



INFORME PROYECTOS— 2024

CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE EMBALAJE SOSTENIBLES CON
EL OBJETIVO DE REDUCCION DE SU HUELLA DE CARBONO

“GREENPACK”

Informe: “Final de Resultados”

Número de proyecto: 22400009

Expediente: IMAMCA/2024/2

Duración: 01/01/2024 – 31/12/2024

Coordinado en AIDIMME por: Francisco Sánchez López



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE+i

INSTITUTO VALENCIANO
DE COMPETITIVIDAD
E INNOVACIÓN

AIDIMME
INSTITUTO TECNOLÓGICO

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN. OBJETIVOS DEL PROYECTO	1
1.1	ALCANCE Y PÚBLICO OBJETIVO	1
2	DESARROLLO DEL PROYECTO. ACTIVIDADES REALIZADAS	2
2.1	CARACTERIZACIÓN DE DIFERENTES MATERIALES CELULÓSICOS DE PROTECCIÓN	3
2.1.1	CONSTRUCCIÓN DE UNA CURVA DE AMORTIGUAMIENTO	3
2.1.2	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO, ASTM: 1596 - 14 (2021)	4
2.1.3	RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS MATERIALES SOSTENIBLES	6
2.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	14
2.2.1	FIBRA DE KENAF P30 DE 20 MM DE ESPESOR.	15
2.2.1	FIBRA DE KENAF P30 DE 40 MM DE ESPESOR.	16
2.2.1	FIBRA DE KENAF P60 DE 20 MM DE ESPESOR.	17
2.2.2	FIBRA DE KENAF P60 DE 40 MM DE ESPESOR.	18
2.3	CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	19
2.4	DESARROLLO Y PRUEBAS DE UN SISTEMA DE EMBALAJE DE AMORTIGUACIÓN.	20
2.4.1	ENSAYOS DE SIMULACIÓN DE TRANSPORTE	21
2.5	REQUISITOS PARA EMBALAJES DE BATERÍAS DE IÓN-LITIO EN ESTADO SÓLIDO Y PILAS DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO.	23
2.6	LEGISLACIÓN Y NORMATIVA APLICABLE	24
2.7	NOVEDADES REGLAMENTARIAS QUE APLICAN DESDE EL 1 DE ENERO DE 2025 A LAS BATERÍAS ELÉCTRICAS:	26
2.8	CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS SEGÚN EL ADR. (38.3.2.3)	26
2.9	RIESGOS DE LA BATERÍA	29
2.10	RIEGOS DEL EMBALAJE	30
2.11	REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR EL EMBALAJE	31
2.12	ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA UN BUEN DISEÑO DEL EMBALAJE	34
3	ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA	38

1 Introducción. Objetivos del proyecto

Con este proyecto se ha continuado la línea de investigación de los últimos años, centrándonos en la integración de materiales celulósicos en sistemas de embalaje, seleccionados en base a su capacidad de amortiguación.

Por otro lado, se ha continuado la investigación los parámetros de validación para el transporte seguro de baterías eléctricas, centrándonos en las de ion-litio en estado sólido y en las pilas de combustible de hidrógeno.

Los objetivos de la actividad para el 2024 han sido:

- La caracterización de diferentes materiales celulósicos de protección para determinar su capacidad de amortiguación frente a impactos aislados o choques repetitivos en condiciones específicas de transporte.
- Investigar la influencia de determinados parámetros en el comportamiento de los embalajes, con el objeto de mejorar sus factores de seguridad y resistencia frente a agentes externos, para posibilitar el transporte de productos especiales o peligrosos, como baterías eléctricas.
- El establecimiento de una clasificación de los requisitos para poder validar el transporte seguro de las baterías eléctricas para uso en vehículos.

1.1 Alcance y público objetivo

El sector de fabricantes de embalajes y materiales para embalaje es el principal público objetivo, de este proyecto, pero sus resultados son también de interés para varios sectores industriales como usuarios de los materiales objeto del proyecto en sus sistemas de embalaje de protección.

Público Objetivo
Fabricantes de materiales de embalaje
Fabricantes de materiales alternativos
Empresas usuarias de embalajes técnicos
Fabricantes de embalajes para transporte de mercancías peligrosas

2 Desarrollo del proyecto. Actividades realizadas

En primer lugar, se ha continuado con la caracterización técnica de materiales sostenibles y con capacidad de amortiguación, para poder ser utilizados como elementos de protección durante uno o varios ciclos de distribución.

Para esta caracterización se han seleccionado materiales basados en fibra de Kenaf, que, continuando la línea de investigación de los últimos años ya han sido ensayados dando unos resultados prometedores.

En este caso se ha optado por continuar evaluando diferentes espesores de este material para tratar de optimizar al máximo un posible sistema de embalaje. (ver apartado 2.1).

Material celulósico caracterizado: Fibra de KENAF		Es una planta fibrosa parecida al cáñamo y al yute. La fibra de kenaf es un material natural derivado de la planta de kenaf (<i>Hibiscus cannabinus</i>) y se utiliza en diversas aplicaciones, incluyendo la amortiguación. Tiene varias características técnicas que lo hacen adecuado para la amortiguación en ciertas aplicaciones.
Fibra de KENAF P30	P30	Panel aislante ecológico de fibra de Kenaf, de densidad 30kg/m ³ . y espesores de 20 mm y 40 mm.
Fibra de KENAF P60	P60	Panel aislante ecológico de fibra de Kenaf, de densidad 60kg/m ³ . y espesores de 20 mm y 40 mm.



Fotografía 1. Material caracterizado.



Fotografía 2. Fibra de Kenaf espesor 20 mm.



Fotografía 3. Fibra de Kenaf espesor 40 mm.

Por otro lado, hemos continuado investigando los parámetros de validación para el transporte seguro de baterías eléctricas, centrándonos en las de ion-litio en estado sólido y en las pilas de combustible de hidrógeno.

Se ha investigado la influencia de diferentes agentes externos y parámetros en el comportamiento de los embalajes con el objeto de mejorar sus factores de seguridad y resistencia, posibilitando un transporte seguro de productos especiales o peligrosos como son las baterías eléctricas. (ver apartado 2.4).

Y finalmente se ha establecido una clasificación de los requisitos para poder validar el transporte seguro de las baterías eléctricas para uso en vehículos (ver apartado 2.10).

2.1 Caracterización de diferentes materiales celulósicos de protección

Para realizar la caracterización técnica de los materiales, y continuando la línea de investigación de los últimos años, se ha aplicado una metodología de análisis según la norma de métodos de ensayos, **ASTM: 1596 – 14 (2021)**, *Standar Test Method for Dinamic Shock Cushioning Characteristics of Packaging Material*.

Aplicando este método se obtienen una serie de curvas de amortiguamiento, que son una representación gráfica de los choques dinámicos de amortiguamiento o de transmisión de golpes (en G's) sobre una variedad de condiciones de carga estática (kg/m²) para un espesor específico del material de amortiguamiento, con una altura de caída libre específica.

Las curvas de amortiguamiento son generadas por una caída plana de un plato de caída, sobre una muestra de material de amortiguamiento. En la caída, se graba el valor máximo de deceleración, en G's, con un acelerómetro pegado al plato de impacto.

Se suelen presentar también las curvas con los valores de G para el 1^{er} impacto, y para la serie del 2^o al 5^o impacto. Dichas curvas muestran el pico G de la carga estática, con un valor exacto de ±10%. La Carga Estática, se define por:

$$\text{Carga Estática} = \frac{\text{Peso del Producto (kg)}}{\text{Área del Amortiguador (m}^2\text{)}}$$

La carga estática está definida por el peso del producto, partido por el área del amortiguador, y se mide en las unidades, kg/m².

2.1.1 Construcción de una curva de amortiguamiento

Las curvas de amortiguamiento son la representación gráfica de los valores de G obtenidos en los ensayos de caída libre.

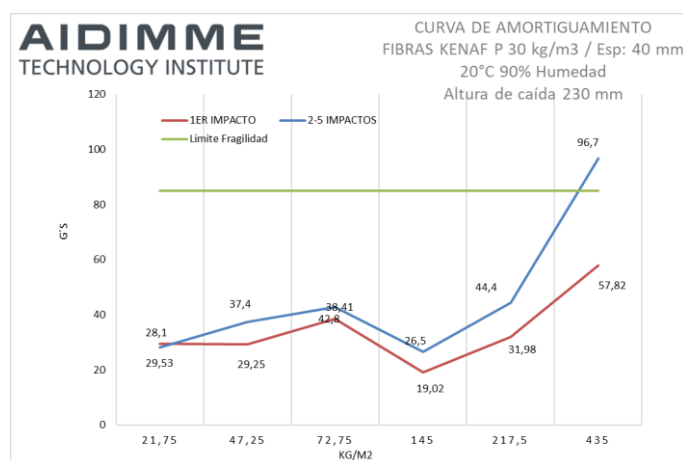


Tabla 1. Ejemplo de curva de amortiguamiento obtenida en el proyecto.

La interpretación de las curvas de amortiguamiento es la siguiente:

1. Observando cualquier curva podremos ver en el eje vertical cómo hay valores de G. algunos de estos valores quedan por encima de la curva y otros valores que se encuentran por debajo. Todos los valores de G que estén por encima de la curva corresponderán a la zona donde el amortiguador ensayado es capaz de proteger los productos, y la zona de debajo de la curva, será la zona donde el amortiguador no tiene suficiente capacidad de absorción de impactos y por lo tanto su capacidad de protección se limita.
2. En el eje horizontal tenemos la categoría de *carga estática* (ver apartado 2.1), que equivalen a diferentes pesos aplicados los cuales se pueden extrapolar a los futuros productos a proteger.

Para realizar la construcción de las curvas de amortiguamiento de los materiales seleccionados, se han llevado a cabo una serie de ensayos de caída libre con la máquina de ensayos de amortiguamiento, LANSMONT - PDT 23, máquina de caída libre, siguiendo las especificaciones de la norma ASTM 1596 - 14.

Los ensayos se han realizado sobre diferentes muestras de Kenaf P30 y P60, de espesores 20 y 40 mm, y en unas condiciones iniciales de 23°C de temperatura y 50% de humedad relativa y 20°C de temperatura y 90% de humedad relativa. Los impactos se han realizado desde una altura de caída de 230 mm.

La altura de caída es la distancia vertical que comprende desde la parte superior del amortiguador hasta la base del plato de caída, justo antes de la caída. El valor de G es real para un bloque dejado caer sobre un amortiguador. En situaciones reales, el producto y el amortiguador se dejan caer juntos. Ya que el amortiguador es por lo general más ligero que el producto, no tiene influencia en el desplazamiento del bloque.

2.1.2 Descripción del método de ensayo, ASTM: 1596 - 14 (2021)

Para construir una curva de amortiguamiento, se aplican las especificaciones descritas en la norma de métodos de ensayos, **ASTM: 1596 – 14 (2021)**, *Standar Test Method for Dinamic Shock Cushioning Characteristics of Packaging Material*.

Las **características del ensayo** son las siguientes:

ENSAYO	Determinación de las características dinámicas de amortiguamiento de materiales de embalaje, según la norma ASTM 1596.
MUESTRAS DE ENSAYO	<u>Material</u> : Fibra de KENAF <u>Densidades</u> : P30 y P60. <u>Espesores</u> : 20 mm y 40 mm.
EQUIPOS	Cámara climática, Heraeus T10653. Cámara climática, ACS T11491

	Máquina de amortiguamiento, Lansmont PDT-23. Acelerómetro PCB, Adquisidor de datos, SafeLoad, Inndata
ACONDICIONAMIENTOS	23°C y 50% HR (24 h previas). 20°C y 90% HR (24 h previas).
ALTURA DE CAÍDA	230 mm. Según la norma ASTM 4169.
SERIES DE CAÍDAS	1er impacto. Media del 2º al 5º impacto.

Tabla 2. Método de ensayo



Fotografía 4. Máquina de ensayos de amortiguamiento, LANSMONT - PDT 23.



Fotografía 5. Detalle del plato y acelerómetro.



Fotografía 6. Máquina de ensayos y muestras caracterizadas.



Fotografía 7. Detalle de las ustras caracterizadas.

