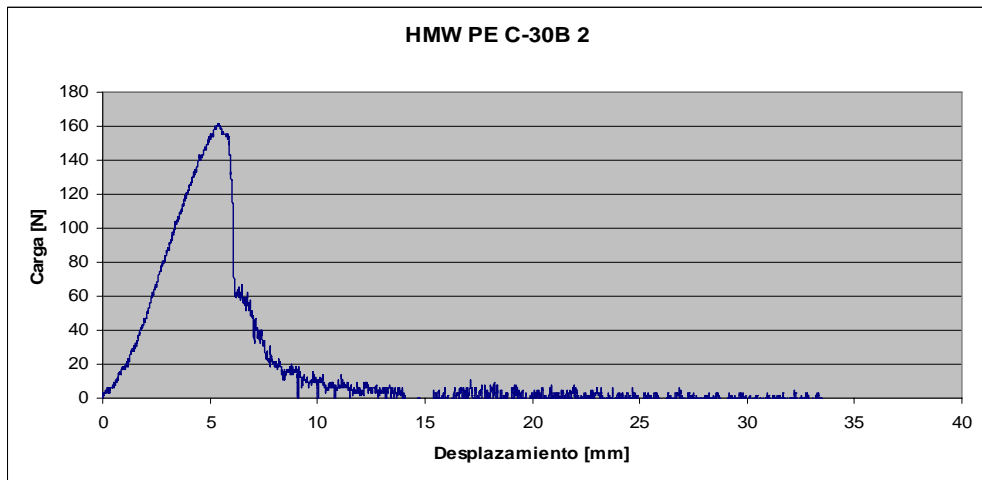


Figura 26.g: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE/C-30B 2.

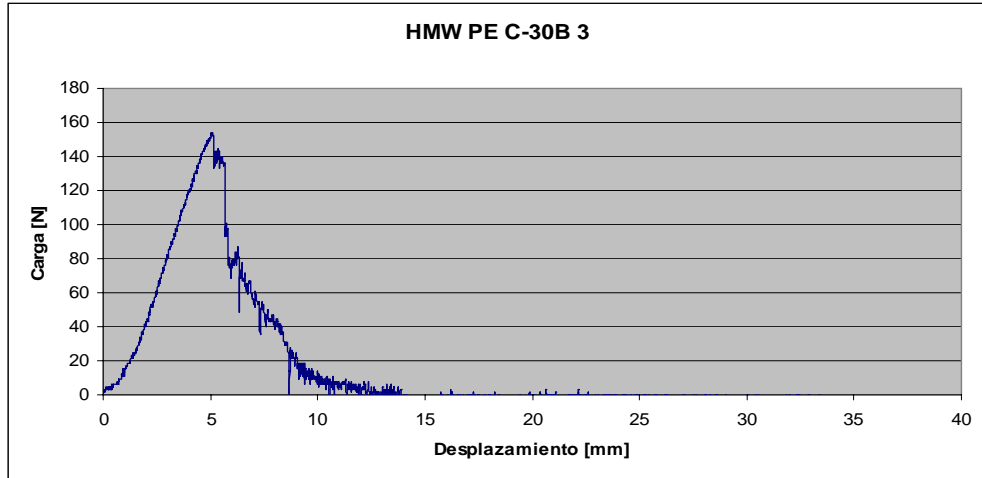


Figura 26.h: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE/C-30B 3.

Estas últimas tres, **Figuras 26.i a k**, muestran las gráficas carga desplazamiento de las probetas de HMW-PE/C-Na⁺. El agregado parece haber aumentado la energía absorbida durante la propagación.

