



# INFORME PROYECTOS— 2022-2023

INVESTIGACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO DE DIFERENTES  
MATERIALES CON CAPACIDAD DE PROTECCIÓN, FRENTE A LAS  
DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA  
DISTRIBUCIÓN  
“INPROTEM”

Informe: “Final” o “de Resultados”

Programa: Proyectos de I+D en colaboración con empresas

Número de proyecto: 22200062

Expediente: IMDEEA/2022/43

Duración: Del 01/06/2022 al 31/09/2023

Coordinado en AIDIMME por: SÁNCHEZ LÓPEZ, FRANCISCO JOSÉ



GENERALITAT  
VALENCIANA



Financiado por  
la Unión Europea

**AIDIMME**  
INSTITUTO TECNOLÓGICO



## ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	1
2 BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE LOS MATERIALES A CARACTERIZAR .....	4
3 ESTABLECIMIENTO DEL PROTOCOLO DE CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN .....	7
4 CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS .....	8
5 REALIZACIÓN DEL DISEÑO TÉCNICO DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DE UN SISTEMA DE EMBALAJE .....	15
6 VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS DE EMBALAJE DISEÑADOS CON EL PROTOCOLO DE EVALUACIÓN ESTABLECIDO.....	17
7 RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	20
7.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA CANTONERA TROQUELADA DE CARTÓN ONDULADO 2.....	23
7.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA FIBRA DE KENAF P30 .....	24
7.3 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS DE EMBALAJE DISEÑADOS CON EL PROTOCOLO DE EVALUACIÓN ESTABLECIDO .....	24



## 1 Introducción y Objetivos

Durante las operaciones de transporte y distribución de cualquier mercancía se producen una serie de eventos físicos, efectos de los golpes externos o de las fuerzas de vibración, sujetos a diferentes condiciones ambientales como la temperatura o la humedad. Con el fin de poder asegurar la integridad del producto frente a estos factores externos se observa la necesidad de diseñar un sistema de embalaje, que minimice los efectos de los impactos y vibraciones, mediante un material de amortiguamiento que absorba la energía generada por golpes y choques, disminuya las vibraciones transmitidas a través del embalaje, evitando posibles daños causados por la resonancia o la fricción durante el transporte, y asegure que el producto se mantiene en perfectas condiciones.

En el contexto de la economía circular se busca minimizar el uso de recursos naturales y reducir los residuos, con un enfoque más sostenible y regenerativo, por ello surge la necesidad de buscar nuevos materiales como materiales de amortiguamiento: materiales biodegradables, reciclados, regenerativos, reutilizables y de origen local, en lugar de los tradicionales que se siguen utilizando actualmente, como espuma de polietileno u otras espumas plásticas, que debido a su composición y características específicas dificultan su reciclaje y reutilización. Algunos de estos nuevos materiales pueden ser papel Kraft, cartón ondulado, nido de abeja o estructuras similares, pero la capacidad de amortiguación de los materiales celulósicos puede variar, generalmente viéndose disminuida, según las condiciones ambientales en las que se utilicen: humedad (tienden a perder parte de su resistencia y rigidez en ambientes húmedos) y temperatura (pueden volverse frágiles y menos flexibles con temperaturas muy altas o bajas).

La investigación experimental propuesta pretende establecer las pautas del comportamiento mecánico de diferentes sistemas de embalaje de protección frente a las condiciones ambientales externas.

En la actualidad, los materiales utilizados habitualmente como materiales de amortiguación de embalaje para la protección de productos están ampliamente caracterizados, de manera que se conocen todas sus características físico-mecánicas. Concretamente en el aspecto que nos ocupa, que es la capacidad de un material para absorber la energía de los impactos y vibraciones externos, la mayoría de los materiales están caracterizados por sus curvas de amortiguamiento.

Las curvas de amortiguamiento son generadas por una serie de caídas planas de una masa establecida, sobre una muestra de material de amortiguamiento. Este material de amortiguamiento se ensaya con distintas cargas, y en la caída, se toma el valor máximo de deceleración, en G's.

Por lo tanto, la capacidad de amortiguación de un material, históricamente se ha establecido con los siguientes parámetros:

- Espesor del material.
- Área de impacto del material
- Altura de impacto
- Masa de impacto
- Nº de impactos aplicados a la misma muestra.

Como ya se ha comentado anteriormente, durante la distribución de cualquier mercancía se producen una serie de eventos físicos, principalmente vibraciones y choques, bajo diferentes condiciones ambientales. Para asegurar la integridad un producto frente a esos factores externos es necesario diseñar un sistema de embalaje que sea capaz de minimizar dichos eventos, absorbiendo parte de la energía provocada por esos choques y vibraciones, para que la aceleración que reciba el producto esté por debajo de su índice de fragilidad, lo que se consigue con el empleo de un material de amortiguamiento.

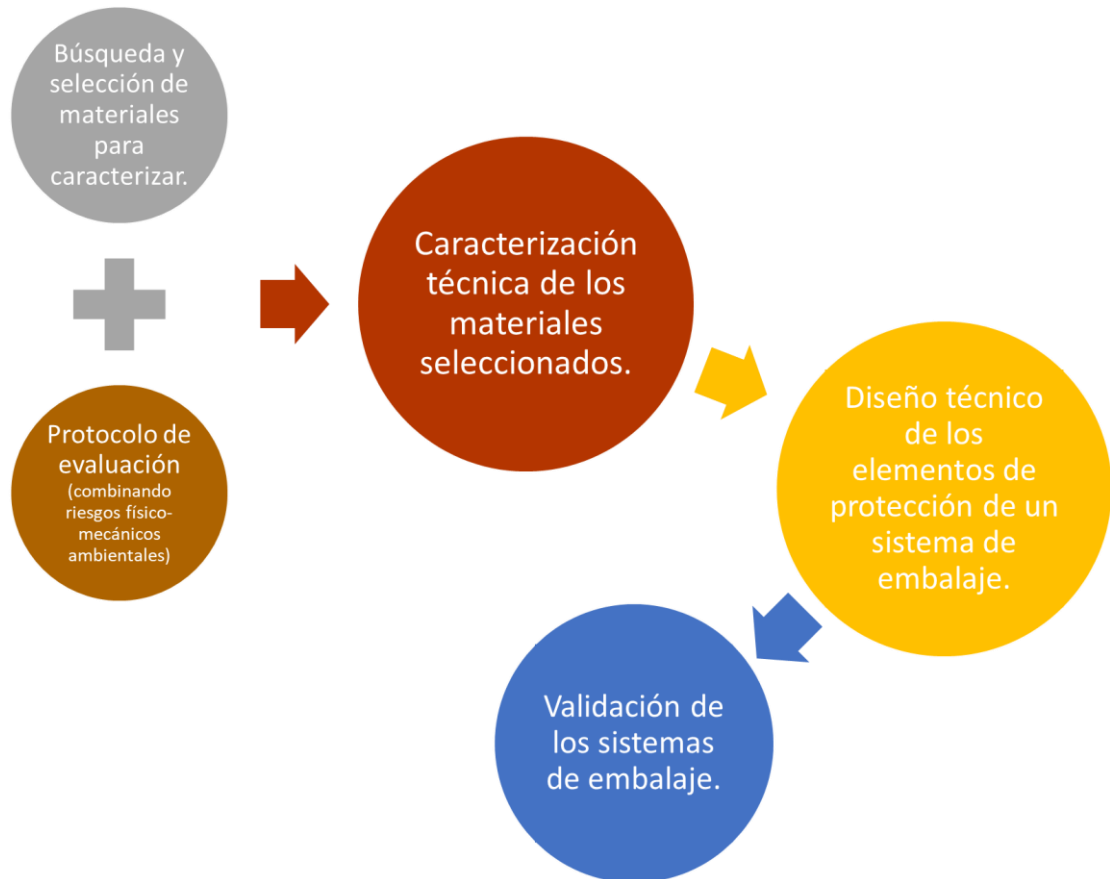
Sin embargo, hay que tener en cuenta que muchos de los materiales de amortiguamiento empleados tradicionalmente son materiales poliméricos o espumas, que, finalizada su vida útil, y debido a sus características, tienen difícil su reciclado. Como ya hemos mencionado con anterioridad la tendencia actual es buscar materiales sostenibles que potencien una economía circular. En este sentido los materiales celulósicos, como el cartón ondulado y estructuras similares, son una opción a tener en cuenta pese a que se trate de materiales higroscópicos que pueden ver alterada su capacidad de amortiguación.

El objetivo general del proyecto ha sido la investigación sobre la capacidad de protección de diferentes materiales de embalaje, tomando como factor de referencia las condiciones de temperatura y humedad relativa que se dan en los ciclos logísticos de cualquier producto industrial.