2.1.3 Resultados obtenidos para los materiales sostenibles

2.1.3.1 Fibra de Kenaf P30 (23°C y 50% HR)

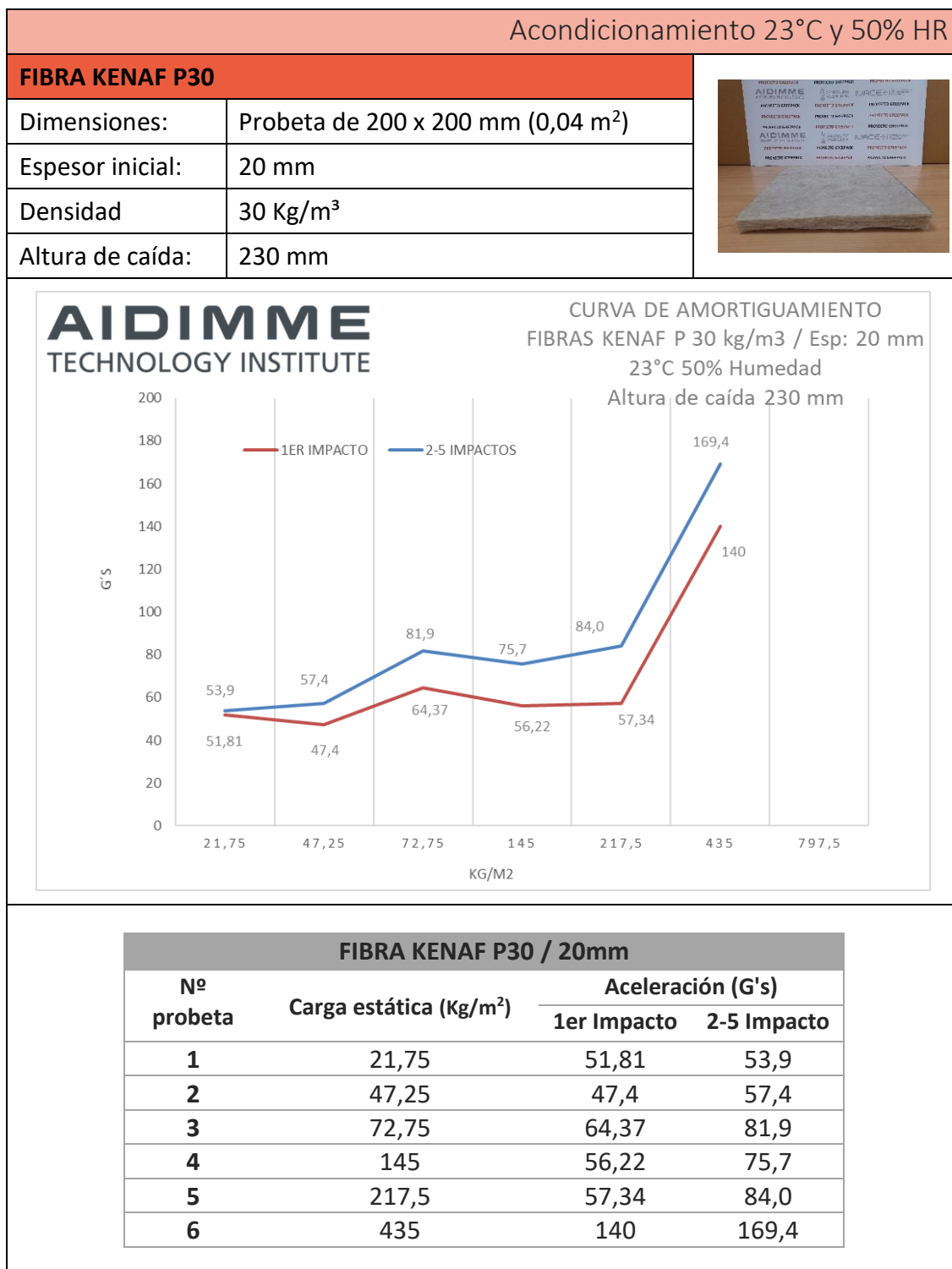


Tabla 3. Resultados Fibra kenaf P 30 kg esp. 20 mm (23°C / 50% HR)

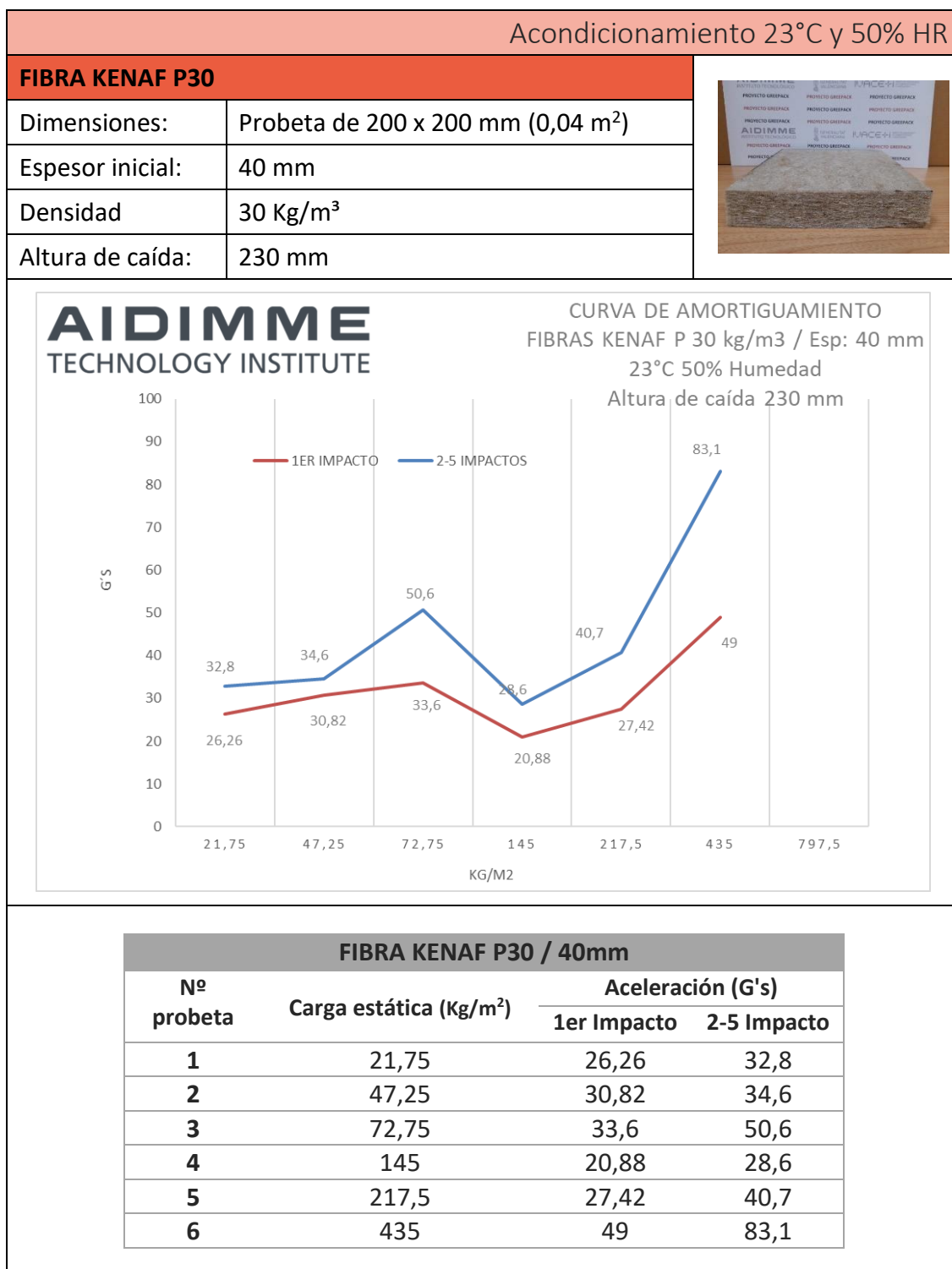


Tabla 4. Resultados Fibra kenaf P 30 kg esp. 40 mm (23°C / 50% HR)

2.1.3.2 Fibra de Kenaf P60 (23°C y 50% HR)

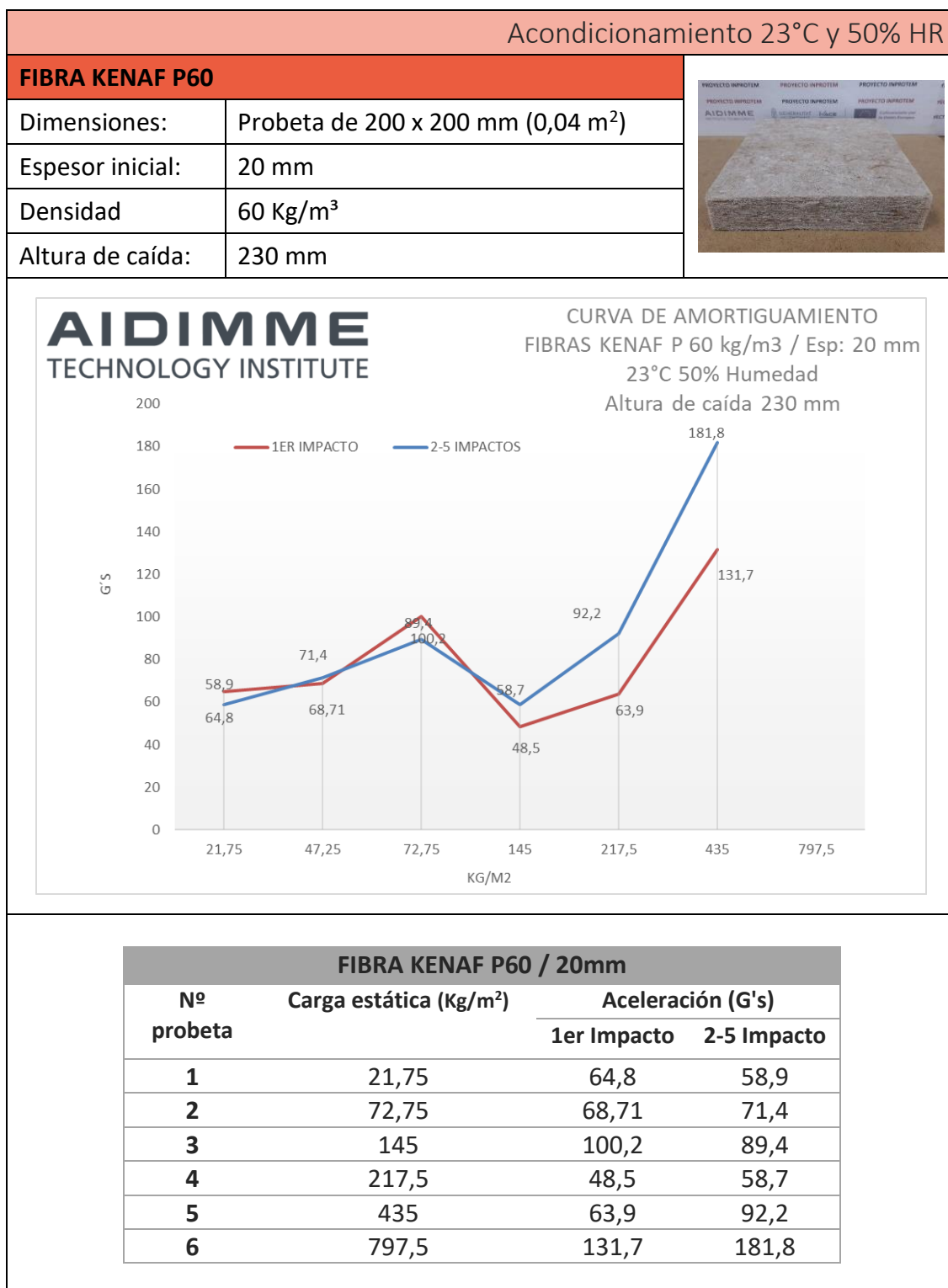


Tabla 5. Resultados Fibra kenaf P 60 kg esp. 20 mm (23°C / 50% HR)

