



“ECODAMPING”

CARACTERIZACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AMORTIGUACIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES, PARA SU UTILIZACIÓN EN SISTEMAS DE EMBALAJE TECNICOS

INFORME DE RESULTADOS

Número de proyecto: 22200009

Expediente: IMAMCA/2022/2

Duración: Del 01/01/2022 al 31/12/2022

Coordinado en AIDIMME por: SÁNCHEZ LÓPEZ, FRANCISCO JOSÉ

Línea de I+D: SISTEMAS DE EMBALAJE



“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

ÍNDICE

1. Introducción y objetivos del proyecto.	4
2. Actividades realizadas.	5
3. Alcance y público objetivo.	6
4. Desarrollo del trabajo.	7
4.1. Búsqueda de materiales sostenibles y clasificación de su viabilidad técnica.	8
4.2. Selección de los materiales con mejores características técnicas previas.	10
4.3. Caracterización técnica de los materiales seleccionados.	13
4.3.1. Construcción de una curva de amortiguamiento	14
4.3.2. Descripción del método de ensayo, ASTM: 1596 - 14 (2021)	15
4.3.3. Resultados obtenidos para los materiales sostenibles	16
5. Resultados obtenidos. Conclusiones.	28

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Búsqueda materiales sostenibles	9
Tabla 2. Selección de materiales sostenibles a ensayar	12
Tabla 3. Resultados Cantonera cartón ondulado	16
Tabla 4. Resultados Cartón ondulado troquelado	17
Tabla 5. Resultados Cartón flauta	18
Tabla 6. Resultados Nido de Abeja 1	19
Tabla 7. Resultados Nido de Abeja 2	20
Tabla 8. Resultados Nido de Abeja 3	21
Tabla 9. Resultados Nido de Abeja 4	22
Tabla 10. Resultados Luffa	23
Tabla 11. Resultados Filtro Industrial Blando	24
Tabla 12. Resultados Filtro Industrial Duro	25
Tabla 13. Resultados Isolkenaf P 30 kg	26
Tabla 14. Resultados Isolkenaf P 60 kg	27
Tabla 15. Factores de Fragilidad	28
Tabla 16. Resultados Cantonera cartón (60 G's)	29
Tabla 17. Resultados Cartón troquelado (60 G's)	
Tabla 18. Resultados Cartón Flauta (60 G's)	30
Tabla 19. Resultados Nido Abeja 1 (60 G's)	
Tabla 20. Resultados Nido Abeja 2 (60 G's)	30
Tabla 21. Resultados Nido Abeja 3 (60 G's)	

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

Tabla 22. Resultados Nido Abeja 4 (60 G's)	Tabla 23. Resultados Luffa (60 G's).....	30
Tabla 24. Resultados Isolkenaf P30 kg (60 G's)	Tabla 25. Resultados Isolkenaf P60 kg (60 G's)....	31
Tabla 27. Resultados Cartón troquelado (100 G's)	Tabla 28. Resultados Cartón Flauta(100 G's)	31
Tabla 29. Resultados Nido Abeja 1 (100 G's)	Tabla 30. Resultados Nido Abeja 2 (100 G's)	32
Tabla 26. Resultados Cantonera cartón (100 G's)		32
Tabla 31. Resultados Nido Abeja 3 (100 G's)	Tabla 32. Resultados Nido Abeja 4 (100 G's).....	32
Tabla 33. Resultados Luffa (100 G's).....		33
Tabla 34. Resultados Isolkenaf P30 kg (100 G's)	Tabla 35. Resultados Isolkenaf P60 kg (100 G's)..	33



“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

1. Introducción y objetivos del proyecto.

La búsqueda de materiales sostenibles con capacidad de amortiguación es actualmente un objetivo clave para reducir el impacto ambiental de los embalajes técnicos de protección. Para dar respuesta a esta demanda del mercado, se ha llevado a cabo una investigación cuyo primer paso ha sido identificar materiales que cumplan con estos requisitos.

Una primera clasificación teórica de los materiales identificados ha permitido seleccionar aquellos que presentan las mejores características técnicas, así como una estructura y morfología adecuadas para su uso como materiales de protección en sistemas de embalaje.