Los objetivos específicos son:

- Caracterización de diferentes materiales celulósicos de protección, sometidos a diferentes condiciones ambientales controladas.
- Diseño de sistemas de embalaje de amortiguación (utilizando materiales celulósicos), frente a las condiciones ambientales externas que se producen en la distribución, es decir, vibraciones y choques, unidos a las condiciones de temperatura y humedad ambiental.

Para alcanzar el objetivo general del proyecto se han llevado a cabo las siguientes tareas:















- Búsqueda y selección de materiales para caracterizar.
- Establecimiento del protocolo de evaluación que permita reproducir de manera combinada los riesgos físico-mecánicos y los riesgos ambientales.
- Caracterización técnica de los materiales seleccionados.
- Realización del diseño técnico de los elementos de protección de un sistema de embalaje.
- Validación de los sistemas de embalaje diseñados con el protocolo de evaluación establecido.

## 2 Búsqueda y selección de los materiales a caracterizar

El primer objetivo del proyecto ha sido buscar, seleccionar y evaluar materiales con capacidades de amortiguación y susceptibles de ser utilizados como material de protección en sistemas de embalaje combinados.

De esta labor ha resultado el siguiente listado de materiales a caracterizar:

#	Material	Foto	Descripción muestra	Dimensiones (LxA) (mm)	Espesor (mm)
1	Cartón ondulado. Cantonera troquelada.		Fibras de celulosa. Protector de cartón conformado por cartón ondulado canal B. Interior de la cantonera con 2 puentes.	200 x 170	30 mm
2	Cartón ondulado. Cantonera troquelada reforzada.		Fibras de celulosa. Protector de cartón conformado por cartón ondulado canal B. Interior de la cantonera reforzado 3`5 puentes.	200 x 200	30 mm
3	Cartón ondulado. Cartón troquelado.		Fibras de celulosa. Malla de cartón ondulado troquelado para relleno.	200 x 200	30 mm
4	Cartón ondulado multicapa. Cartón flauta		Fibras de celulosa. Funda de cartón elástico tubular. Se unen varias muestras para obtener el espesor deseado.	203 x 190	21 mm
5	Cartón ondulado triple.		Fibras de celulosa. Cartón ondulado triple canal (C / A / B). Se unen varias muestras para obtener el espesor deseado.	200 x 200	25 mm
6	Nido de Abeja 15		Fibras de celulosa.	200 x 200	15 mm
7	Nido de Abeja 15 + 15		Fibras de celulosa. Se unen dos muestras para obtener un mayor espesor.	200 x 200	30 mm

#	Material	Foto	Descripción muestra	Dimensiones (LxA) (mm)	Espesor (mm)
8	Nido de Abeja 20		Fibras de celulosa.	200 x 200	20 mm
9	Nido de Abeja 30		Fibras de celulosa.	200 x 200	30 mm
10	Nido de Abeja 40		Fibras de celulosa.	200 x 200	40 mm
11	Nido de Abeja 50		Fibras de celulosa.	200 x 200	50 mm
12	“Esponja” vegetal Luffa		Ibérica de esponjas vegetales.	200 x 200	40 mm
13	Fieltro industrial		FIELTRO BLANCO BLANDO M1 (C200) Material textil no tejido hecho de fibras de lana o sintéticas.	200 x 200	20 mm
14	Fieltro industrial		PIEZA FIELTRO DURO 1 F3 Material textil no tejido hecho de fibras de lana o sintéticas.	200 x 200	20 mm
15	Panel aislante FIBRAS KENAF P 30 kg		Panel aislante ecológico de fibra de Kenaf, de 30 mm de espesor y densidad 30kg/m <sup>3</sup> .	200 x 200	30 mm
16	Panel aislante FIBRAS KENAF P 60 kg		Panel aislante ecológico de fibra de Kenaf, de 40 mm de espesor y densidad 60kg/m <sup>3</sup> .	200 x 200	40 mm

#	Material	Foto	Descripción muestra	Dimensiones (LxA) (mm)	Espesor (mm)
17	CHOVAPREM 20		Panel de partículas cohesionadas de poliuretano.	200 x 200	20 mm
18	CHOVAPREM 40		Panel de partículas cohesionadas de poliuretano.	200 x 200	40 mm
19	CORCHO NEGRO 20		Panel ecológico de corcho.	200 x 200	20 mm
20	CORCHO NEGRO 40		Panel ecológico de corcho.	200 x 200	40 mm

**Tabla 1.** Selección de materiales amortiguantes para ensayar

### 3 Establecimiento del protocolo de caracterización y evaluación

En esta tarea se ha desarrollado un protocolo de evaluación de materiales que engloba las condiciones físico-mecánicas y las condiciones ambientales producidos en la distribución de mercancías.

Se ha establecido una doble caracterización comparativa de los diferentes materiales de amortiguación y una posterior caracterización de un sistema de embalaje completo.

PROTOCOLO PROPUESTO	
ENSAYO	PROCEDIMIENTO
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <b>ACONDICIONAMIENTO CLIMÁTICO 1</b> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <b>ENSAYO DE IMPACTO ASTM 1596-14</b>                      (Curva de amortiguamiento)                 </div> <div style="text-align: center; color: blue; font-size: 2em;">↓</div>	Acondicionamiento climático de 24 horas. <b>23°C / 50% H.R.</b> (según ISO 2233)  Equipo de ensayo: se realiza en una máquina de choque vertical.  Procedimiento de ensayo: <ul style="list-style-type: none"> <li>número de probetas: 5 probetas (mínimo)</li> <li>altura de caída: 460 mm de altura</li> <li>dimensiones de la probeta: 20 cm x 20 cm</li> </ul> <b>Resultado: Curva de amortiguamiento a 23°C 50% H.R.</b>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <b>ACONDICIONAMIENTO CLIMÁTICO 2</b> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <b>ENSAYO DE IMPACTO ASTM 1596-14</b>                      (Curva de amortiguamiento)                 </div> <div style="text-align: center; color: blue; font-size: 2em;">↓</div>	Acondicionamiento climático de 24 horas. <b>20°C / 90% H.R.</b> (según ISO 2233)  Equipo de ensayo: se realiza en una máquina de choque vertical.  Procedimiento de ensayo: <ul style="list-style-type: none"> <li>número de probetas: 5 probetas (mínimo)</li> <li>altura de caída: 460 mm de altura</li> <li>dimensiones de la probeta: 20 cm x 20 cm</li> </ul> <b>Resultado: Curva de amortiguamiento a 20°C 90% H.R.</b>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <b>ENSAYO DE CAIDA (EN CAJA RÍGIDA)</b> </div> <div style="text-align: center; color: blue; font-size: 2em;">↓</div>	El ensayo se realiza sobre un sistema de embalaje exterior "tipo" donde se introducen los prototipos de embalajes de protección del material amortiguante. <ul style="list-style-type: none"> <li>Altura de caída: 460 mm</li> <li>Número de caídas: 3</li> <li>Zonas de impacto: cara, arista y esquina</li> </ul>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <b>ENSAYO DE VIBRACIÓN ALEATORIA (ISO 13355)</b> </div>	Equipo de ensayo: Mesa de vibración <ul style="list-style-type: none"> <li>Vibración vertical aleatoria: Eje vertical</li> <li>Duración mínima: 30 minutos</li> <li>Rango de frecuencia: 3 Hz y 200 Hz.</li> </ul>

<span style="border: 1px dashed red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Ensayos aplicados al material	<span style="border: 1px dashed black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Ensayos aplicados al sistema de embalaje completo
--	--