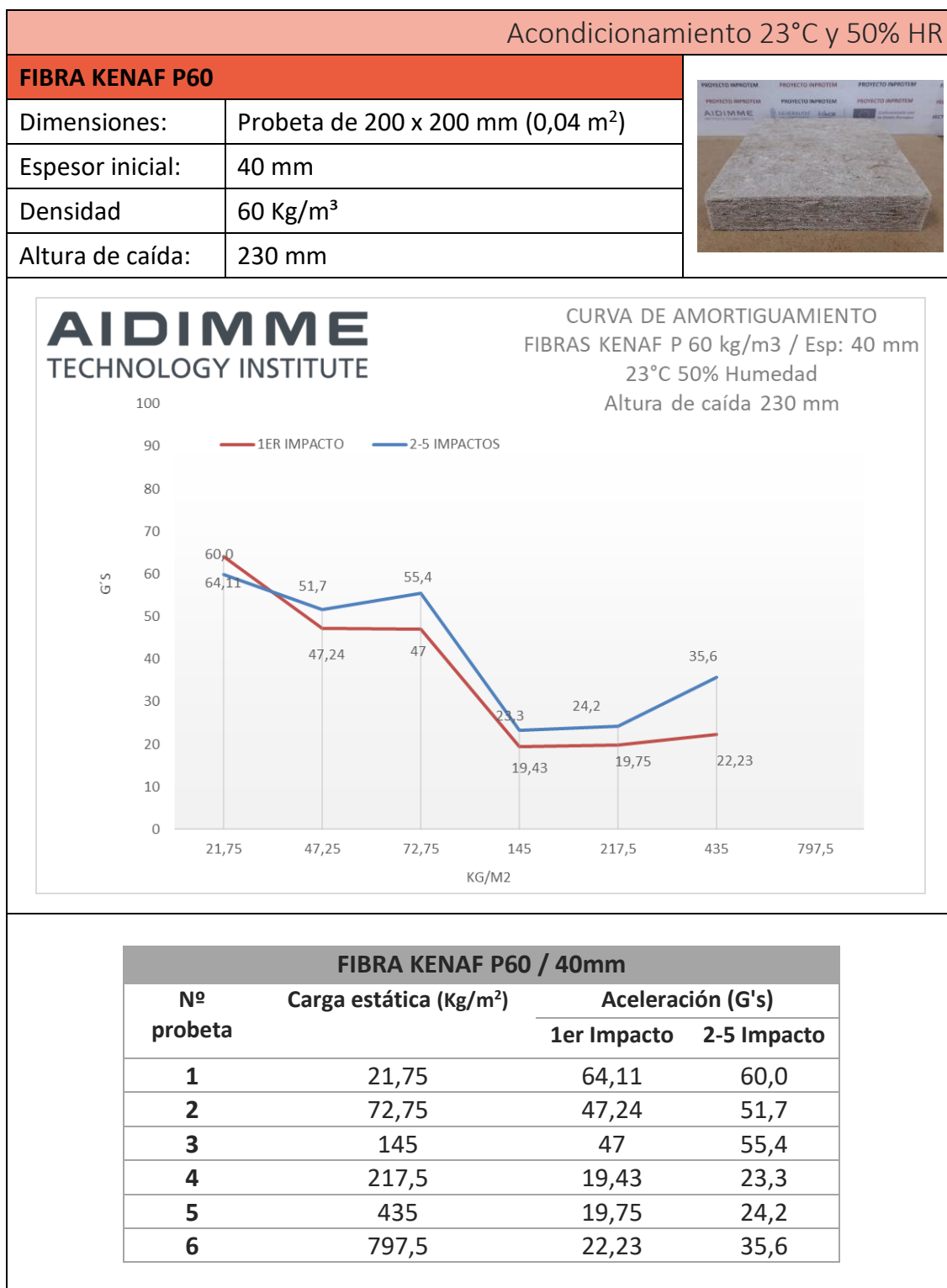


Tabla 6. Resultados Fibra kenaf P 60 kg esp. 40 mm (23°C / 50% HR)

2.1.3.1 Fibra de Kenaf P30 (20°C y 90% HR)

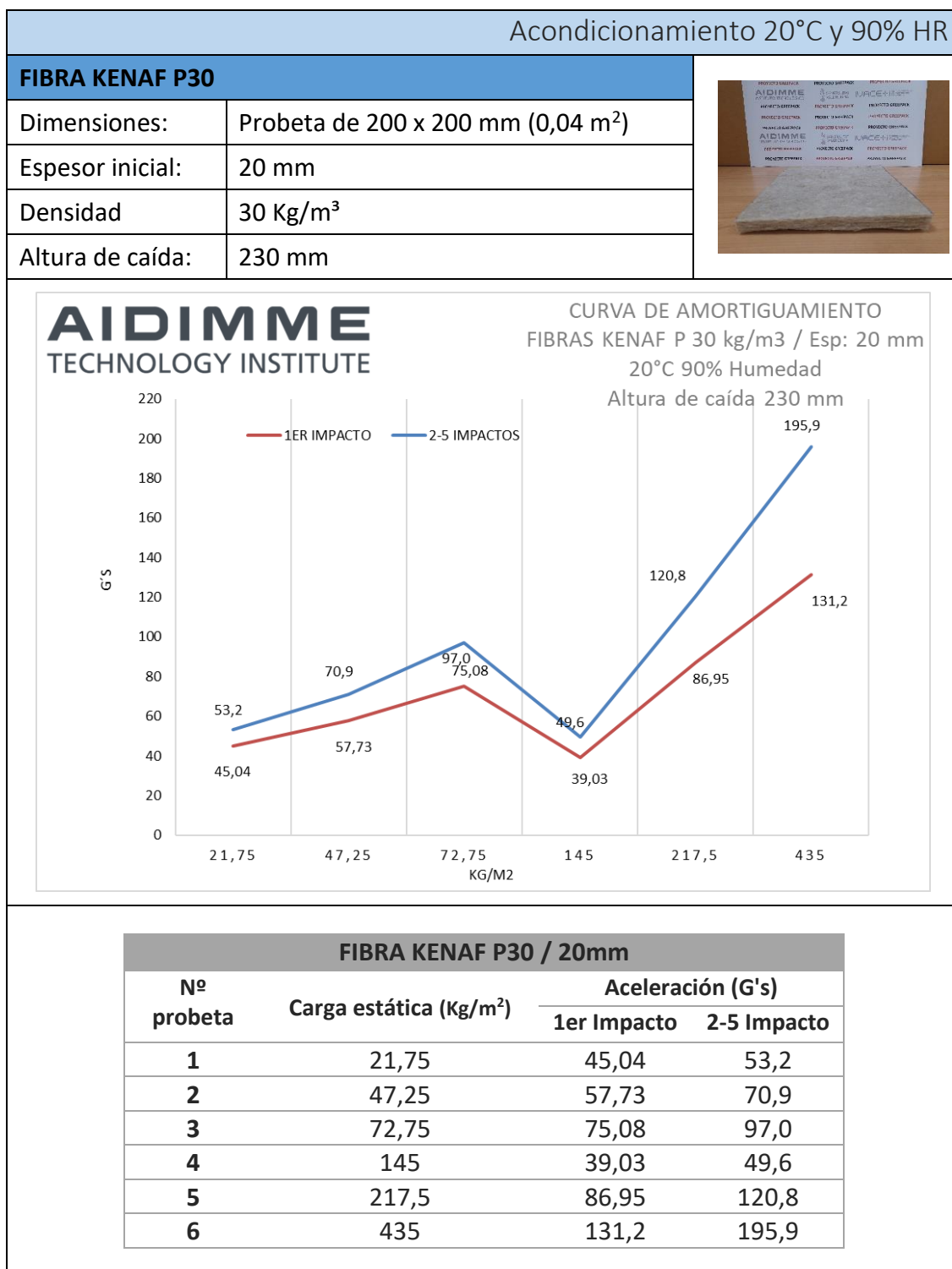


Tabla 7. Resultados Fibra kenaf P 30 kg esp. 20 mm (20°C / 90% HR)

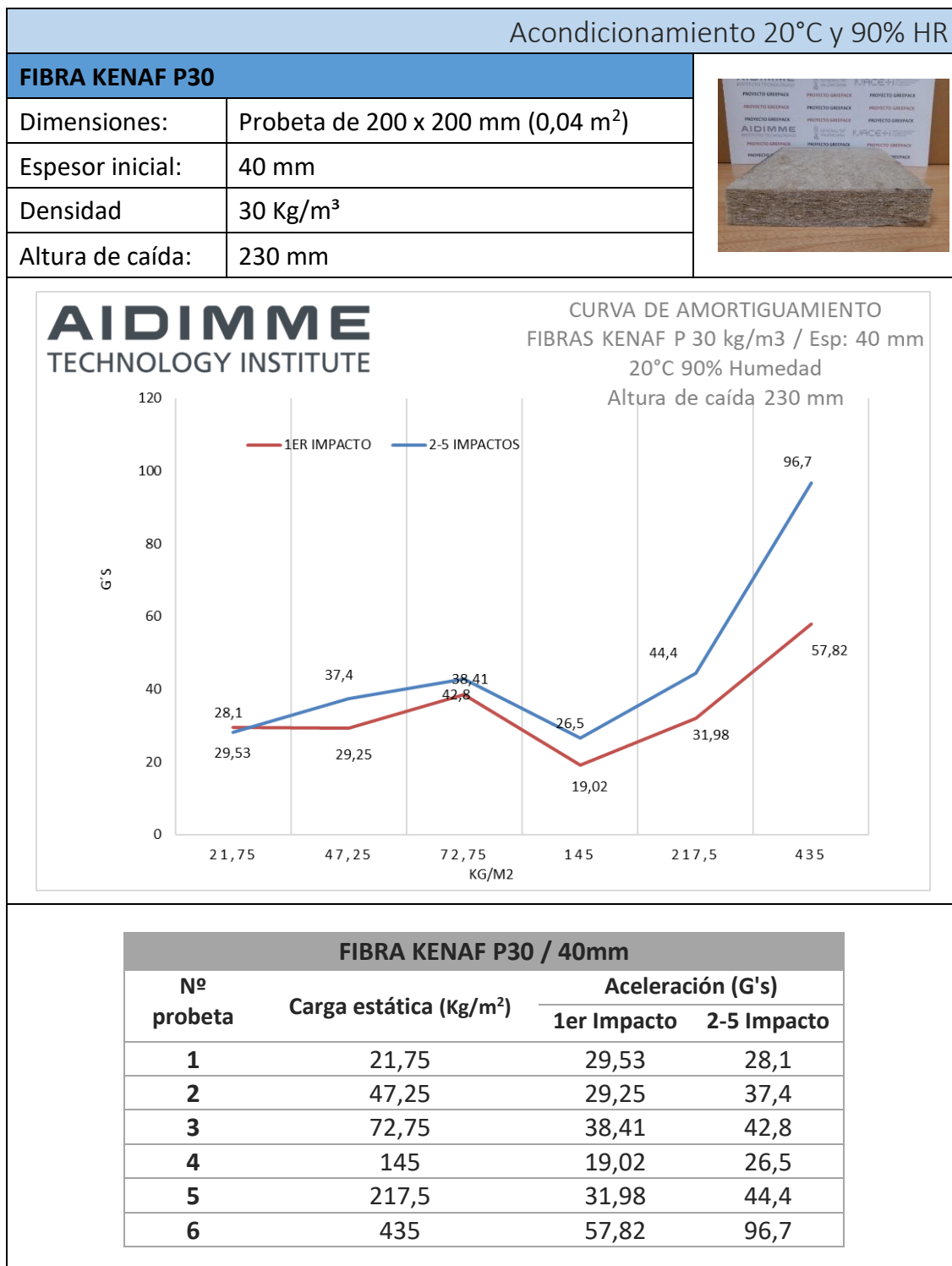


Tabla 8. Resultados Fibra kenaf P 30 kg esp. 40 mm (20°C / 90% HR)