La posterior caracterización técnica de estos materiales seleccionados ha sido fundamental para establecer su capacidad amortiguadora. Esta evaluación numérica ha permitido comparar los nuevos materiales sostenibles con los materiales de amortiguamiento tradicionales, la mayoría de los cuales son materiales plásticos.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Establecer una búsqueda y clasificación de materiales sostenibles que puedan presentar capacidad de amortiguación para su uso como sistemas de embalaje de protección.
- Caracterización de los materiales seleccionados, para establecer su capacidad amortiguadora, frente a los materiales de protección habituales.

El objetivo del proyecto ECODAMPING ha sido realizar una clasificación de materiales sostenibles con capacidad de sustituir a los materiales de amortiguación convencionales. La mayoría de estos materiales convencionales son materiales derivados del petróleo y por lo tanto con un impacto en el medioambiente superior a otros materiales sostenibles.

A continuación, y una vez clasificados y seleccionados los materiales sostenibles, se ha llevado a cabo su caracterización técnica.

Dicha caracterización se ha concretado estudiando la capacidad de amortiguación de estos materiales, mediante la realización de ensayos de impactos controlados. Este método nos ha proporcionado unas curvas de amortiguamiento que nos han permitido establecer de forma teórica la capacidad de protección que ofrece cada material.

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

2. Actividades realizadas.

- Búsqueda de materiales sostenibles con capacidad de amortiguación.
- Clasificación a nivel teórico de su viabilidad técnica para su uso como materiales de protección en sistemas de embalaje técnicos.
- Selección de los materiales con mejores características técnicas y que, además, a nivel estructural y morfológico, permiten su uso como materiales de protección de sistemas de embalaje.
- Caracterización técnica de los materiales seleccionados, que nos ha permitido establecer numéricamente su capacidad amortiguadora.
- Comparativa entre los materiales sostenibles y los materiales de amortiguamiento tradicionales, que en su mayoría son materiales plásticos.

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

3. Alcance y público objetivo.

El presente proyecto parte del estudio de materiales celulósicos que se utilizan actualmente como materiales de protección, cuyo principal exponente es el nido de abeja y se extiende a cualquier material de origen sostenible con capacidad para proteger a los productos, como parte de un sistema de embalaje técnico.

La búsqueda y selección de materiales sostenibles con capacidad de amortiguación es un paso importante hacia la sostenibilidad en los embalajes de protección. La caracterización técnica de estos materiales ha permitido demostrar su viabilidad técnica para su uso en sistemas de embalaje, lo que representa una gran oportunidad para reducir el impacto ambiental de los sistemas de embalaje técnicos y avanzar hacia una economía circular.

Por ese motivo se ha realizado una búsqueda de materiales sostenibles con capacidad amortiguadora y posteriormente se ha llevado a cabo una primera clasificación a nivel teórico de su viabilidad técnica para su uso como sistemas de embalaje de protección.

En una segunda fase se han seleccionado los materiales que presentaban las mejores características técnicas y que permitían su uso como materiales de protección de sistemas de embalaje.

Y como finalización del proyecto se han caracterizado técnicamente los materiales seleccionados, a partir de lo cual se ha realizado una clasificación numérica de la capacidad protección de cada material.

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.

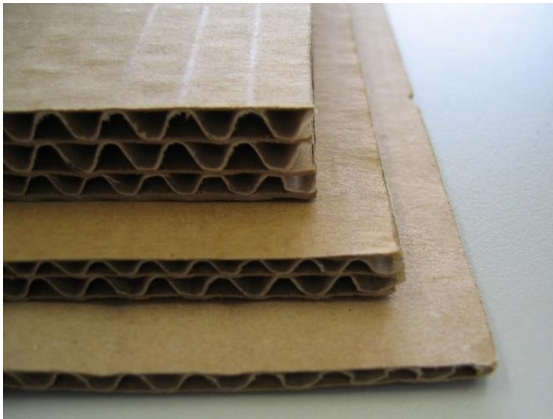
Público Objetivo
Fabricantes de materiales de embalaje
Fabricantes de materiales alternativos
Empresas usuarias de embalajes técnicos