**Tabla 2.** Protocolo de caracterización

#### 4 Caracterización técnica de los materiales seleccionados

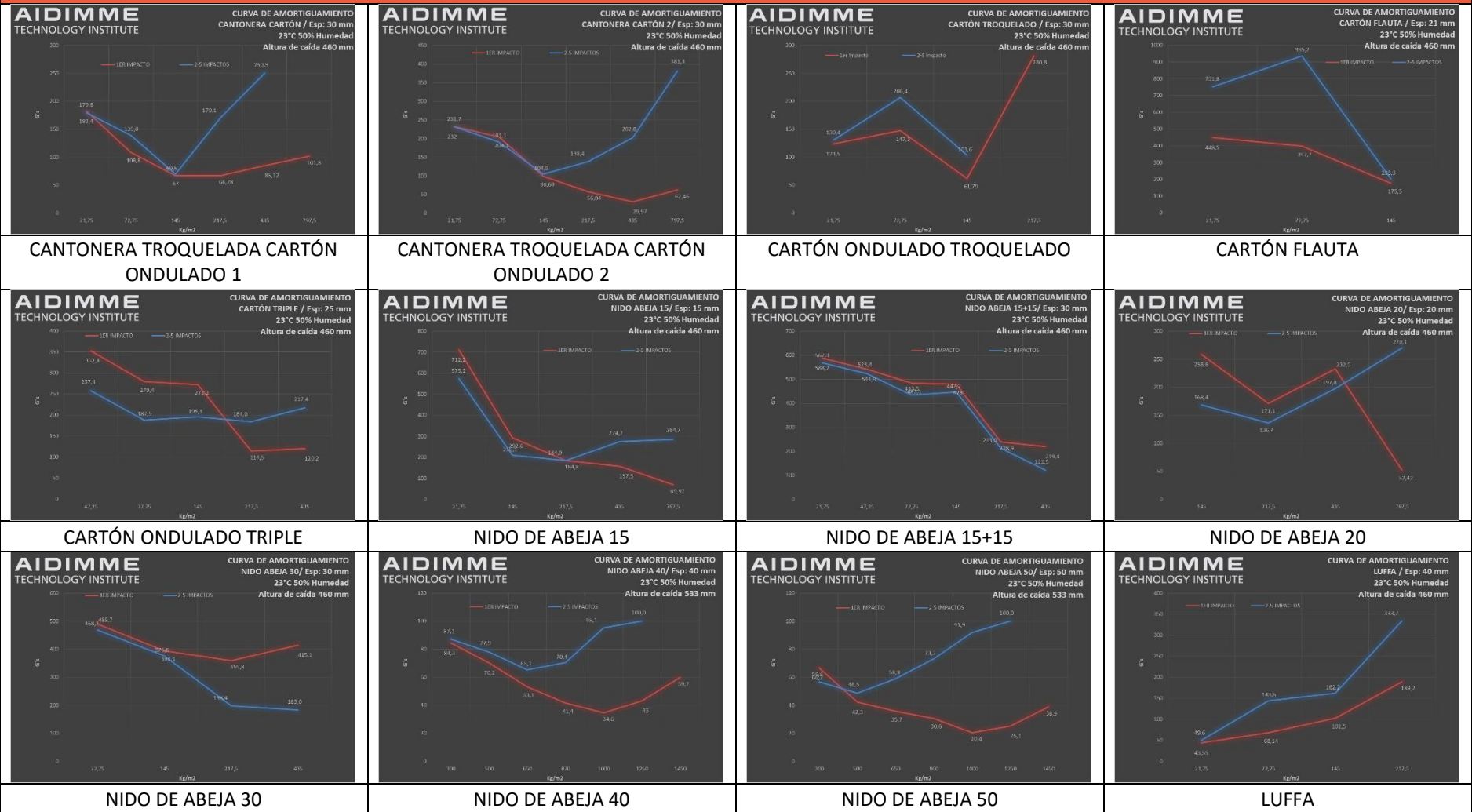
Seguidamente se ha realizado una caracterización físico-mecánica de los materiales seleccionados, con el fin de evaluar su viabilidad técnica para su uso como materiales de protección de embalaje teniendo en cuenta las diferentes condiciones ambientales.

Con la aplicación del método de ensayos según la norma ASTM: 1596 - 14 (2021), *Standard Test Method for Dynamic Shock Cushioning Characteristics of Packaging Material*, se han obtenido las curvas de amortiguamiento de cada uno de los materiales caracterizados en las diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa:

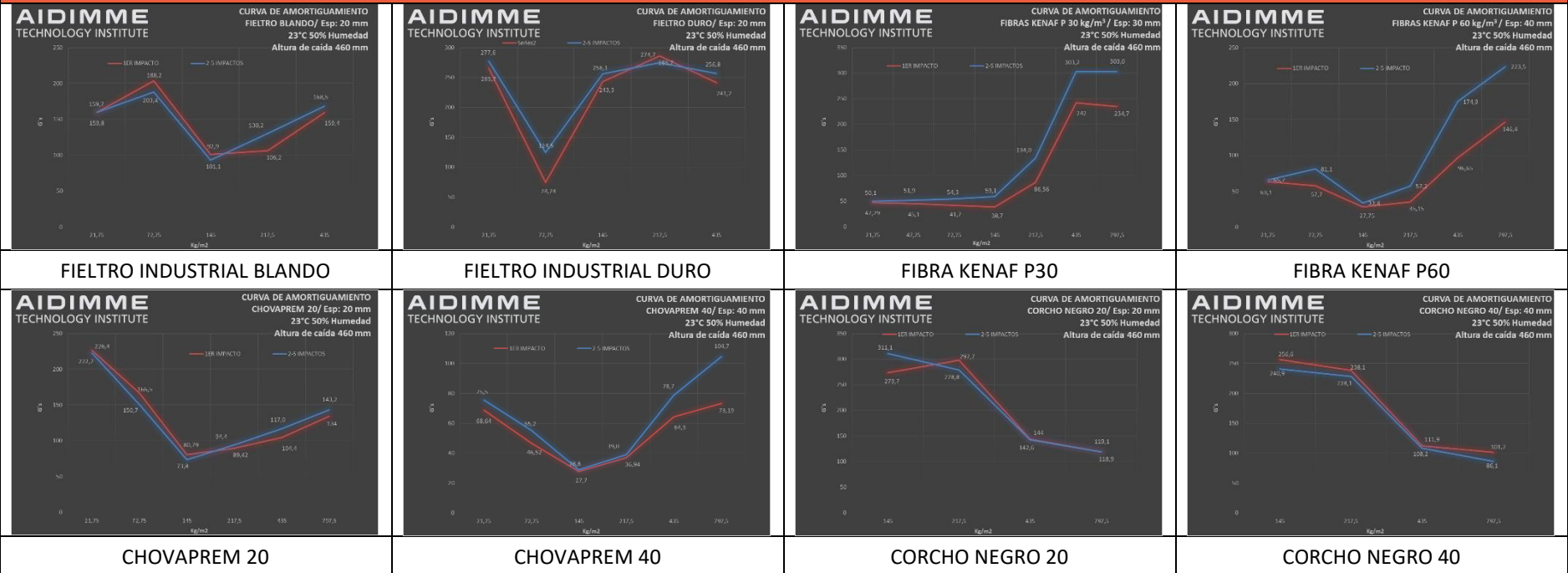
Acondicionamiento 1 23°C / 50% HR	Acondicionamiento 2 20°C / 90% HR
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cantonera Troquelada Cartón ondulado 1</li> <li>▪ Cantonera Troquelada Cartón ondulado 2</li> <li>▪ Cartón Ondulado Troquelado</li> <li>▪ Cartón Flauta</li> <li>▪ Cartón ondulado triple</li> <li>▪ Nido de abeja (15 / 20 / 30 / 40 / 50)</li> <li>▪ Luffa</li> <li>▪ Fieltro industrial (Blando / Duro)</li> <li>▪ Fibra de Kenaf (Densidad 30 / 60)</li> <li>▪ Aglomerado de PU (Chovaprem 20 / 40)</li> <li>▪ Corcho negro (20 / 40)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cantonera Troquelada Cartón ondulado 2</li> <li>▪ Cartón ondulado triple</li> <li>▪ Nido de abeja 15 + 15</li> <li>▪ Nido de abeja 30</li> <li>▪ Nido de abeja 40</li> <li>▪ Nido de abeja 50</li> <li>▪ Fibra de Kenaf P30</li> </ul>

A continuación, se muestra un resumen de los resultados y conclusiones obtenidos tras la caracterización técnica de los materiales seleccionados.