2.1.3.2 Fibra de Kenaf P60 (20°C y 90% HR)

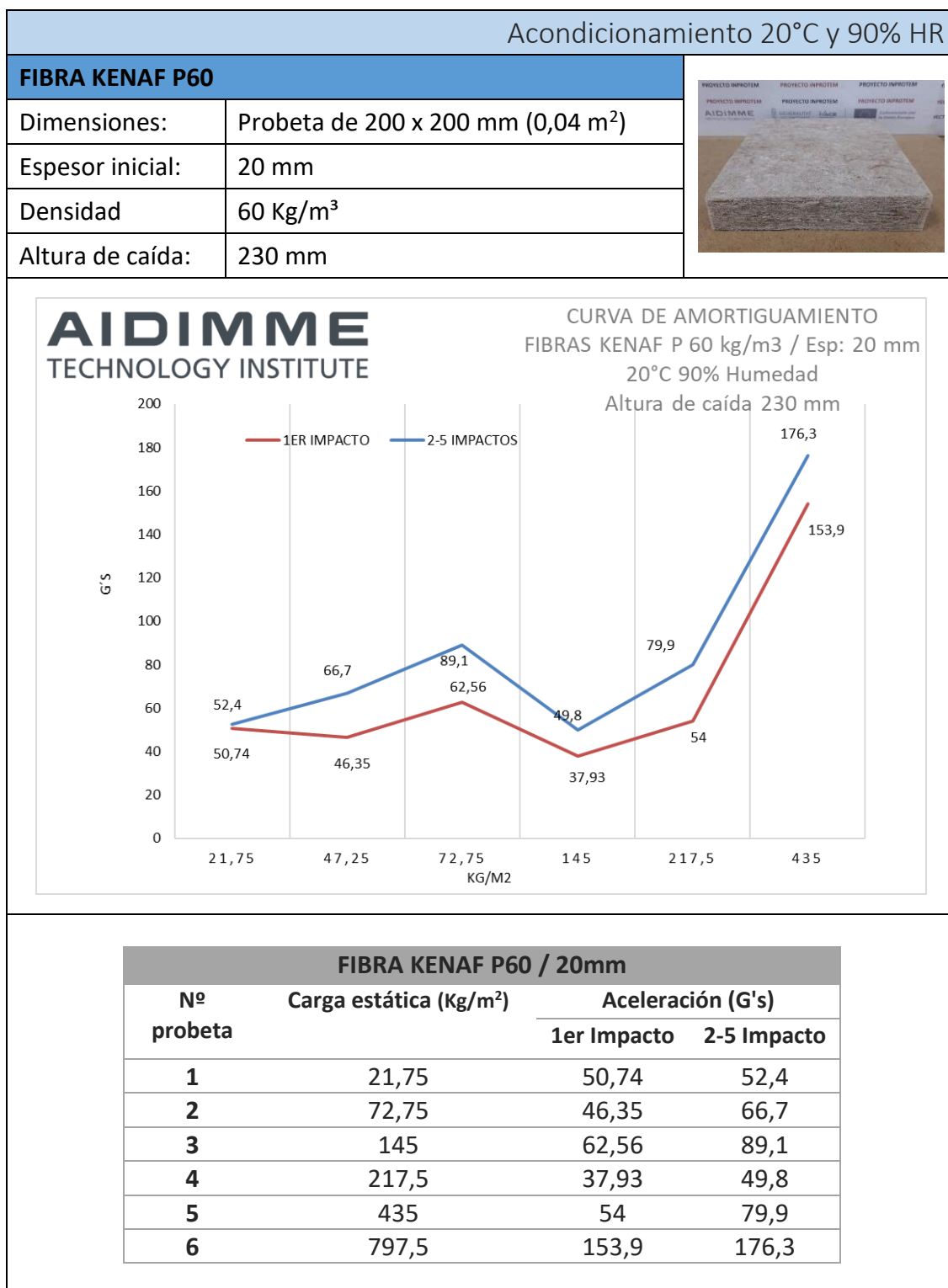


Tabla 9. Resultados Fibra kenaf P 60 kg esp. 20 mm (20°C / 90% HR)

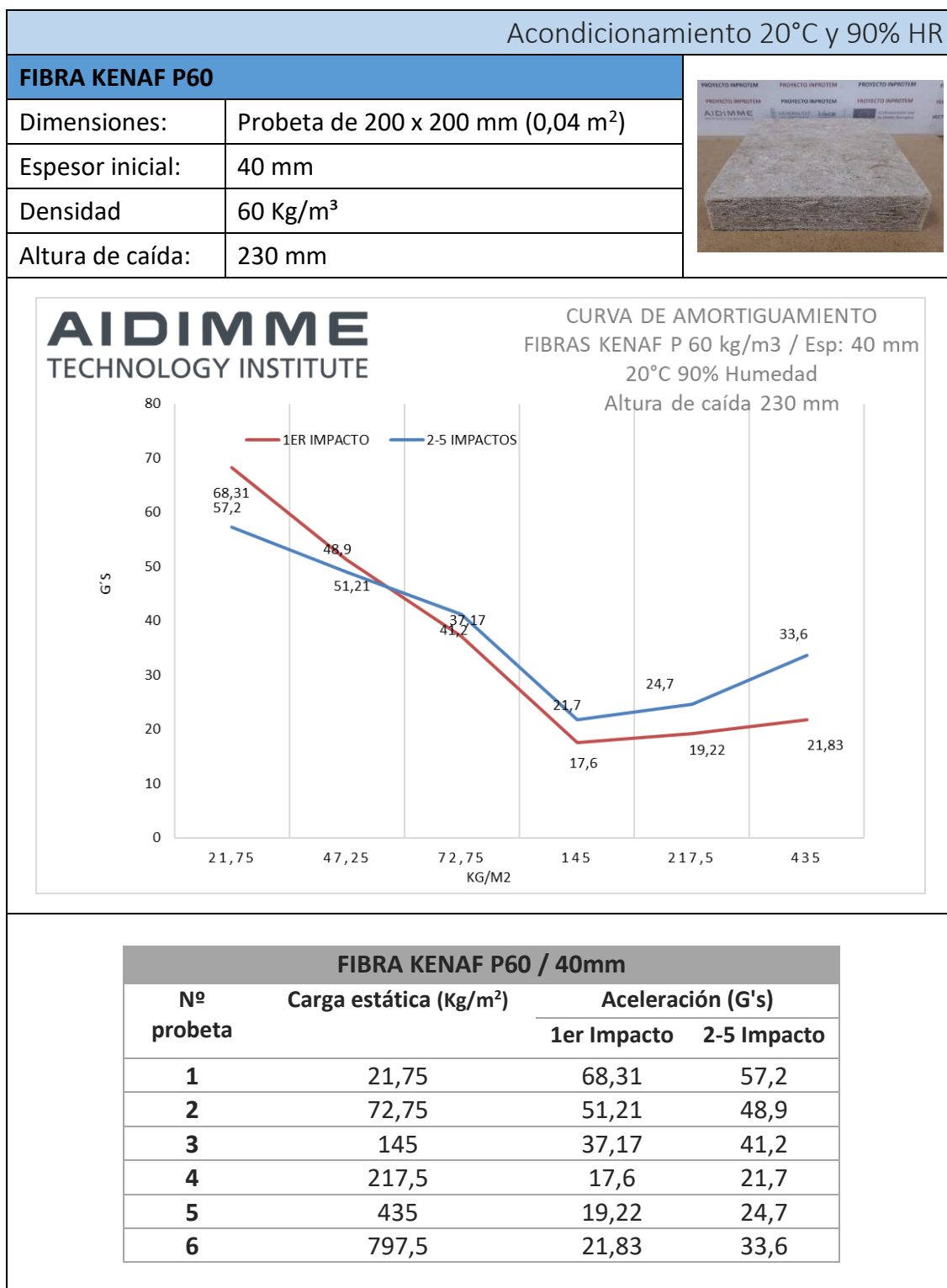
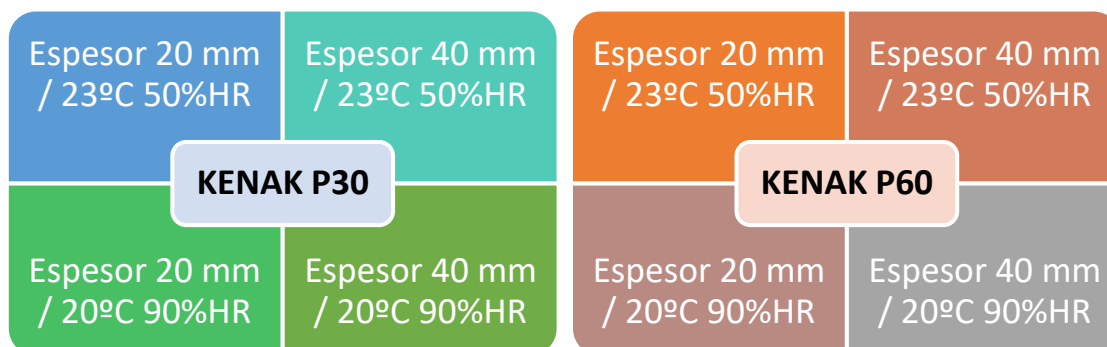


Tabla 10. Resultados Fibra kenaf P 60 kg esp. 40 mm (20°C / 90% HR)

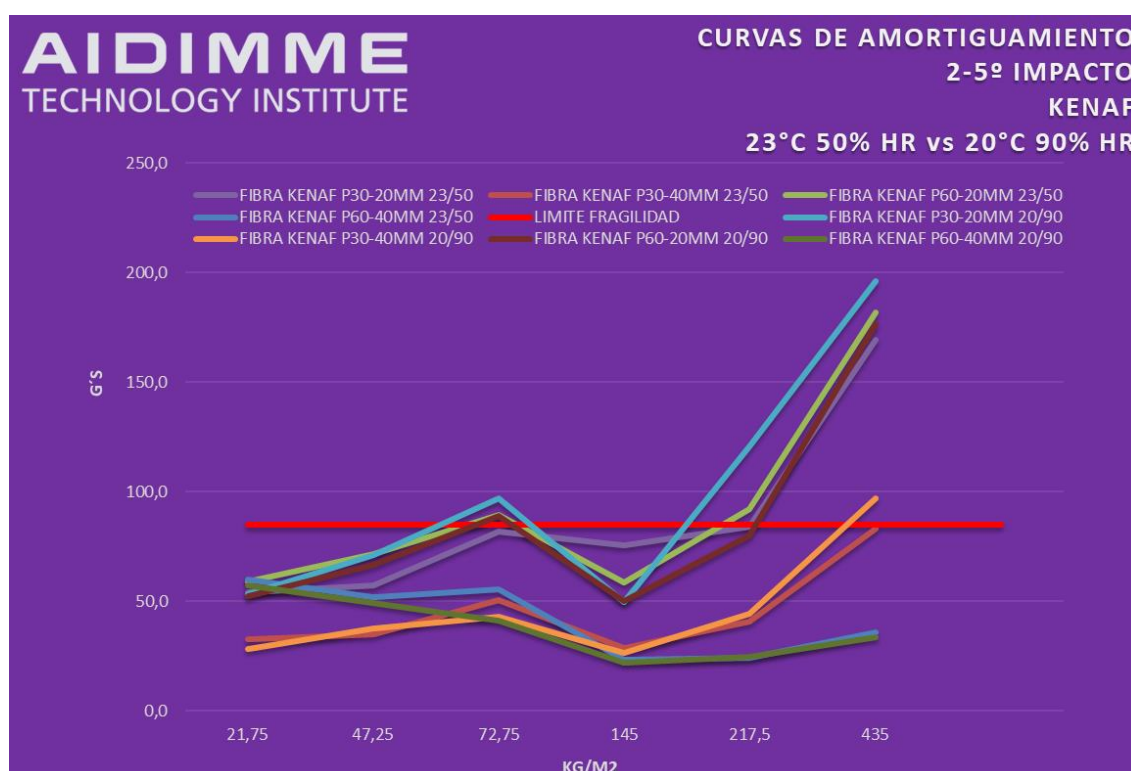
2.2 Análisis de los resultados obtenidos

Una vez obtenida la caracterización de cada uno de los materiales hemos procedido a realizar un análisis de los resultados obtenidos para cada una de las variantes analizadas, que han resultado ser un total de ocho, cuatro para el Kenaf P30 y cuatro para el Kenaf P60, como se expone a continuación:



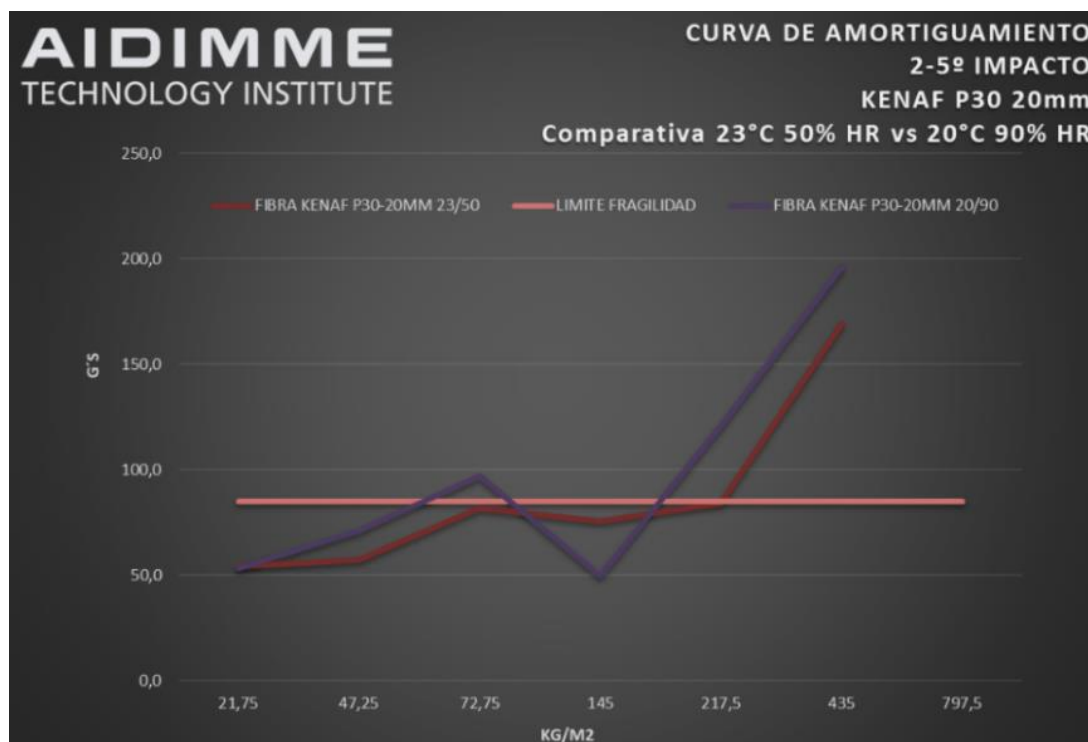
Para realizar el análisis de los datos nos hemos centrado en las 3 variables diferenciales que han intervenido en la caracterización:

- 1) La densidad
- 2) El espesor
- 3) Las condiciones climáticas



2.2.1 Fibra de Kenaf P30 de 20 mm de espesor.

En el siguiente gráfico se puede ver una comparación de las curvas de amortiguamiento de la fibra de **Kenaf P30-20mm** en cada una de las condiciones climáticas ensayadas.