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

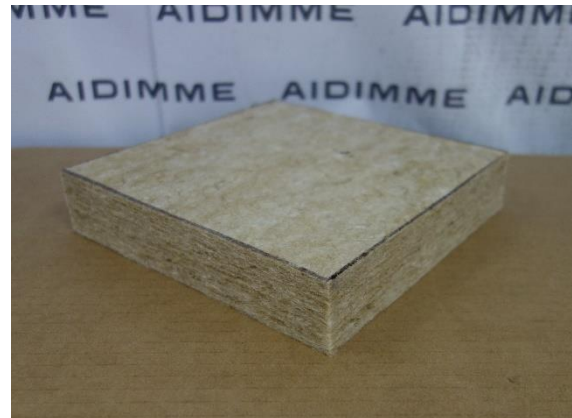
4. Desarrollo del trabajo.

En primer lugar se ha realizado una búsqueda técnica de materiales sostenibles desde un punto de vista medioambiental, que pudieran aportar cierta capacidad de amortiguación, considerada a priori suficiente, para poder ser utilizados como elementos de protección durante uno o varios ciclos de distribución.

En esta búsqueda se han seleccionado tanto materiales existentes, cuya funcionalidad principal es su función de material de embalaje, como materiales cuya funcionalidad original no es la de proteger un producto, si no realizar funciones de aislamiento térmico o acústico pero que por sus características técnicas pudieran ofrecer unos resultados aceptables en una futura aplicación como elementos de protección/embalaje. (ver apartado 4.1).



Fotografía 1. Cartón ondulado



Fotografía 2. Fibra de Kenaf

A continuación, en el apartado 4.2 se adjunta una tabla con los materiales seleccionados en primera instancia. De entre estos materiales se ha tenido en cuenta aquellos que pudieran ser capaces de soportar varios impactos, así como su capacidad para formar esquineras y cantoneras que pudieran ser de aplicación como elemento de embalaje.

Posteriormente se ha realizado una selección de los materiales con las mejores características técnicas y que adicionalmente fueran productos comercializados en el mercado actual de forma que su aplicación final fuera viable.

La siguiente fase ha consistido en la adecuación y aplicación de una metodología de evaluación, cuyo resultado final fuera la caracterización técnica de los materiales seleccionados. Para ello se han utilizado un mínimo de 5 probetas de cada uno de los materiales seleccionados.

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

4.1. Búsqueda de materiales sostenibles y clasificación de su viabilidad técnica.

Como se ha comentado anteriormente se han buscado materiales ya existentes en el mercado, ya que el objeto de esta investigación no es desarrollar nuevos materiales, sino buscar una nueva aplicación a materiales ya existentes. Muchos de ellos son materiales que se utilizan como aislantes térmicos y acústicos, sin embargo y tras realizar su caracterización técnica hemos comprobado que algunos podrían tener un nuevo campo de aplicación en el sector del embalaje como materiales de amortiguación.

A continuación, se muestra una tabla con una relación detallada de materiales sostenibles:

#	Denominación Material	Foto	Composición / Tipo	Capacidad soportar varios impactos	Capacidad formar esquinas y cantoneras	Disponibilidad de Muestras
1	Cartón ondulado		Fibras de celulosa	SI	SI	X
2	Nido de Abeja		Fibras de celulosa	SI	SI	X
3	Heno		Es hierba de gramíneas o de leguminosas, cortada y seca.	SI	NO	-
4	Cáñamo		El cáñamo se considera la fibra textil de origen vegetal más larga, suave y resistente.	SI	SI	X
5	Micelio de hongos		Micelio de Hongos y desechos agrícolas	SI	SI	-

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

#	Denominación Material	Foto	Composición / Tipo	Capacidad soportar varios impactos	Capacidad formar esquinas y cantoneras	Disponibilidad de Muestras
6	Palomitas maíz		Maíz	NO	Necesita bolsa o contenedor	-
7	Fibra de coco		Fibras de cascara de Coco	SI	SI	-
8	LUFFA		La luffa es una planta de la familia de las cucurbitáceas (cucurbitaceae)	SI	SI	X
9	Látex de caucho natural		Lactae Hevea	SI	SI	-
10	Aislante de celulosa / algodón / lana		Estructuras textiles compuestas por fibras enclavijadas	SI	SI	X
11	Fibra de KENAF		Es una planta fibrosa parecida al cáñamo y al yute	SI	SI	X
12	Corcho negro		Corteza alcornoque Densidad de 120 kg/m ³ .	Sí	Sí	X