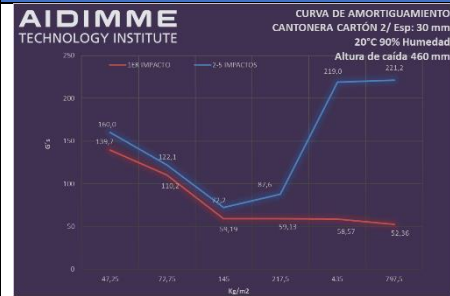
Resultados Acondicionamiento 23°C y 50% HR



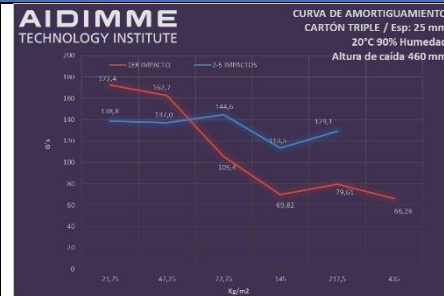
## Resultados Acondicionamiento 23°C y 50% HR



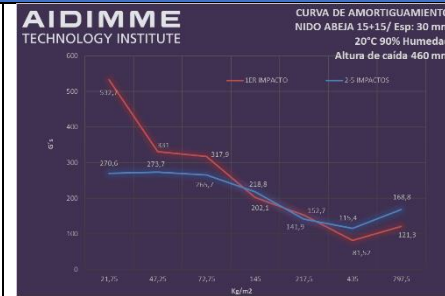
## Resultados Acondicionamiento 20°C y 90% HR



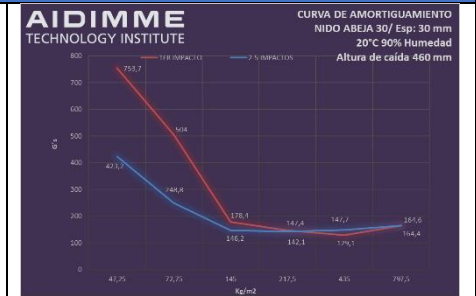
CANTONERA TROQUELADA CARTÓN  
ONDULADO 2



CARTÓN ONDULADO TRIPLE



NIDO DE ABEJA 15+15



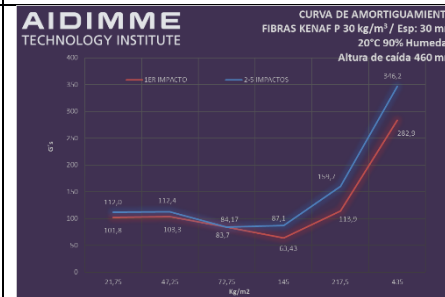
NIDO DE ABEJA 30



NIDO DE ABEJA 40



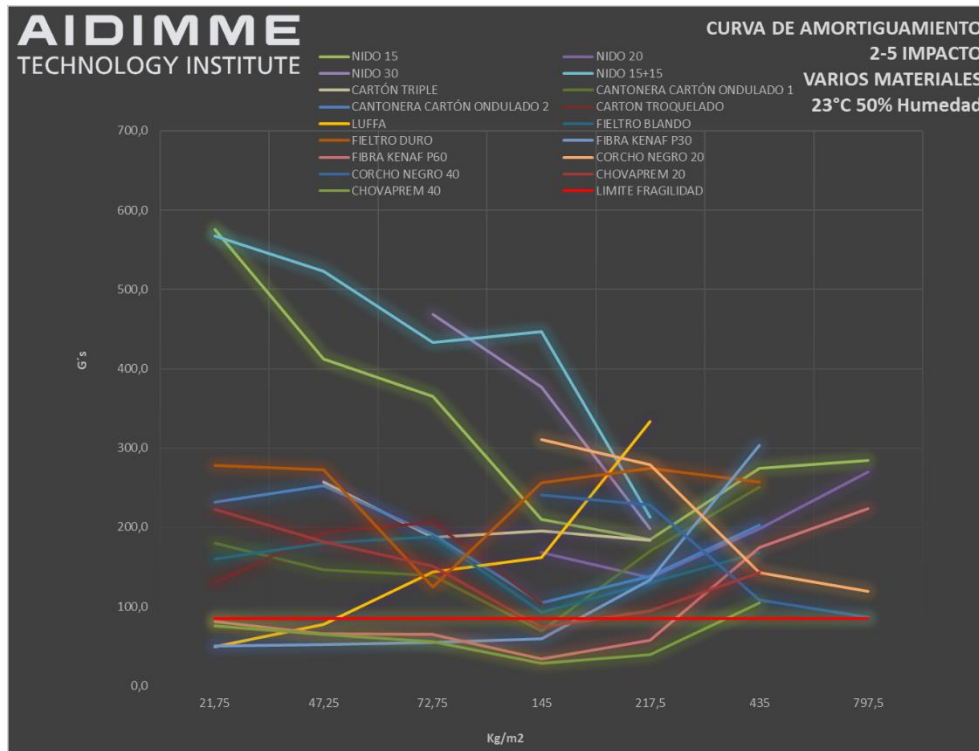
NIDO DE ABEJA 50



FIBRA KENAF P30



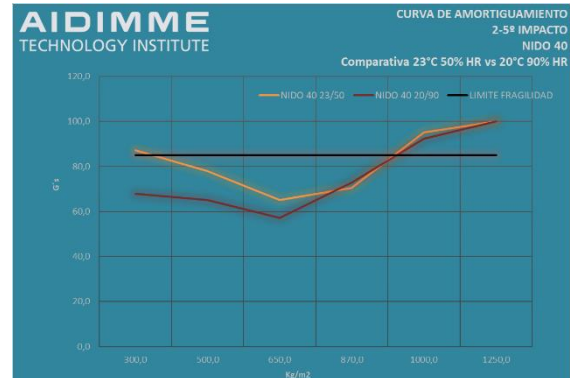
Analizando la siguiente gráfica de todos los materiales, tanto celulósicos como no celulósicos, podemos observar que son pocos los materiales que quedan por debajo del límite de fragilidad establecido de 85 G's:



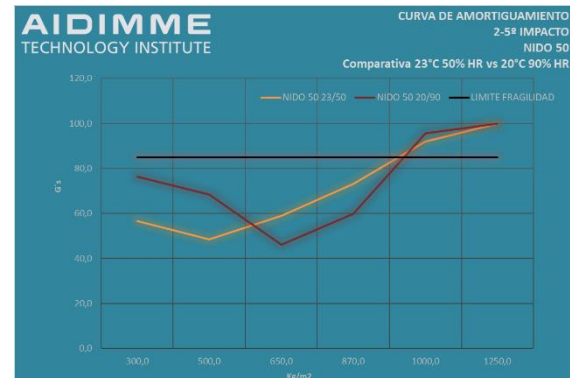
- *Luffa*: según la curva de amortiguamiento obtenida únicamente podría ofrecer una buena protección a productos muy ligeros de < 2 kg.
- *Chovaprem 40*: según la curva se trata de un material que puede ofrecer una buena amortiguación/protección a productos pesados de hasta 14 - 15 kg aproximadamente. Este material se descarta para continuar su análisis, ya que aunque es reciclado, proviene de espuma de poliuretano.
- *Fibra Kenaf P30*: según la curva se trata de un material que puede ofrecer una buena amortiguación/protección a productos de hasta 6,5 - 7 kg aproximadamente.
- *Fibra Kenaf P60*: según la curva se trata de un material que puede ofrecer una buena amortiguación/protección a productos de hasta 12 kg aproximadamente.

Según los resultados de caracterización obtenidos y analizando comparativamente las distintas condiciones climáticas se observa, tras su acondicionamiento a 20°C / 90% HR las siguientes conclusiones:

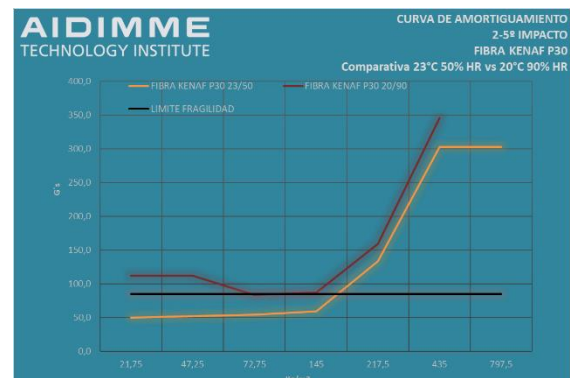
1. El comportamiento del nido de abeja 40 presenta una buena capacidad de amortiguamiento. Como se observa en la curva de amortiguamiento este material puede ofrecer una correcta protección a productos moderadamente frágiles de entre 14 y 38 kg.



2. El comportamiento del nido de abeja 50 tras su acondicionamiento a 20°C/90%HR es bastante similar. Como se observa en la curva de amortiguamiento este material puede ofrecer una correcta protección a productos frágiles de entre 6 y 38 kg.





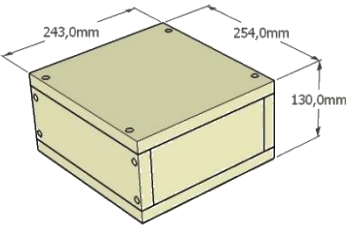
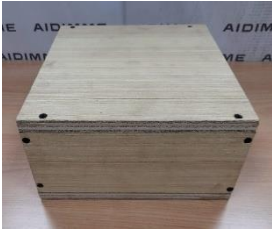
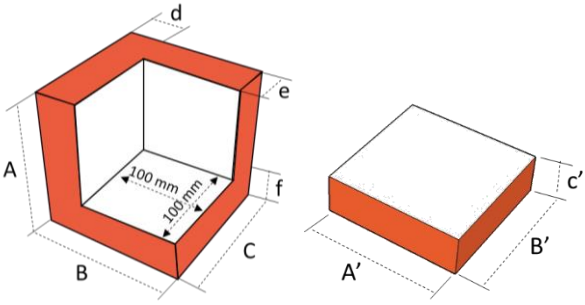



3. El comportamiento de la fibra de Kenaf P30 tras su acondicionamiento a 20°C/90%HR empeora ofreciendo menor capacidad de amortiguamiento. Con alta humedad este material podría ofrecer suficiente protección para productos robustos y ligeros entre 3-6 kg, mientras que en condiciones ambientales de humedad del 50 % podría proteger productos moderadamente frágiles de hasta 6 kg.