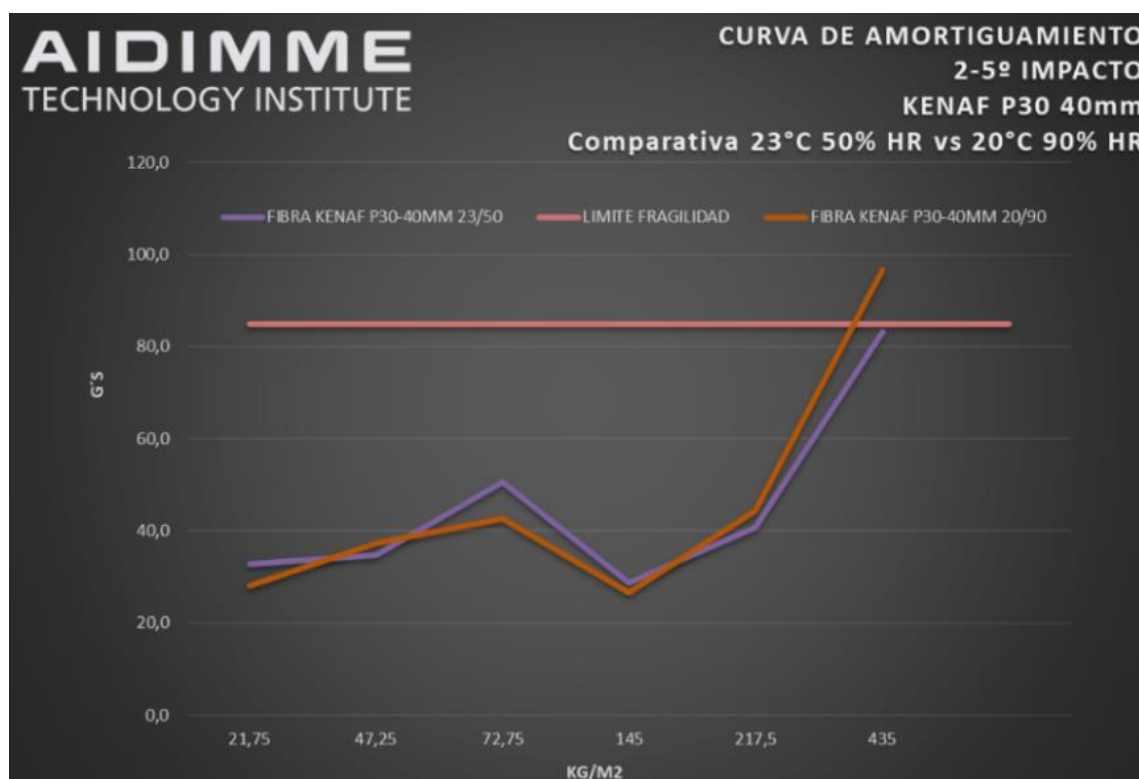


Según los resultados obtenidos se observa que tras el acondicionamiento a 20°C / 90% HR el comportamiento de la fibra de Kenaf P30 20mm empeora ofreciendo menor capacidad de amortiguamiento.

Con alta humedad este material podría ofrecer suficiente protección para productos robustos y ligeros entre 3-6 kg, mientras que en condiciones ambientales de humedad del 50 % podría proteger productos moderadamente frágiles de hasta 8,5 kg.

2.2.1 Fibra de Kenaf P30 de 40 mm de espesor.

En el siguiente gráfico se puede ver una comparación de las curvas de amortiguamiento de la fibra de **Kenaf P30-40mm** en cada una de las condiciones climáticas ensayadas.

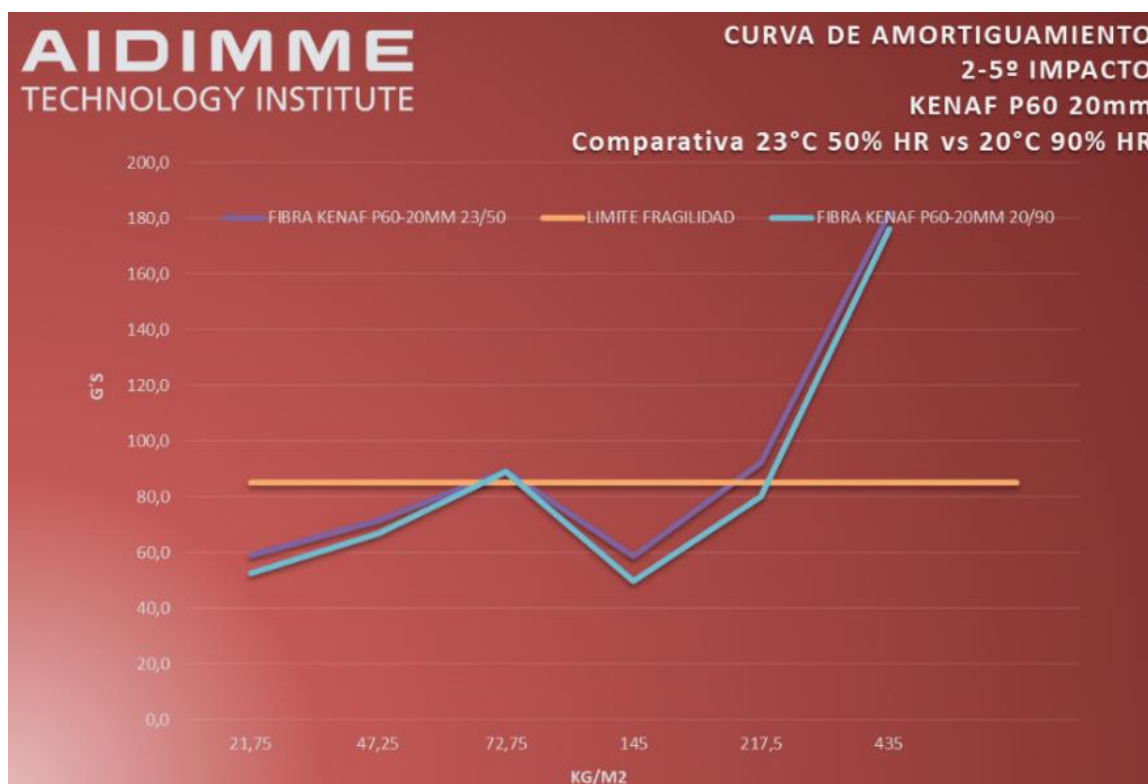


Según los resultados obtenidos se observa que tras el acondicionamiento a 20°C / 90% HR el comportamiento de la fibra de Kenaf P30 40mm es casi igual que en condiciones estándar.

Con alta humedad este material podría ofrecer suficiente protección para productos robustos hasta 14-15 kg, mientras que en condiciones ambientales de humedad del 50% podría proteger productos de hasta 17,5 kg.

2.2.1 Fibra de Kenaf P60 de 20 mm de espesor.

En el siguiente gráfico se puede ver una comparación de las curvas de amortiguamiento de la fibra de **Kenaf P60-20mm** en cada una de las condiciones climáticas ensayadas.

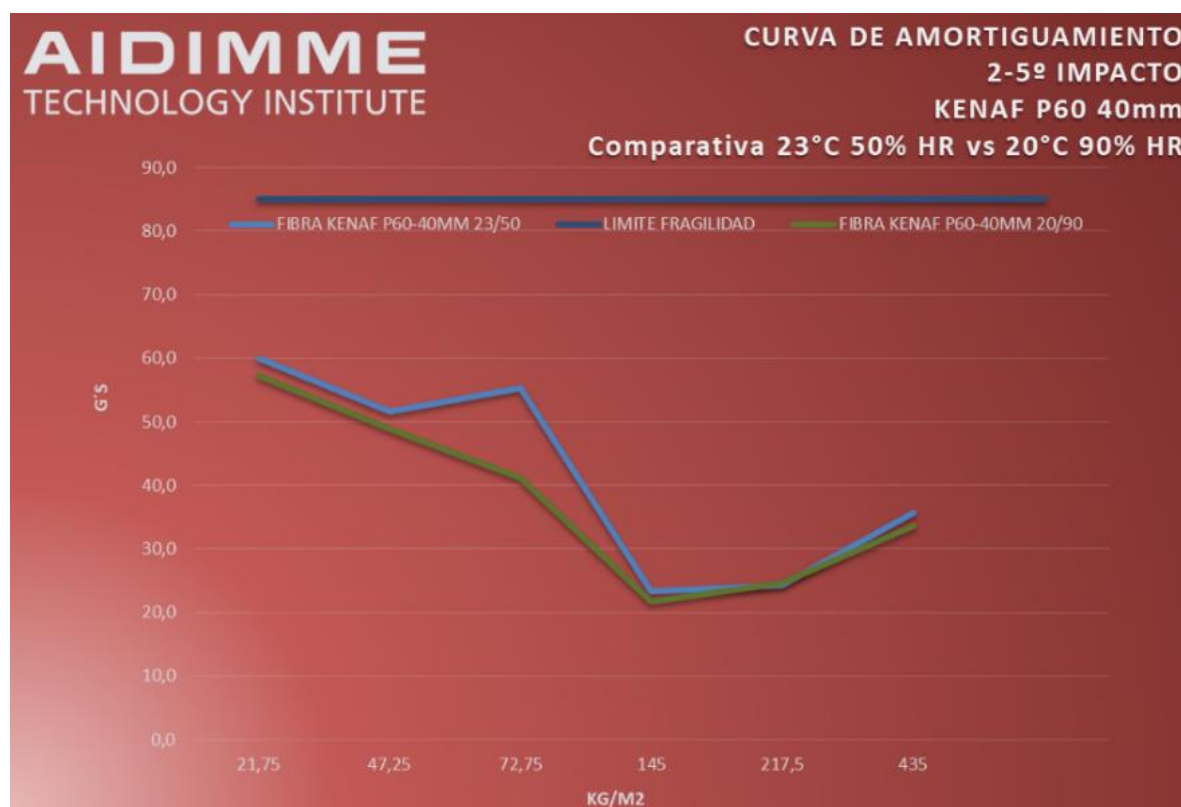


Según los resultados obtenidos se observa que tras el acondicionamiento a 20°C / 90% HR el comportamiento de la fibra de Kenaf P60 20mm mejora ligeramente ofreciendo una mejor capacidad de amortiguamiento.

Con alta humedad este material podría ofrecer suficiente protección para productos robustos y ligeros entre 3-9 kg, mientras que en condiciones ambientales de humedad del 50 % podría proteger productos robustos y ligeros entre 3-7 kg.

2.2.2 Fibra de Kenaf P60 de 40 mm de espesor.

En el siguiente gráfico se puede ver una comparación de las curvas de amortiguamiento de la fibra de **Kenaf P60-40mm** en cada una de las condiciones climáticas ensayadas.



Según los resultados obtenidos se observa que tras el acondicionamiento a 20°C / 90% HR el comportamiento de la fibra de Kenaf P60 40mm es similar que en condiciones de humedad del 50%.

En ambos casos, este material ofrece suficiente protección a productos robustos de hasta 20kg.