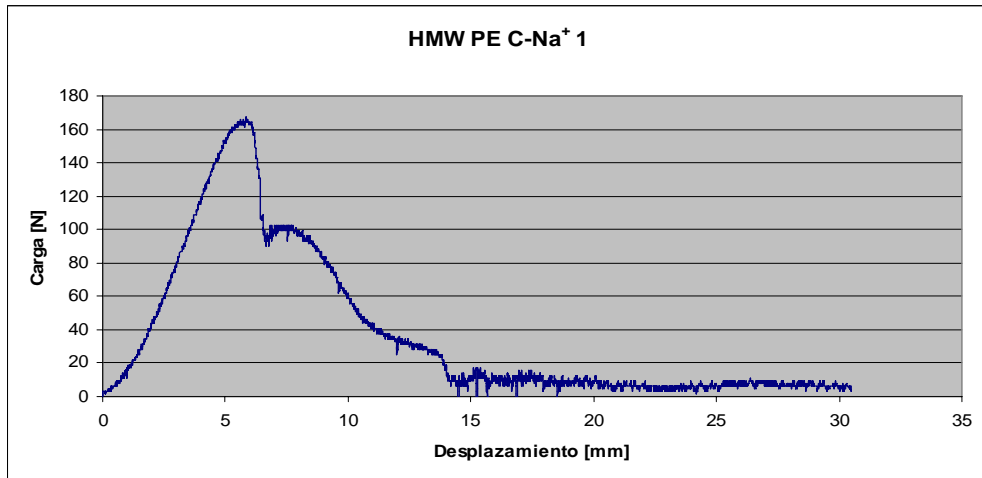


Figura 26.i: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE/C-Na⁺ 1.

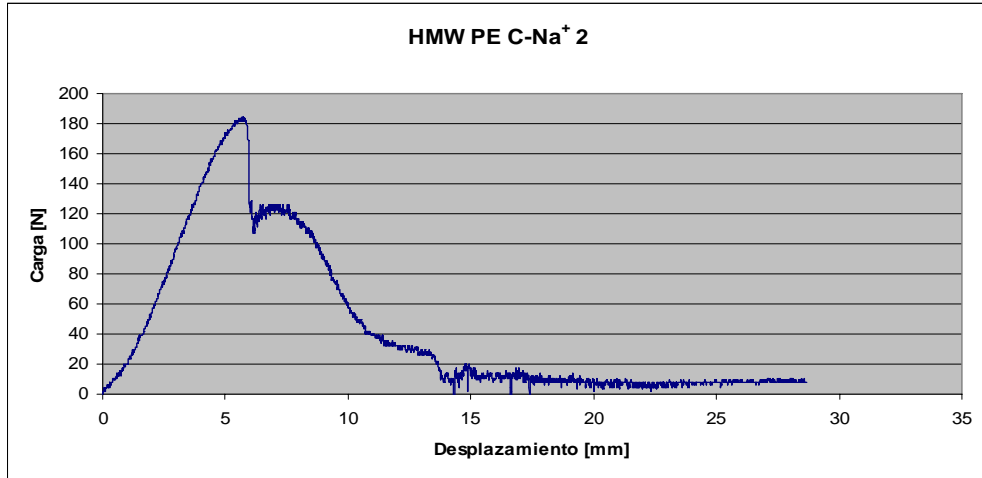


Figura 26.j: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE/C-Na⁺ 2.

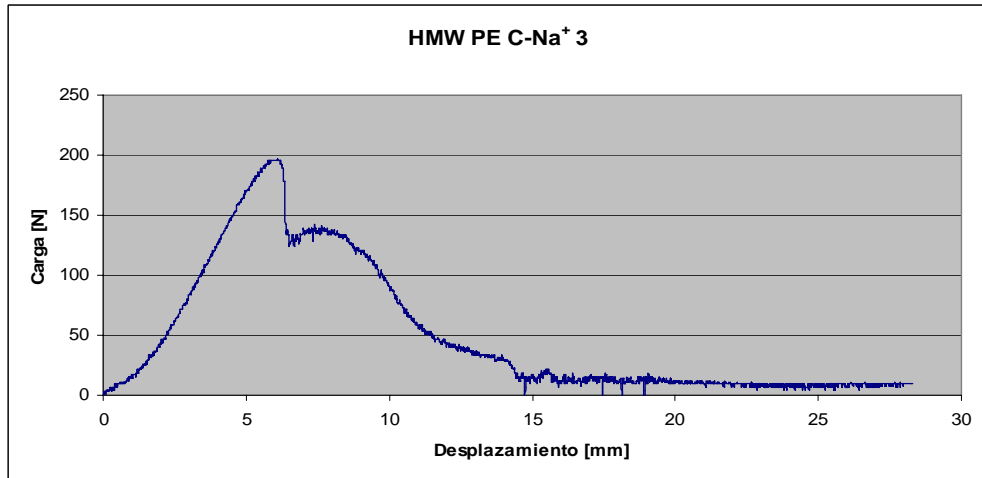


Figura 26.k: Curva carga-desplazamiento, probeta HMW-PE/C-Na⁺ 3.