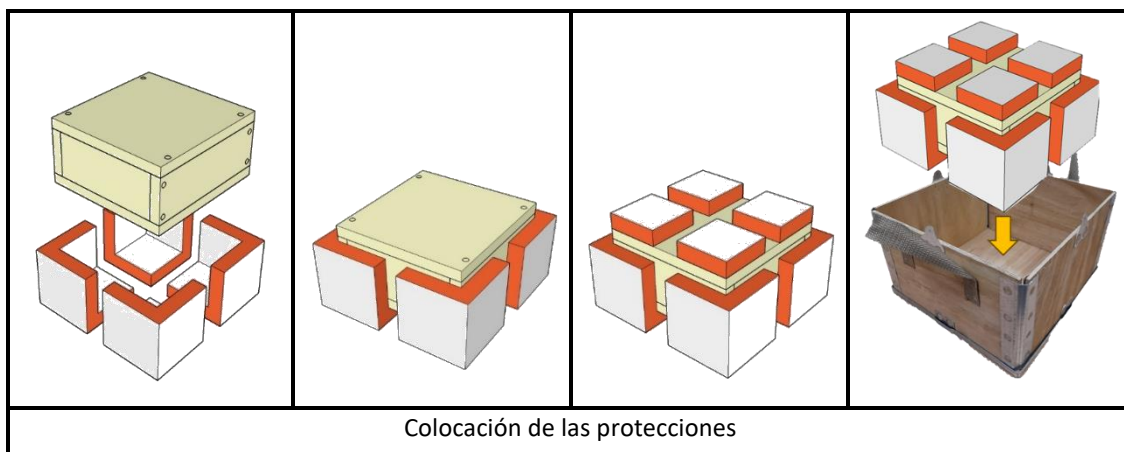
## 5 Realización del diseño técnico de los elementos de protección de un sistema de embalaje

Una vez caracterizados los materiales de amortiguación se ha realizado el diseño técnico de los elementos de protección de un sistema de embalaje con los materiales seleccionados.

Para ello se ha establecido un producto “tipo” para el que se han diseñado las protecciones interiores y un sistema de embalaje exterior “tipo” que ha ejercido como soporte tanto del producto como de las protecciones diseñadas.

PRODUCTO “TIPO”:	
 <b>254 x 243 x 130 mm.</b>	 <b>5,8 Kg.</b>
Índice de Fragilidad:	<b>≥ 85 G's</b>
	
PROTECCIONES DISEÑADAS:	
	
EMBALAJE EXTERIOR “TIPO”:	
 <b>332 x 324 x 207 mm.</b>	
 <b>3 Kg.</b>	

La colocación de las protecciones se realiza en la base del producto “tipo”, ya que los ensayos de caída/amortiguación se han realizado únicamente en esa dirección (Base o Cara inferior), el resto de las piezas se posicionaron en las esquinas de la parte superior y su única función es la de bloquear el producto.



## 6 Validación de los sistemas de embalaje diseñados con el protocolo de evaluación establecido.

El siguiente objetivo ha sido establecer la respuesta del sistema de embalaje completo, frente a las condiciones ambientales externas que se producen en la distribución, es decir, vibraciones y choques, unidos a las condiciones de temperatura y humedad ambiental.

Se ha llevado a cabo la fabricación de varios prototipos de protecciones interiores utilizando los siguientes materiales:


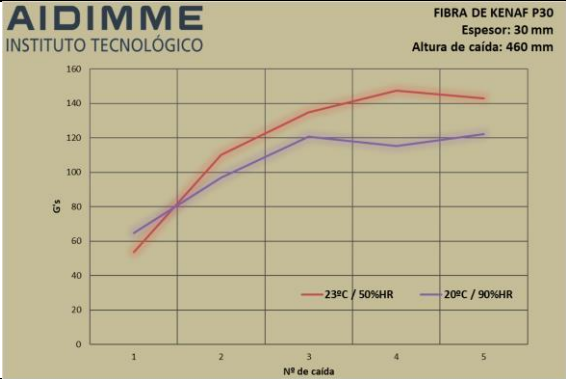

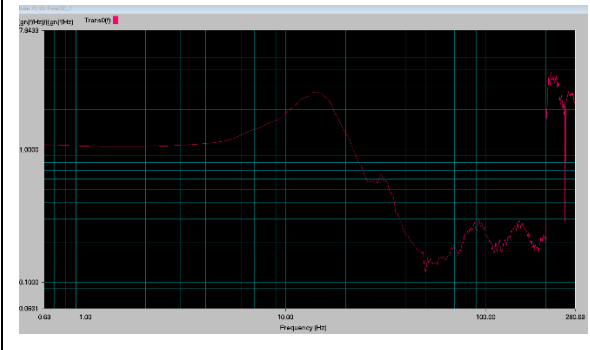
Fibra de Kenaf P30	Nido de abeja 15 + Fibra de Kenaf P30 (15 mm)	Cantenera Troquelada Cartón Ondulado 2
		
		

Una vez diseñados y fabricados los prototipos de embalaje con cada material de amortiguamiento seleccionado, se ha sometido el conjunto a su validación en base al protocolo de ensayos establecido.

<p><b>ENSAYO DE CAIDA</b> (EN CAJA RÍGIDA)</p> <p>↓</p> <p><b>ENSAYO DE VIBRACIÓN ALEATORIA</b> (ISO 13355)</p>	<p>El ensayo se realiza sobre un sistema de embalaje exterior "tipo" donde se introducen los prototipos de embalajes de protección del material amortiguante.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altura de caída: 460 mm</li> <li>• Número de caídas: 3</li> <li>• Zonas de impacto: cara, arista y esquina</li> </ul>
	<p>Equipo de ensayo: Mesa de vibración</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibración vertical aleatoria: Eje vertical</li> <li>• Duración mínima: 30 minutos</li> <li>• Rango de frecuencia: 3 Hz y 200 Hz.</li> </ul>

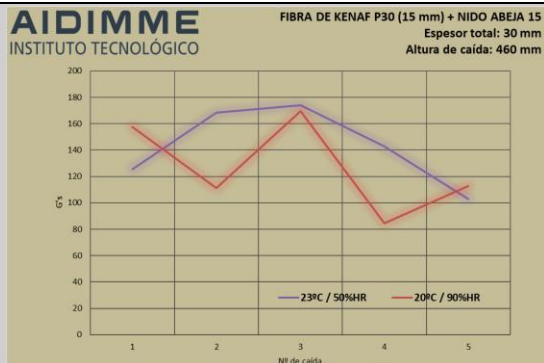
**Tabla 3.** Protocolo de ensayos aplicable al sistema de embalaje

A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos para cada uno de los materiales ensayados:

<b>FIBRA DE KENAF P30</b>					
<b>RESULTADOS ENSAYO DE CAÍDA</b>					
					
					
<b>CAÍDAS (23°C / 50% HR)</b>					
Aceleración	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
G's	53,59	110,1	134,8	147,4	143
<b>CAÍDAS (20°C / 90% HR)</b>					
Aceleración	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
G's	64,65	96,73	120,6	115,1	122,2
<b>RESULTADO:</b>					
<p>Los resultados obtenidos en las caídas muestran que los prototipos de Kenaf P30, ofrecen una buena amortiguación en la primera caída tanto en condiciones ambientales estándar como en condiciones de alta humedad.</p> <p>Analizados los datos obtenidos en las siguientes caídas, se aprecia como el incremento de los valores G's es progresivo, aunque siendo menos acusado con los prototipos acondicionado con alta humedad.</p>					
<b>RESULTADOS ENSAYO DE VIBRACIÓN VERTICAL</b>					
<p>Analizando la respuesta del acelerómetro colocado en la parte superior del producto, se aprecia que el producto entra en resonancia entre 10-15 HZ, llegando a un nivel de transmisibilidad por encima de 2,5. Eso significa que en esa frecuencia concreta el producto está recibiendo unas aceleraciones incrementadas con respecto a la aceleración generada con el shaker.</p>					
<p>Tras la realización del ensayo de vibración no se aprecia ningún daño en el conjunto evaluado y los prototipos Fibra de Kenaf P30 permanecen en buen estado.</p>					