2.3 Conclusiones de los resultados obtenidos

Según los resultados obtenidos, en la caracterización del material de fibra de Kenaf, se observa que tras el acondicionamiento a 20°C y 90% de humedad relativa, el comportamiento del material ha mostrado ligeras mermas en cuanto a su capacidad de amortiguamiento. Sin embargo, hay que destacar que el material sigue presentando propiedades protectoras significativas bajo condiciones de alta humedad.

En condiciones de alta humedad, este material podría ofrecer suficiente protección para una amplia gama de productos.

Lo positivo de estos hallazgos radica en que la fibra de Kenaf mantiene un nivel de protección adecuado en condiciones de alta humedad, lo que resulta especialmente valioso para aplicaciones donde las condiciones ambientales pueden variar considerablemente, y donde la capacidad de adaptación del material a diferentes niveles de humedad es crucial.

En conclusión, el material muestra un comportamiento adecuado tanto en condiciones de humedad estándar como en alta humedad, y es adecuado para proteger una amplia gama de productos, lo que subraya su versatilidad y lo coloca en una posición ventajosa con respecto a otros materiales de amortiguación convencionales fabricados con polímeros plásticos.

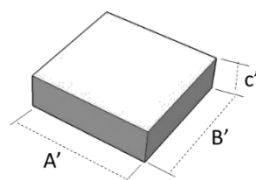
2.4 Desarrollo y pruebas de un sistema de embalaje de amortiguación.

En base a los resultados de caracterización obtenidos para los diferentes materiales, se ha diseñado y desarrollado un sistema de embalaje de amortiguación tipo.

Este embalaje de amortiguación se someterá a ensayos que simulen condiciones de distribución que incluyan:

1. Exposición a vibraciones y choques,
2. Variaciones de temperatura y humedad ambiental.

Para poder realizar los ensayos correspondientes se selecciona un producto tipo que cuenta con las siguientes características:

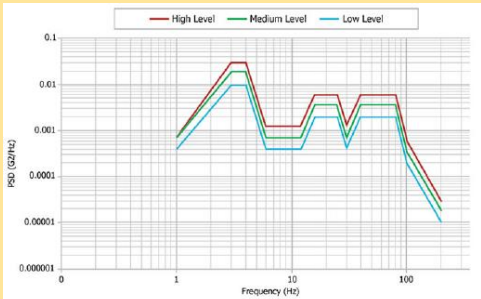
PRODUCTO: <i>Cafetera</i>		
Índice de Fragiliad: ≥ 85 G´s		
Dimensiones:	295 x 120 x 230 mm.	
Peso:	2,5 Kg.	
		
PROTECCIONES DISEÑADAS:		
■ Planchas KENAF P30 de 40 mm de espesor para la base y parte superior de la caja y en laterales largos (1) ■ Planchas KENAF P60 de 20 mm de espesor para la los laterales cortos de la caja (2)		
EMBALAJE EXTERIOR “TIPO”: <i>Caja de cartón ondulado micro canal</i>		
Dimensiones exteriores:	345 x 195 x 335 mm.	Peso total: 3 Kg
Dimensiones interiores:	340 x 190 x 330 mm.	
		

El embalaje original de este producto consistía en una caja de cartón ondulado micro canal y protecciones interiores de poliestireno expandido. Por lo que con la consecución de estos ensayos vamos a evaluar la posibilidad de sustituir esta tipología de protecciones por unas más sostenibles.

2.4.1 Ensayos de simulación de transporte

Para testar el embalaje definido se llevan a cabo una serie de ensayos basados en el siguiente protocolo:

ENSAYO 1	Ensayo de caída, Según la norma ASTM 4169-23. Nivel III.																					
ALTURA DE CAÍDA	230 mm.																					
NÚMERO DE CAÍDAS	6.																					
ZONAS DE IMPACTO	Caras, aristas y esquinas.																					
EQUIPO	Máquina de caída libre innDrop.																					
	<table><tr><th>Nº caída</th><th>Zona ensayo</th><th>Orientación</th></tr><tr><td>1</td><td>Cara</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>Arista</td><td>3-5</td></tr><tr><td>3</td><td>Arista</td><td>3-2</td></tr><tr><td>4</td><td>Esquina</td><td>1-2-6</td></tr><tr><td>5</td><td>Esquina</td><td>1-4-5</td></tr><tr><td>6</td><td>Cara</td><td>3</td></tr></table>	Nº caída	Zona ensayo	Orientación	1	Cara	1	2	Arista	3-5	3	Arista	3-2	4	Esquina	1-2-6	5	Esquina	1-4-5	6	Cara	3
Nº caída	Zona ensayo	Orientación																				
1	Cara	1																				
2	Arista	3-5																				
3	Arista	3-2																				
4	Esquina	1-2-6																				
5	Esquina	1-4-5																				
6	Cara	3																				

ENSAYO 2	Ensayo de Vibración Vertical Aleatoria según la norma ASTM 4169-23
DURACIÓN MÍNIMA	60 minutos (1 ciclo)
ACELERACIÓN	40 minutes (0.404 Grms); 15 minutes (0.542 Grms) and 5 minutes (0.698 Grms).
RANGO DE FRECUENCIA	1 Hz y 200 Hz
EQUIPO	Máquina de vibración vertical Lansmont, Mod. 10000-10.
	

INSPECCION FINAL Y RESULTADO

Una vez finalizados los ensayos, se procede a inspeccionar visualmente tanto el embalaje como el producto ensayado para determinar el resultado final del mismo.

Observaciones:

- Tras los ensayos se observa que las protecciones mantienen su aspecto inicial, sin perder su espesor original.
- No se observa ningún daño en el producto.



Los resultados obtenidos nos demuestran que las protecciones de **Kenaf P30 - 40mm** utilizadas en la base, laterales largos y parte superior, y las protecciones de **Kenaf P60 - 20mm** utilizadas en los laterales cortos, ofrecen una buena amortiguación en condiciones ambientales estándar, ya que han protegido el producto de forma correcta.

El resultado de los ensayos se considera SATISFACTORIO.

A la vista de los resultados técnicos obtenidos ha quedado demostrada la capacidad amortiguadora del Kenaf.

Es por ello por lo que puede posicionarse como una alternativa al poliestireno expandido para esta tipología de productos, con la ventaja de que se trata de un material sostenible.

2.5 Requisitos para embalajes de baterías de ión-litio en estado sólido y pilas de combustible de hidrógeno.

2.5.1 Introducción

Las baterías de estado sólido son una de las tecnologías más prometedoras en el ámbito del almacenamiento de energía, especialmente para su aplicación en vehículos eléctricos (VE). Las baterías de estado sólido son una evolución de las baterías convencionales de ion-litio. La principal diferencia radica en el uso de un **electrolito sólido** en lugar de uno líquido o gelatinoso. Este cambio en el diseño mejora diversas propiedades de las baterías, desde la seguridad hasta la densidad energética.

Ventajas de las baterías de estado sólido en vehículos eléctricos:

- Mayor densidad energética:
Pueden almacenar más energía en un tamaño más compacto, lo que aumenta la autonomía de los vehículos eléctricos.
- Mejor seguridad:
Al eliminar el electrolito líquido inflamable, son menos propensas a incendios o explosiones, incluso bajo condiciones extremas.
- Mayor vida útil:
Estas baterías presentan menor degradación con el tiempo, lo que reduce la necesidad de reemplazo y los costos a largo plazo.
- Rendimiento en temperaturas extremas:
Funcionan de manera más eficiente en climas fríos o cálidos, algo que suele ser un desafío para las baterías de ion-litio tradicionales.

Por otro lado, las pilas de hidrógeno, también conocidas como celdas de combustible de hidrógeno, son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química del hidrógeno en electricidad. Dado que las pilas de hidrógeno son una tecnología emergente con implicaciones significativas para la sostenibilidad energética, su transporte y almacenamiento seguro son de suma importancia.

Ventajas de las pilas de hidrógeno en vehículos:

- Cero emisiones contaminantes:
Solo emiten vapor de agua, contribuyendo a la reducción de gases de efecto invernadero.

- **Autonomía extendida:**
Los vehículos impulsados por hidrógeno suelen ofrecer autonomías de conducción comparables a los de vehículos convencionales, superando a muchos eléctricos de baterías.
- **Recarga rápida:**
El tiempo de recarga es similar al de llenar un tanque de combustible tradicional, mucho más rápido que cargar baterías de ion-litio.
- **Adaptabilidad:**
Ideales para aplicaciones de largo alcance y transporte pesado, como camiones y autobuses.

Desafíos tecnológicos y de infraestructura.

- **Producción de hidrógeno:**
Aunque abundante, la mayoría del hidrógeno se obtiene actualmente a partir de fuentes no renovables, lo que limita su sostenibilidad.
- **Infraestructura limitada:**
Las estaciones de repostaje de hidrógeno son escasas en comparación con las de combustibles tradicionales o puntos de carga eléctrica.
- **Costos elevados:**
Tanto el hidrógeno como las pilas de combustible son costosos de producir, aunque se espera que los avances tecnológicos reduzcan estos costos.
- **Eficiencia energética:**
El ciclo completo del hidrógeno, desde la producción hasta su conversión en electricidad, es menos eficiente que otros métodos de almacenamiento energético.

2.6 Legislación y normativa aplicable

Los reglamentos, son emitidos por las autoridades gubernamentales y tienen fuerza de ley.

Por carretera	Acuerdo sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR)
Por ferrocarril	Transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril (RID)

Por aire	Instrucciones técnicas (TI) de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) para el transporte seguro de mercancías peligrosas por vía aérea y el Reglamento sobre mercancías peligrosas de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA)
Por mar	Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (Código IMDG)
Por vías navegables interiores	Acuerdo europeo sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por vías navegables interiores (ADN). Esta reglamentación no se aplica en España

En la reglamentación se establece una serie de instrucciones de embalaje de aplicación según el estado de la batería:

P903, aplica de forma general a los embalajes que transporten **baterías nuevas** de los números ONU 3090; 3091; 3480 y 3481.

P908, aplica a los embalajes a utilizar para las **baterías dañadas o defectuosas**, de los números ONU 3090, 3091, 3480 y 3481, incluido cuando estén instaladas en los equipos.

P909, aplica a los embalajes a utilizar para las **baterías** de litio de los números ONU 3090, 3091, 3480 y 3481 que se transporten **para su eliminación o reciclado**, mezcladas o no con pilas o baterías distintas a las de litio.

P910, aplica a los embalajes a utilizar para las **baterías** de litio procedentes de series de producción compuestas de no más de 100 baterías de los números. ONU 3090; 3091; 3480 y 3481 y a los **prototipos de preproducción** de baterías, de esos números ONU, cuando estos prototipos se transporten **para ser probados y aprobados**.

P911, aplica a los embalajes a utilizar para las **baterías dañadas o defectuosas** de los n. os ONU 3090, 3091, 3480 y 3481 **que puedan desmontarse rápidamente, reaccionar peligrosamente, producir una llama o un desprendimiento peligroso de calor o una emisión peligrosa de gases o vapores tóxicos, corrosivos o inflamables, en condiciones normales de transporte**.

LP903, aplica de forma general a los grandes embalajes que transporten **baterías nuevas** de los números ONU 3090; 3091; 3480 y 3481.

LP904, aplica a los grandes embalajes a utilizar para las **baterías dañadas o defectuosas**, de los números ONU 3090, 3091, 3480 y 3481, incluido cuando estén instaladas en los equipos.

LP905, aplica a los grandes embalajes a utilizar para las **baterías** de litio procedentes **de series de producción compuestos de no más de 100** baterías de los números. ONU 3090; 3091; 3480 y 3481 y a los **prototipos de preproducción** de baterías, de esos números ONU, cuando estos prototipos se transporten **para ser probados y aprobados**.

LP906, aplica a los grandes embalajes a utilizar para las **baterías dañadas o defectuosas** de los n. os ONU 3090, 3091, 3480 y 3481 **que puedan desmontarse rápidamente, reaccionar peligrosamente, producir una llama o un desprendimiento peligroso de calor o una emisión peligrosa de gases o vapores tóxicos, corrosivos o inflamables, en condiciones normales de transporte**.

Para que estos embalajes y grandes embalajes se puedan utilizar para mercancías peligrosas además de cumplir las especificaciones indicadas en las instrucciones de embalaje mencionadas, deben pasar una serie de ensayos con un nivel de exigencia medio (***grupo de embalaje II***). Para los embalajes los ensayos serán de caída y apilamiento, y para los grandes embalajes además requerirán un ensayo de levantamiento por debajo y/o por arriba si dispone de dispositivos para estas operaciones.