### NIDO ABEJA 15 + KENAF 15

#### RESULTADOS ENSAYO DE CAÍDA



#### CAÍDAS (23°C / 50% HR)

Aceleración	1	2	3	4	5
G's	125,4	168,5	174,0	142,9	103,0

#### CAÍDAS (20°C / 90% HR)

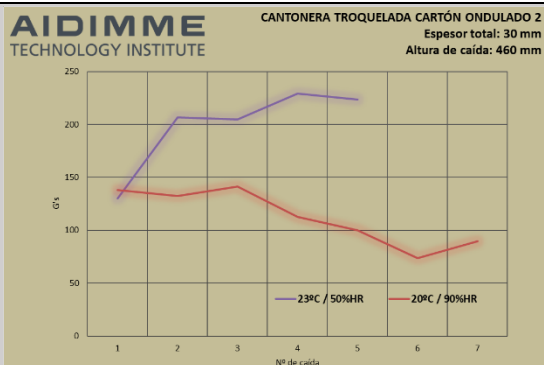
Aceleración	1	2	3	4	5
G's	157,5	111,1	169,4	84,6	112,8

#### RESULTADO:

La capacidad de amortiguación de estos prototipos mejora en condiciones de alta humedad, pero los valores obtenidos indican una excesiva rigidez.

### CANTONERA TROQUELADA CARTÓN ONDULADO 2

#### RESULTADOS ENSAYO DE CAÍDA



#### CAÍDAS (23°C / 50% HR)

Aceleración	1	2	3	4	5
G's	125,4	168,5	174,0	142,9	103,0

#### CAÍDAS (20°C / 90% HR)

Aceleración	1	2	3	4	5
G's	157,5	111,1	169,4	84,6	112,8

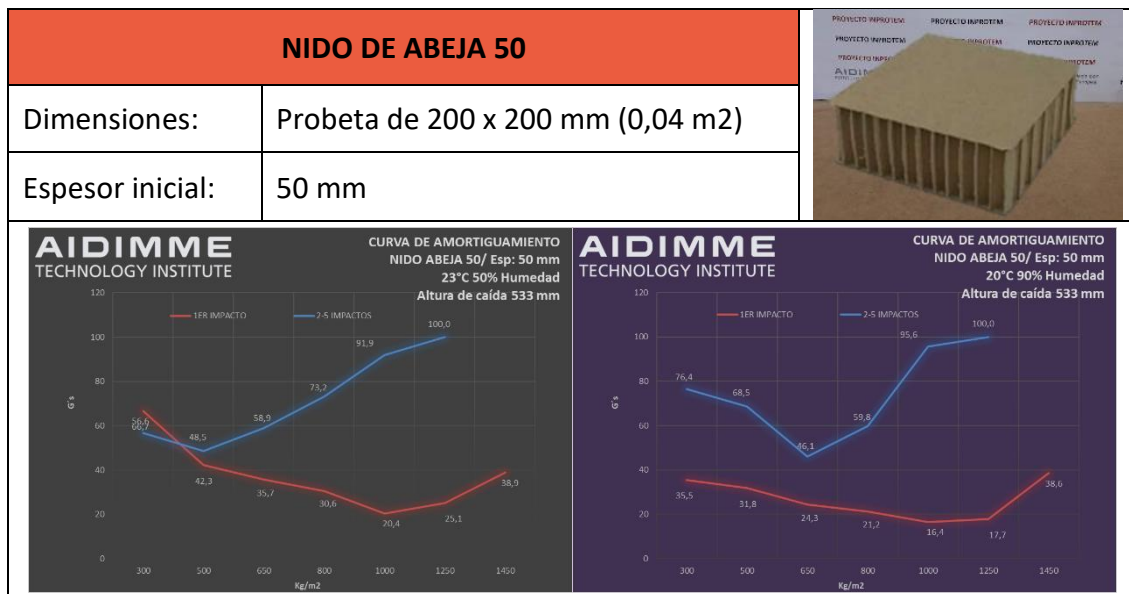
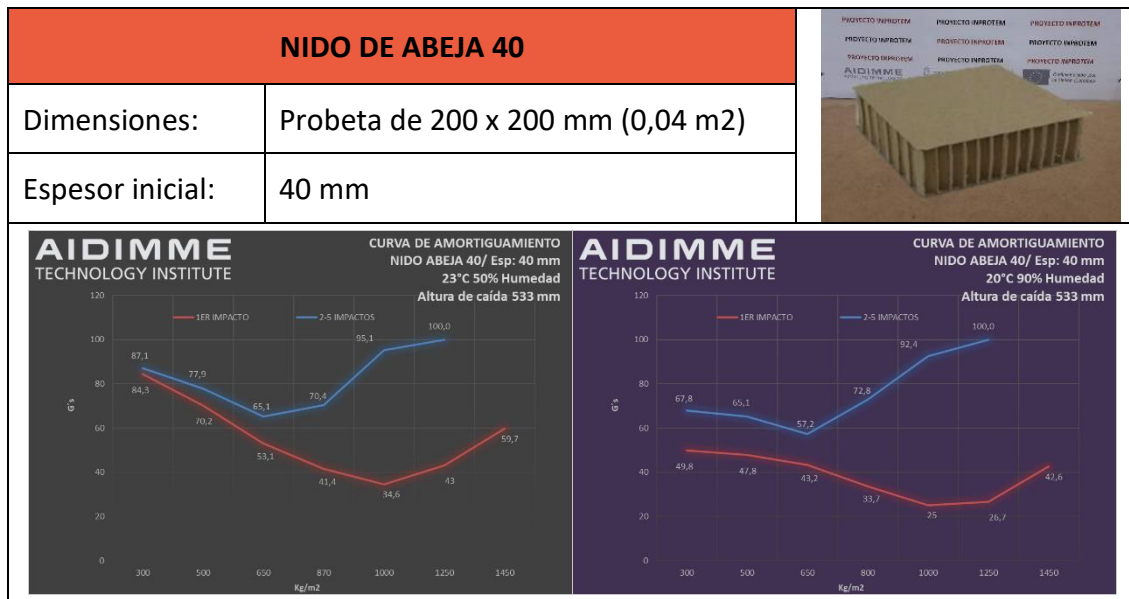
#### RESULTADO:

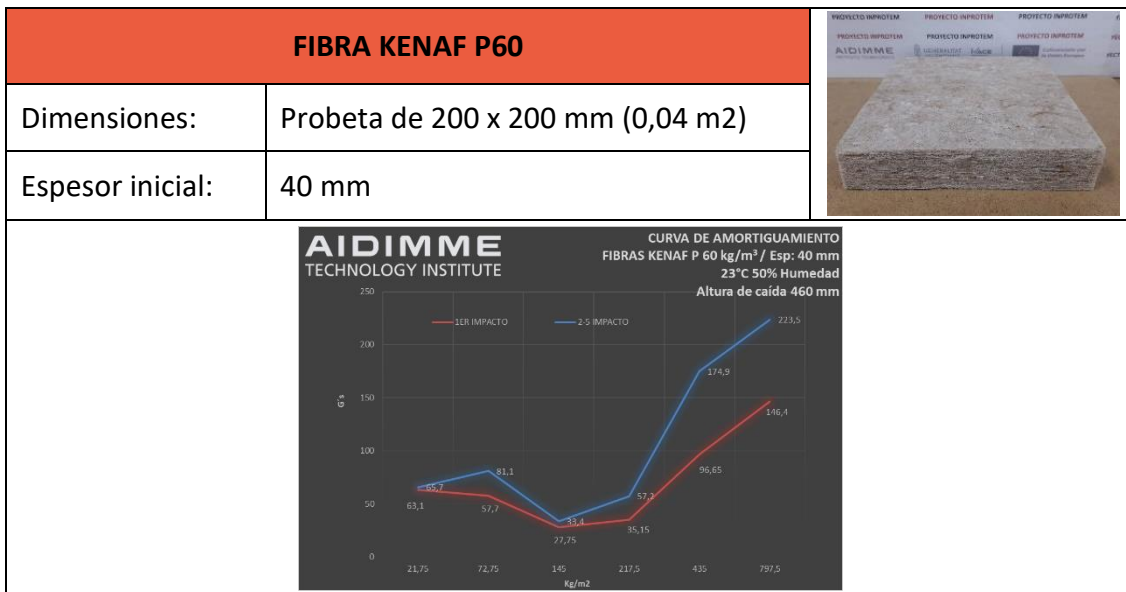
La capacidad de amortiguación de estos prototipos mejora en condiciones de alta humedad y mejora tras las primeras caídas.

Sin embargo, en condiciones ambientales estándar estos prototipos son demasiado rígidos.

## 7 Resultados y conclusiones

Analizando todos los resultados obtenidos y centrándonos inicialmente en la capacidad de amortiguamiento de los materiales analizados, la primera conclusión que se obtiene es que los materiales de espesores superiores a 30 mm., presentan mejores resultados de absorción de impactos tal y como se aprecia en sus curvas de amortiguamiento:

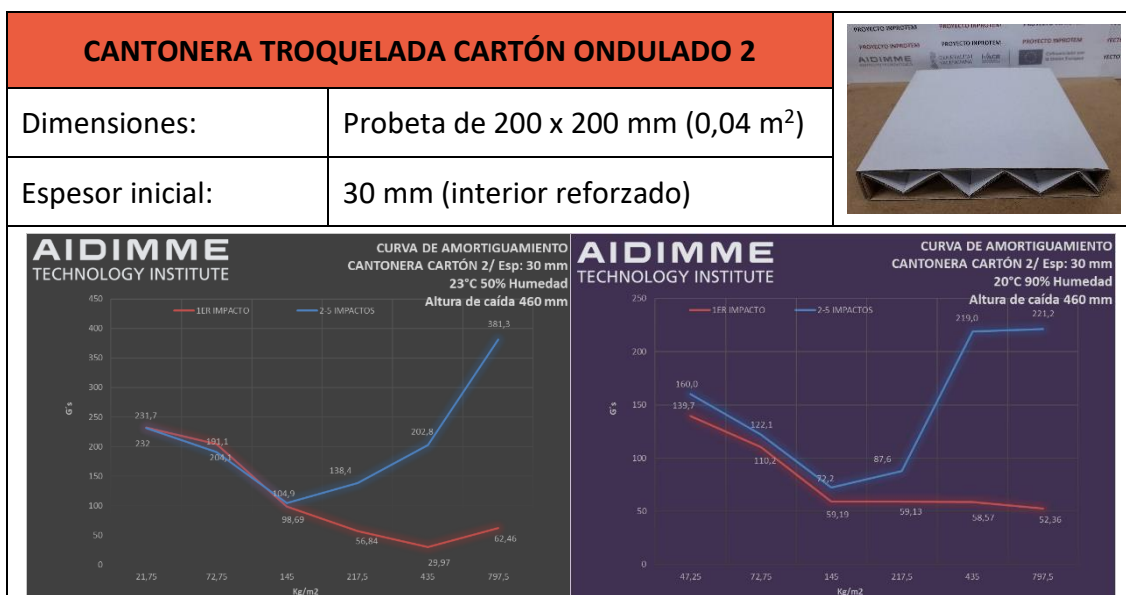


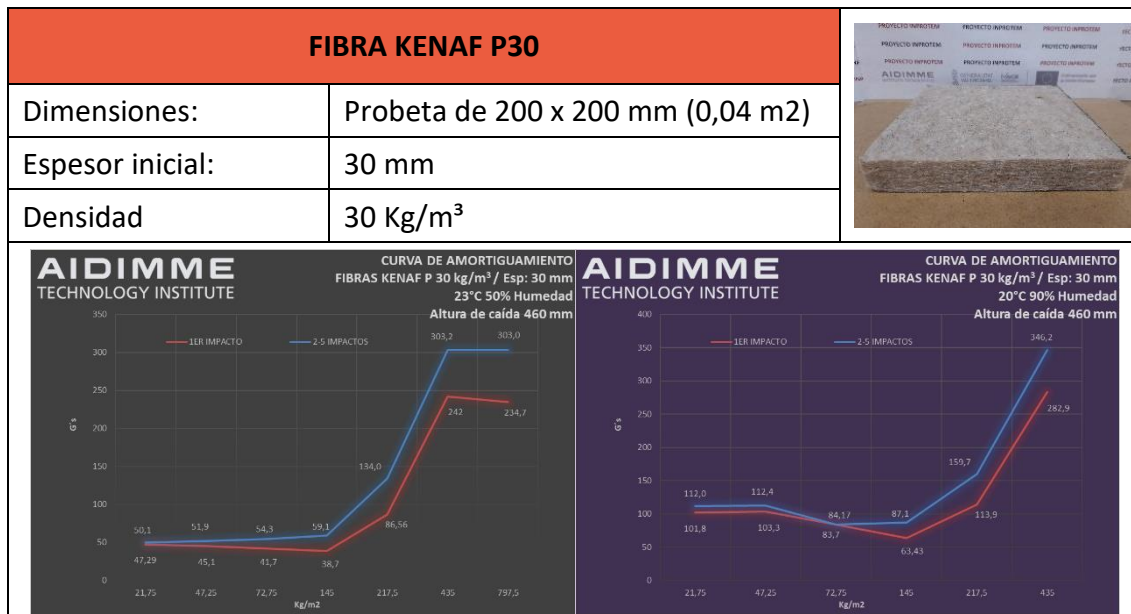


El problema de estos materiales es su difícil aplicación a la hora de diseñar elementos de protección, ya que su utilización aumenta el volumen del sistema de embalaje, lo que implica un aumento de los costes logísticos.

Si tomamos como ejemplo un embalaje estándar de 400 x 300 x 300 mm. Donde un producto está protegido con cantoneras de espesor 30 mm. Y pasamos a utilizar cantonera de 40 mm, el volumen del embalaje para envolver el mismo producto se incrementa en un 20 %.

Por ese motivo se ha centrado el análisis de las siguientes fases del proyecto en materiales de un espesor de 30 mm., de los cuales destacan los siguientes:





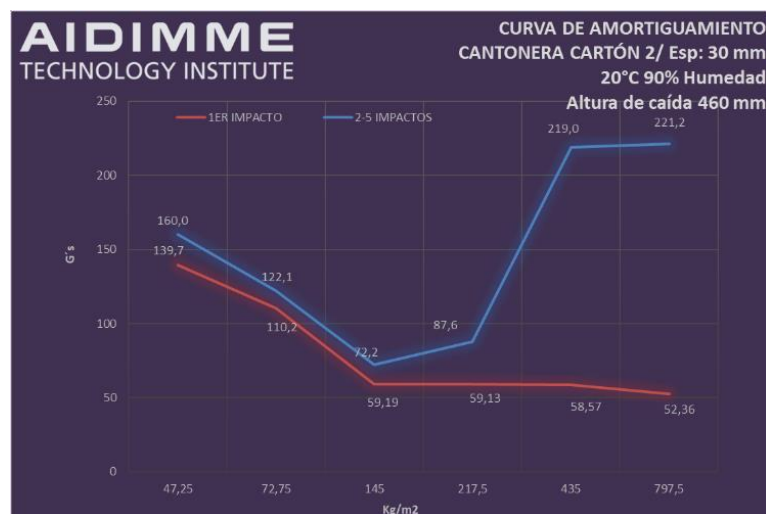
Para analizar los resultados de ambos materiales se debe valorar qué productos son capaces de proteger teniendo en cuenta los diferentes factores de fragilidad de dichos productos, que se muestran en la siguiente tabla:

CLASIFICACIÓN	FACTOR DE FRAGILIDAD	TIPOS DE PRODUCTOS
EXTREMADAMENTE FRÁGILES	15-25 G's	Instrumentos de precisión, vidrio, cerámica.
MUY DELICADOS	25-40 G's	Instrumentos de diagnóstico médico, microscopios,...
FRÁGILES	40-60 G's	Equipos electrónicos, impresoras, .
MODERADAMENTE FRÁGILES	60-85 G's	Ordenadores, monitores, mueble
BASTANTE ROBUSTOS	85-115 G's	Smartphones; tablets; electrodomésticos.
MUY ROBUSTOS	>115 G's	Herramientas

Como se aprecia en las gráficas anteriores, tanto la cantonera de cartón ondulado como la fibra de kenaf P30, pueden llegar a proteger productos moderadamente frágiles, cuyo índice de fragilidad está entre 60 y 85 G's, pero únicamente en algunos rangos de peso y condiciones ambientales concretas.

## 7.1 Análisis de los resultados de la cantonera troquelada de cartón ondulado 2.

Analizando en detalle los resultados se aprecia que la cantonera de cartón ondulado tiene una respuesta muy diferenciada entre el 1<sup>er</sup> impacto y la media del 2<sup>o</sup> al 5<sup>o</sup> impacto.