Una vez pasadas las pruebas y los controles realizados por la autoridad competente se marcarán con el símbolo de Naciones Unidas además de una serie de códigos identificativos.

2.7 Novedades reglamentarias que aplican desde el 1 de enero de 2025 a las baterías eléctricas:

- ADR 2025 (carretera)
- ADN 2025 (vías de navegación interior)
- RID 2025 (ferrocarril)
- OACI 2025-2026 (vía aérea)
- IATA (ed. 66 2025) (vía aérea)
- IMDG Edición 2022 (vía marítima)

2.8 Clasificación de las baterías según el ADR. (38.3.2.3)

Para los distintos tipos de batería, el ADR clasifica éstas por su material constructivo y baterías aisladas o asociadas a un equipo:

UN 3090	BATERÍAS DE METAL LITIO (incluidas las baterías de aleación de litio)
UN 3091	BATERÍAS DE METAL LITIO INSTALADAS EN UN EQUIPO o BATERIAS DE METAL LITIO EMBALADAS CON UN EQUIPO (incluidas las baterías de aleación de litio)
UN 3480	BATERÍAS DE ION LITIO (incluidas las baterías poliméricas de ion litio)
UN 3481	BATERÍAS DE IÓN LITIO INSTALADAS EN UN EQUIPO o BATERÍAS DE IÓN LITIO EMBALADAS CON UN EQUIPO (incluidas las baterías poliméricas de ion litio)
UN 3171	VEHÍCULO ACCIONADO POR BATERÍA o APARATO ACCIONADO POR BATERÍA

Para clasificarlas en un número ONU u otro debemos recurrir al MANUAL DE PRUEBAS Y CRITERIOS apartado 38.3.2.3.

Las normas son documentos voluntarios, redactados por organizaciones no gubernamentales. Para validar el buen funcionamiento de la batería existen normas internacionales, que bien no están relacionadas con el embalaje, pero si con la propia batería y sus requisitos para considerar que el producto/batería es seguro y por lo tanto comercializable.

- **UNE-EN IEC 62485-5:2021/AC:2022-07:** Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 5: Funcionamiento seguro de baterías estacionarias de iones de litio.
- **UNE-EN IEC 62485-6:2021:** Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 6: Funcionamiento seguro de las baterías de iones de litio en aplicaciones de tracción.
- **UNE-EN IEC 62281:2019/A1:2021 & /A2:2023:** Seguridad de las baterías, pilas y celdas de litio durante el transporte.
- **UNE-EN IEC 62984-1:2020:** Baterías de alta temperatura. Parte 1: Aspectos generales, definiciones y ensayos.
- **UNE-EN 62485-3:2015:** Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 3: Baterías de tracción.
- **UNE-EN IEC 63056:2020/AC:2021-07:** Elementos secundarios y baterías que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos. Requisitos de seguridad para baterías de litio para su uso en sistemas de almacenamiento de energía eléctrica.

- **UNE-EN IEC 62984-2:2020** Baterías de alta temperatura. Parte 2: Requisitos de seguridad y ensayos.
- **UNE-EN IEC 63057:2020**: Elementos secundarios y baterías que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos. Requisitos de seguridad para baterías de litio para su uso en vehículos de carretera no destinadas a la propulsión.
- **UNE-EN IEC 62902:2019**: Baterías: Símbolos de marcado para la identificación de su química.
- **UNE-EN IEC 62485-2:2019**: Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 2: Baterías estacionarias.
- **UNE-EN 50604-1:2016/A1:2021**: Baterías de litio para aplicaciones de vehículo eléctrico ligero. Parte 1: Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo.
- **UNE-EN 61434:1997**: Pilas y baterías de tipo alcalino y otros acumuladores con electrólito no ácido. Guía para la designación de la corriente en las normas de pilas y baterías de tipo alcalino.
- **UNE-EN IEC 60086-4:2019/AC:2020-05**: Pilas eléctricas. Parte 4: Seguridad para las pilas de litio.
- **UNE-EN IEC 62281:2019/A2:2023**: Seguridad de las pilas y acumuladores de litio durante el transporte.
- **UNE-EN IEC 62660-1:2019**: Elementos secundarios de ión-litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera. Parte 1: Ensayo de funcionamiento.
- **UNE-EN 60086-1: :2021/AC:2022-07**: Pilas eléctricas. Parte 1: Generalidades
- **IEC 63370:2022**: Lithium-ion batteries and charging systems - Safety

Adicionalmente existen normas para evaluar los sistemas de embalaje y realizar la simulación de transporte, es decir, vibraciones, choques, caídas, etc.

A continuación, se muestra una relación de estas normas:

- **UNE-EN ISO 2234**: Envases y embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos y unidades de carga. Ensayos de apilamiento utilizando una carga estática.
- **UNE-EN 14149**: Envases y embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos y unidades de carga. Ensayo de choque por caída rotacional.
- **UNE-EN 22248**: Embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos. Ensayo de choque vertical por caída libre

- **UNE-EN ISO 12048:** Envases y embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos. Ensayos de compresión y apilamiento utilizando una máquina de ensayo de compresión.
- **UNE-EN 15552:** Envases y embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos y unidades de carga. Esquemas de los ensayos de ejecución para cadenas comunes de distribución.
- **UNE-EN ISO 2244:** Envases y embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos y unidades de carga. Ensayos de impacto horizontal.
- **ISO 13194:** Envases y embalajes. Paletas tipo caja. Requisitos generales y métodos de ensayo.
- **UNE-EN ISO 2247:** Envases y embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos y unidades de carga. Ensayos de vibración a baja frecuencia fija.
- **UNE-EN ISO 8318:** Envases y embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos y unidades de carga. Ensayos de vibración sinusoidal usando una frecuencia variable.
- **UNE-EN ISO 13355:** Envases y embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos y unidades de carga. Ensayo de vibración vertical aleatoria.

2.9 Riesgos de la batería

La tecnología de baterías de ión-litio en estado sólido y las pilas de combustible de hidrógeno, mejoran prácticamente en todos los aspectos a las baterías de iones de litio (Li-ion) quedando estas totalmente superadas.

Cierto es que la tecnología de baterías de iones de litio (Li-ion), es actualmente la más popular del mundo y se emplea en numerosas aplicaciones, desde teléfonos móviles a vehículos eléctricos y plantas de almacenamiento de energía eléctrica a gran escala. Pero el principal riesgo inherente en las baterías de litio, independiente de su tamaño, es la cantidad de energía que albergan. En casos extremos, generalmente provocados por usos inadecuados o factores externos, se pueden provocar cortocircuitos e incluso llegar a la combustión. Al liberar oxígeno, se pueden producir fugas térmicas, lo que significa que el fuego generado se produce a través de una reacción en cadena.

La diferencia fundamental entre las baterías de iones de litio convencionales y las de estado sólido reside en el material del electrolito, presentándose en las baterías tradicionales en estado líquido o gel, lo que conlleva ciertas desventajas en términos de densidad de energía y seguridad.

En cambio, la batería de estado sólido utiliza electrolitos sólidos, por lo general cerámicos, lo que ofrece un mayor control sobre la reacción electroquímica y permite una distribución más compacta de los componentes internos, siendo el resultado es un mayor almacenamiento de energía por unidad de volumen, lo que reduce el peso de la batería.

Además, este diseño minimiza el riesgo de fugas y posibles incendios, un aspecto que siempre ha representado una preocupación para la industria, sobre todo tras algunos incidentes ocurridos con baterías de iones de litio en diversos dispositivos electrónicos y vehículos eléctricos.

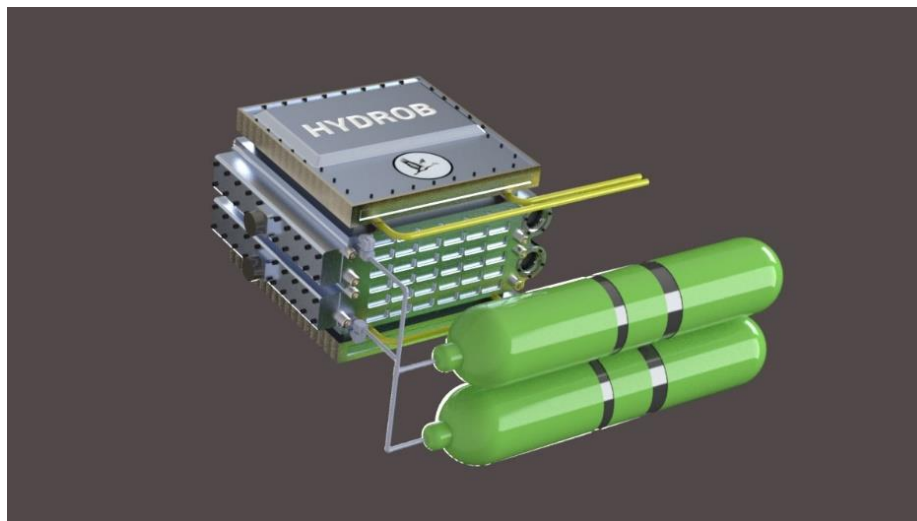
2.10 Riesgos del embalaje

El transporte seguro de baterías de ión-litio en estado sólido y las pilas de combustible de hidrógeno, es un aspecto crucial en la cadena logística de estos dispositivos, dada su sensibilidad a factores como vibraciones y choques que pueden comprometer su integridad y funcionamiento.

En este contexto, la validación de métodos y tecnologías para garantizar un embalaje adecuado se convierte en un desafío fundamental para asegurar la seguridad tanto de las personas involucradas en el proceso como del entorno circundante.

Los embalajes de baterías de ión-litio en estado sólido y las pilas de combustible de hidrógeno, pueden presentar diversos riesgos si no se diseñan adecuadamente. A continuación, se detallan los posibles riesgos asociados con el embalaje:

- Riesgo de daño físico: Un embalaje inadecuado o deficiente podría resultar en daños físicos en las baterías durante el transporte, lo que aumenta la posibilidad de fugas, rupturas o activación involuntaria.
- Riesgo de vibraciones y choques: Un embalaje inadecuado no proporcionaría la protección necesaria contra vibraciones y choques durante el transporte, lo que podría dañar las baterías y comprometer su integridad.



Fuente: LUFTCAR HYDROB

2.11 Requisitos que debe cumplir el embalaje

Aspectos que determinarán el embalaje:

Antes de decidir qué embalaje puede ser el adecuado para una batería de ión-litio en estado sólido y las pilas de combustible de hidrógeno, será importante conocer varios factores que determinarán su embalaje:

El estado de la batería

La normativa relativa al envío de baterías define cuatro estados diferentes. Cada estado tiene sus propios requisitos de embalaje y protección. Los cuatro estados son los siguientes:

1. Batería Prototipo:

Si la batería está clasificada como prototipo, significa que no ha sido sometida a pruebas completas para garantizar que cumple el Manual de Pruebas y Criterios de la ONU, Parte III, Subsección 38.3. Esto significa que el fabricante debe declarar que su prototipo es seguro para ser enviado. **El embalaje debe ser más duro y resistente que en otros estados.** El estado de prototipo también se aplica a algunas series pequeñas de pilas que no han sido probadas.

2. Batería de serie

Una batería de serie es aquella que ha sido probada y aprobada para su envío y uso. Está totalmente desarrollada y es probable que se produzca en serie para

su uso por los consumidores. Cumple todos los requisitos establecidos por el Manual de Pruebas y Criterios de la ONU.

3. Batería de desecho

Una batería de desecho es aquella que se encuentra al final de su ciclo de vida. Estas baterías se embalan para su eliminación o para su envío a un centro de reciclaje. Las pilas usadas no pueden ser enviadas por transporte aéreo sin la aprobación de la agencia correcta del país/estado de origen. **Deben enviarse en un embalaje específico.**

4. Batería dañada/defectuosa

Cuando una batería de litio está dañada o defectuosa, **no puede transportarse por vía aérea.** No hay excepciones. Debe embalarsé cuidadosamente para su transporte. Si no es posible determinar el estado de una batería de ión-litio en estado sólido y las pilas de combustible de hidrógeno, se considera defectuosa por razones de seguridad.

El peso de la batería

Cuanto más pesada sea la batería, más embalaje protector tendrá que utilizar además de embalajes más robustos y resistentes para soportar su peso y protegerlas contra impactos durante el transporte. El peso también es el factor determinante a la hora de embalar varias baterías en el mismo paquete o caja. Con baterías más pesadas, eso no es posible.

Se puede utilizar un embalaje exterior para agrupar varios envases individuales correctamente preparados para su transporte, pero es importante saber que no todos los tipos de baterías se pueden agrupar en un mismo embalaje exterior. Para las baterías que están embaladas o integradas en un equipo, los paquetes individuales que cumplan con los reglamentos (IATA, ADR...) se pueden agrupar en un mismo embalaje. Sin embargo, es preciso que los paquetes individuales cumplan con los requisitos necesarios (como las limitaciones de peso neto de la batería o la capacidad para resistir una prueba de caída de 1,2 metros). En el embalaje exterior se debe indicar la palabra «Overpack» (embalaje exterior) y debe llevar la etiqueta de baterías apropiada.

Cómo se transportará la batería

Existen diferentes normativas de embalaje para cada uno de los diferentes modos de transporte, y será necesario que el embalaje de la batería cumpla estas normativas. Estas normativas regulan todo, desde el etiquetado y las marcas exteriores hasta el tipo de vehículo que se puede utilizar y las certificaciones del conductor.

Las baterías de ión-litio en estado sólido y las pilas de combustible de hidrógeno, se

pueden enviar por carretera, ferrocarril, mar o aire.

- **Envío por carretera**

Si la batería se va a cargar en un camión para su transporte en Europa, debe cumplir todos los requisitos que se indican en el manual ADR 2025. Este es el acuerdo europeo que regula el transporte por tierra de cualquier mercancía peligrosa.

- **Transporte por ferrocarril**

El envío de la batería por tren también requiere que cumpla las directrices específicas para el transporte de mercancías peligrosas. En este caso, las regulaciones apropiadas se describen en las directrices del Transporte de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID). Estas directrices y las directrices ADR utilizadas para el transporte por carretera se han redactado para exigir embalajes y protecciones similares.

- **Envío por mar**

Si la batería se va a enviar por barco, será necesario asegurarse de que su embalaje cumple el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG).

- **Transporte aéreo**

El último método de envío es el transporte aéreo, y es también el más complicado ya que los requisitos para las mercancías peligrosas son muy estrictos, debido a que los accidentes que ocurren en este tipo de transporte pueden ser mortales. Las baterías de iones de litio que explotan durante el transporte aéreo han provocado accidentes aéreos en el pasado, no obstante, las baterías de ión-litio en estado sólido y las pilas de combustible de hidrógeno reducen de manera importante este riesgo.

En el caso de transportar baterías en avión, se deben revisar y cumplir la Normativa sobre Mercancías Peligrosas (DGR). Estas normas están reguladas por la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) y la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

2.12 Aspectos a tener en cuenta para un buen diseño del embalaje

Para diseñar un correcto embalaje para baterías de ión-litio en estado sólido y las pilas de combustible de hidrógeno, y mitigar estos riesgos, se deben tener en cuenta una serie de aspectos que lograrán que consigamos una correcta protección de las baterías.

Embalajes Homologados

Se deberán utilizar embalajes certificados y homologados para el transporte de mercancías peligrosas que cumplan con los estándares y especificaciones establecidos en el ADR.

El cumplimiento normativo es fundamental al diseñar el embalaje de una batería como mercancía peligrosa. El ADR establece las disposiciones legales para el transporte seguro de mercancías peligrosas por carretera en Europa, incluyendo las baterías que contienen sustancias peligrosas. El embalaje debe cumplir con las regulaciones nacionales e internacionales aplicables a la clasificación, embalaje, etiquetado y transporte de mercancías peligrosas, como las establecidas por la ONU (Reglamentación Modelo de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas), la IATA (Asociación Internacional de Transporte Aéreo) y la IMO (Organización Marítima Internacional).

Es importante clasificar correctamente la batería según su clase de peligro (por ejemplo, clase 9 para mercancías peligrosas diversas) y asignarle un número ONU específico que identifique el tipo de batería.

Además, el embalaje debe cumplir con los requisitos de embalaje y etiquetado establecidos en el ADR, como utilizar embalajes homologados y etiquetas de peligro adecuadas que indiquen la naturaleza peligrosa del contenido. También se deben seguir las instrucciones de manipulación y almacenamiento especificadas en el ADR para garantizar la seguridad durante todo el proceso logístico.

Las baterías pueden embalarsen para su transporte dentro de:

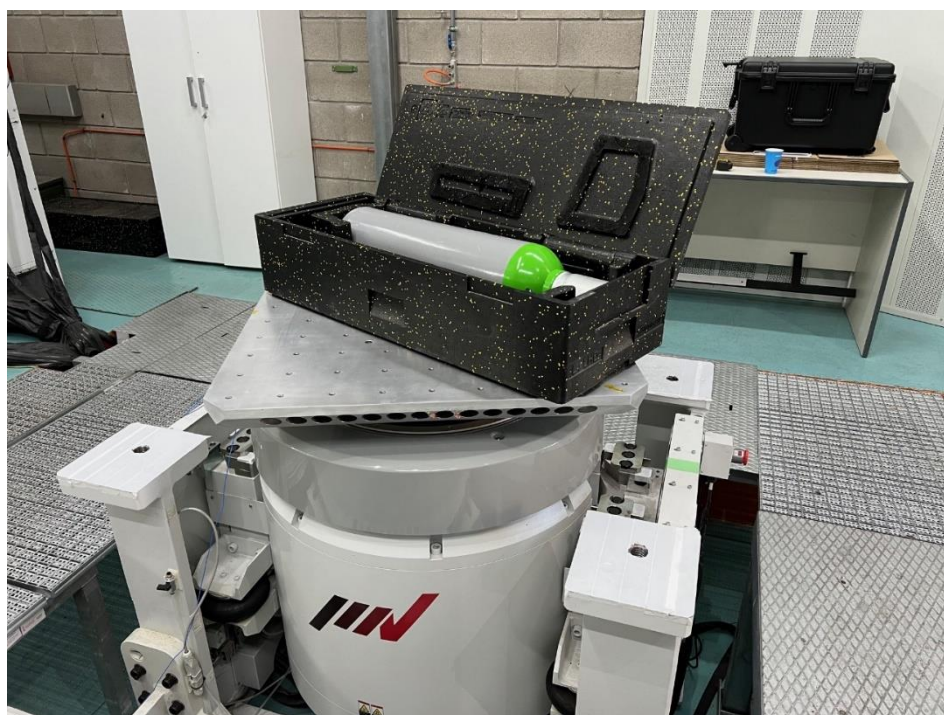
- Bidones de acero, aluminio u otros metales; de plástico; de contrachapado o de cartón.
- Cajas de acero, aluminio u otros metales; de madera; de contrachapado, de cartón o de plástico.
- Jerricanes de acero, aluminio o plástico.

Los envases anteriores deben contar con un código de homologación que garantice los niveles de prueba del Grupo de Embalaje II.

Sin embargo, para el caso de baterías con una masa bruta igual o superior a 12 kg, no será necesario usar envases homologados en su transporte si cuentan con una envoltura exterior robusta y resistente a los golpes como:

- Embalajes exteriores robustos.
- Envolturas de protección como jaulas completamente cerradas.
- Palés u otros dispositivos de manipulación.

En estos casos, las baterías deben amarrarse de forma que se impidan desplazamientos accidentales y sus bornes no deben soportar el peso de otros elementos superpuestos.



Fotografía 8. Ensayo de Vibración.

Etiquetar adecuadamente

El etiquetado adecuado es esencial para identificar claramente el embalaje como mercancía peligrosa y proporcionar información importante sobre su contenido y riesgos asociados. Según el ADR, se deben colocar etiquetas de peligro en el embalaje que indiquen la clase de peligro, grupo de embalaje y número ONU correspondiente a

la batería. Además, se deben incluir señales visuales o pictogramas que alerten sobre los riesgos específicos asociados con la batería.

Es crucial seguir las pautas del ADR en cuanto al etiquetado de mercancías peligrosas para garantizar su correcta identificación y manipulación segura durante el transporte por carretera. Esto incluye colocar etiquetas en lugares visibles y asegurarse de que sean legibles y duraderas para evitar confusiones o malentendidos.

Resistencia y estabilidad

La resistencia y estabilidad del embalaje son aspectos clave para proteger la batería contra impactos, vibraciones y condiciones climáticas adversas durante el transporte. Según el ADR, se deben utilizar materiales resistentes y duraderos que cumplan con los requisitos de resistencia a la compresión, flexión y torsión especificados en la normativa.

Además, se debe diseñar el embalaje con una estructura robusta que distribuya uniformemente la carga y evite puntos débiles que puedan comprometer la integridad de la batería. Es importante realizar pruebas de resistencia y estabilidad del embalaje según las normativas del ADR para verificar su capacidad para soportar condiciones adversas durante el transporte por carretera.

Amortiguación y Protección interna

El embalaje debe contar con sistemas de protección interna, como almohadillas absorbentes o espumas, para amortiguar posibles impactos y prevenir daños en las baterías durante el transporte.

La amortiguación y protección interna son fundamentales para absorber impactos y vibraciones durante el transporte y evitar daños en la batería. Según el ADR, se deben incorporar sistemas de amortiguación interna, como espumas acolchadas o divisores ajustados, que protejan la batería contra movimientos bruscos dentro del embalaje.

Es importante asegurarse de que la amortiguación interna sea efectiva para mantener la batería en una posición segura y estable durante todo el proceso logístico. Se pueden realizar pruebas de impacto y vibración según las directrices del ADR para evaluar la eficacia de la protección interna del embalaje.

Sellado hermético

El sellado hermético del embalaje es fundamental para prevenir fugas de las baterías y evitar la liberación de sustancias peligrosas durante el transporte. Es importante asegurarse de que el embalaje esté sellado de forma segura y efectiva para mantener la

integridad del contenido y protegerlo contra posibles derrames o filtraciones.

Según el ADR, se deben utilizar materiales de sellado adecuados que sean resistentes a la corrosión, impermeables y capaces de soportar condiciones adversas durante el transporte por carretera. El sellado hermético del embalaje garantiza que las baterías permanezcan contenidas de manera segura y evita cualquier riesgo potencial para la salud humana o el medio ambiente.

Ventilación adecuada

La ventilación adecuada es crucial en el caso de baterías que puedan generar calor durante su funcionamiento o almacenamiento. Según el ADR, se deben incorporar sistemas de ventilación en el embalaje que permitan la circulación del aire y eviten acumulaciones de calor que puedan provocar riesgos de sobrecalentamiento.

Es importante diseñar aberturas o canales de ventilación en el embalaje que garanticen una circulación adecuada del aire alrededor de la batería. Se deben seguir las recomendaciones del ADR en cuanto a la ventilación segura de mercancías peligrosas para prevenir situaciones potencialmente peligrosas durante su transporte por carretera.

Documentación completa

Además del etiquetado externo del embalaje, se debe incluir documentación completa según lo establecido en el ADR para garantizar un transporte seguro y cumplir con los requisitos legales aplicables a las mercancías peligrosas. Esto puede incluir hojas de seguridad (MSDS) actualizadas, certificados de conformidad, documentos aduaneros e información adicional requerida por las autoridades competentes.

Es fundamental asegurarse de que toda la documentación necesaria esté presente dentro del embalaje o adjunta al mismo para facilitar su identificación e inspección durante los controles aduaneros o inspecciones regulatorias. La documentación completa es un requisito obligatorio según el ADR para garantizar un transporte seguro y legalmente conforme de mercancías peligrosas como las baterías.

3 Anexos y bibliografía

(reducido al mínimo).

- **Lithium batteries whitepaper**
(Brookes Bell. TT Club y UK P&I.)
- **Lithium battery guide for shippers September 2021**
(U.S. Department of Transportation)
- **Manufacturing scalability implications March 2021**
(Joule)
- **Best practices for the transport of electric vehicles onboard vessels June 2022**
(ABS)
- **Electric vehicles onboard passenger roll-on/roll-off (ro-ro) ferries July 2021**
(UK MCA - MGN 653 (M))
- **Lithium battery recycling safety advisory note May 2017**
(U.S. Department of Transportation)
- **Guidance on the carriage of Alternative Fuel Vehicles in ro-ro spaces May 2022**
(European Maritime Safety Agency)
- **ADR 2023:** Acuerdo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera. https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/mitma/docs/adr_2023_volumen_i_.pdf
- **ADR 2025:** “Acuerdo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera”. <https://www.boe.es/boe/dias/2025/01/03/pdfs/BOE-A-2025-77.pdf>

AIDIMME

INSTITUTO TECNOLÓGICO

Domicilio fiscal —

C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —

Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

aidimme@aidimme.es

www.aidimme.es