Los valores obtenidos tras el primer impacto muestran que el material tiene una gran capacidad de amortiguamiento, obteniendo valores por debajo de 60 G's en un rango de productos de entre 5 y 30 kg, sin embargo, en la acumulación de impactos las cantoneras colapsan y los valores de amortiguamiento están por encima de los 115 G's, lo que nos indica que estas cantoneras solo pueden proteger frente a la acumulación de impactos a productos muy robustos.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el 1<sup>er</sup> impacto, en condiciones ambientales de alta humedad, son similares a los obtenidos en condiciones ambientales estándar, lo que nos indica que el diseño de la cantonera consigue minimizar la pérdida de propiedades del cartón ondulado cuando es sometido a ambientes húmedos.

*Con estos resultados se abre una vía para continuar la investigación con esta tipología de muestras, desarrollando y caracterizando diferentes diseños y calidades de cartón ondulado, con el objetivo de conseguir una mejora de su capacidad de absorción de impactos repetitivos.*

## 7.2 Análisis de los resultados de la fibra de kenaf P30

Analizando en detalle los resultados se aprecia que en las muestras de Fibra de kenaf P30, lo primero a destacar es que no hay una gran diferencia entre el 1<sup>er</sup> impacto y la media del 2<sup>o</sup> al 5<sup>o</sup> impacto. Esto nos indica que el material mantiene su capacidad elástica cuando es sometido a varios impactos, lo que supone una ventaja con respecto a otros materiales celulósicos.

Por otro lado, se aprecia una disminución de la amortiguación cuando se somete las muestras a condiciones de alta humedad, llegando en el punto de mayor amortiguación a una diferencia del 39 %.

Los valores obtenidos nos indican que este material en condiciones ambientales estándar es capaz de absorber impactos repetitivos y proteger productos frágiles de hasta 5 kg.

En condiciones ambientales de alta humedad, este material es capaz de absorber impactos repetitivos y proteger productos moderadamente frágiles de hasta 5 kg.

*Con estos resultados se abre una vía para continuar la investigación con este material, con el objeto de minimizar su pérdida de capacidad amortiguadora en condiciones ambientales de alta humedad.*

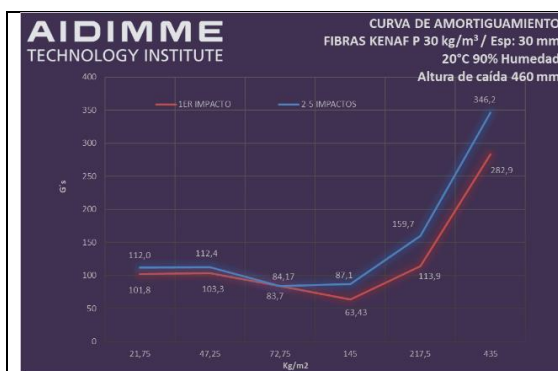
## 7.3 Análisis de la Validación de los sistemas de embalaje diseñados con el protocolo de evaluación establecido

La primera conclusión que podemos obtener es que la muestra de **cantonera troquelada de cartón ondulado 2**, ha resultado ser muy rígida para conseguir amortiguar los impactos sufridos por el producto tipo durante los ensayos de caída. Y aunque es cierto que la capacidad de amortiguación de estos prototipos mejora en condiciones de alta humedad y mejora tras las primeras caídas, los valores obtenidos siguen siendo muy elevados.

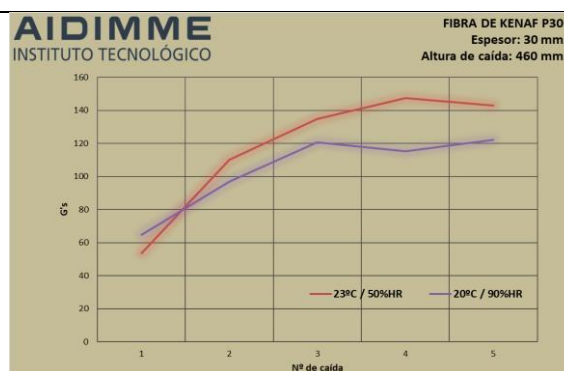
*Con estos resultados se abre una vía para continuar la investigación, desarrollando diferentes diseños de cantoneras con diferentes calidades de cartón ondulado, con el objetivo de conseguir aumentar la elasticidad del conjunto.*

En cuanto a las muestras de **fibra de Kenaf P30**, se encuentra una correlación entre los resultados obtenidos en la curva de amortiguamiento del primer impacto, para una carga estática de 145 kg/m<sup>2</sup>, que equivale a una masa de 5,8 Kg y los resultados

obtenidos en la primera caída del ensayo de caída libre realizado con el producto tipo de 5,8 kg de peso.



Curva de amortiguamiento a 20°C 90 %



Curva de amortiguamiento a 23°C 50 %

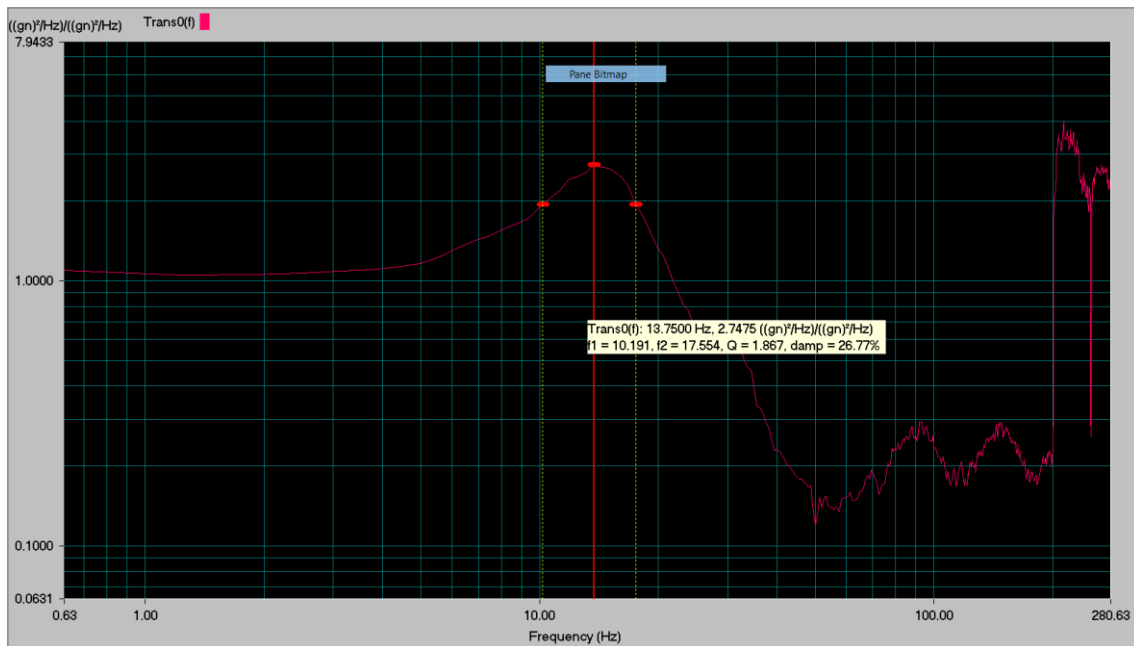
**Acondicionamiento 20°C / 90% HR (KENAF 30)**

	Primera caída Producto tipo	Carga estática 140 kg/m <sup>2</sup>
Aceleración G's	64,65	63,43

*Este resultado nos abre una vía para continuar la investigación y poder llegar a obtener una correlación entre los valores teóricos obtenidos en las curvas de amortiguamiento de los diferentes materiales y los valores de aceleración obtenidos con un ensayo de caída libre utilizando dichos materiales dentro de un sistema de embalaje final.*

En cuanto a los resultados obtenidos en los ensayos de vibración, no se ha obtenido valores concluyentes que nos muestren una correlación entre los valores obtenidos en las curvas de amortiguamiento y las aceleraciones obtenidas en el espectro de vibración aplicado.

Lo único reseñable es que, tras el análisis de la respuesta del acelerómetro colocado en la parte superior del producto, se aprecia que el producto entra en resonancia a los 13,7 HZ, llegando a un nivel de transmisibilidad por encima de 2,75, como se aprecia en la siguiente gráfica.



Eso significa que en esa frecuencia de 13,75 Hz el producto está recibiendo unas aceleraciones incrementadas con respecto a la aceleración generada con el shaker.

Sería necesario realizar un estudio vibracional completo, con la inclusión de diferentes parámetros, para poder determinar qué material de amortiguación podría ser capaz de absorber o minimizar las distintas resonancias propias de determinados productos.

# **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](mailto:aidimme@aidimme.es)

[www.aidimme.es](http://www.aidimme.es)