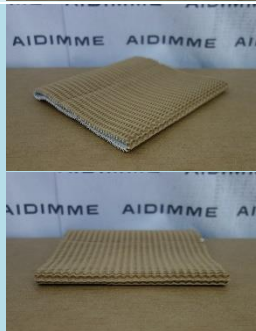
Tabla 1. Materiales sostenibles. Búsqueda inicial.

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos






4.2. Selección de los materiales con mejores características técnicas previas.

En esta fase se ha llevado a cabo un análisis de la viabilidad técnica de los materiales de la tabla 1 y se han descartado aquellos que no podrían cumplir el objetivo establecido, debido principalmente a que su morfología no permitía construir un producto apto para formar parte de un sistema de embalaje.

En la siguiente tabla se detallan los diferentes materiales seleccionados, así como su nombre comercial en el caso de las muestras obtenidas para poder llevar a cabo la caracterización técnica.

#	Denominación Material	Foto	Nombre comercial	Nº Muestras disponibles	Espesor (mm)	Densidad
1	Cartón ondulado. Cantenera troquelada.		Fibras de celulosa. Protector de cartón ondulado doble cara.	7	30 mm	-
2	Cartón ondulado. Cartón troquelado.		Fibras de celulosa. Malla de cartón ondulado para relleno.	5	30 mm	-
3	Cartón ondulado multicapa. Cartón flauta		Fibras de celulosa. Cartón elástico tubular	4	21 mm	-

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

#	Denominación Material	Foto	Nombre comercial	Nº Muestras disponibles	Espesor (mm)	Densidad
4	Nido de Abeja		Fibras de celulosa	7	15 mm	-
5	Nido de Abeja		Fibras de celulosa	4	20 mm	-
6	Nido de Abeja		Fibras de celulosa	7	40 mm	-
7	Nido de Abeja		Fibras de celulosa	7	50 mm	-
8	“Esponja” vegetal Luffa		Ibérica de esponjas vegetales	5	40 mm	-
9	Fieltro industrial		FIELTRO BLANCO BLANDO M1 (C200)	6	20 mm	0,19gr/cm ³

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

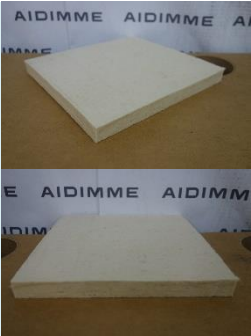
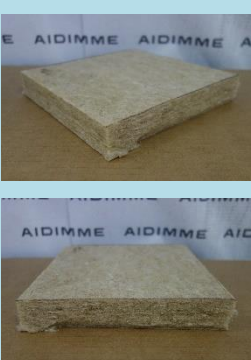
#	Denominación Material	Foto	Nombre comercial	Nº Muestras disponibles	Espesor (mm)	Densidad
10	Fieltro industrial		PIEZA FIELTRO DURO 1 F3	6	20 mm	0,4gr/cm ³
11	Panel aislante ISOLKENAF P 30 kg		Panel aislante ecológico de fibra de Kenaf, de 30 mm de espesor y densidad 30kg/m ³ .	7	30 mm	30kg/m ³
12	Panel aislante ISOLKENAF P 60 kg		Panel aislante ecológico de fibra de Kenaf, de 40 mm de espesor y densidad 60kg/m ³ .	7	40 mm	60kg/m ³

Tabla 2. Selección de materiales sostenibles a ensayar

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

4.3. Caracterización técnica de los materiales seleccionados.

Para llevar a cabo la caracterización técnica de los materiales seleccionados, se aplica una metodología de análisis según la norma de métodos de ensayos, ASTM: 1596 – 14 (2021), *Standard Test Method for Dynamic Shock Cushioning Characteristics of Packaging Material*.

Con la aplicación de 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:

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

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

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

4.3.1. 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.

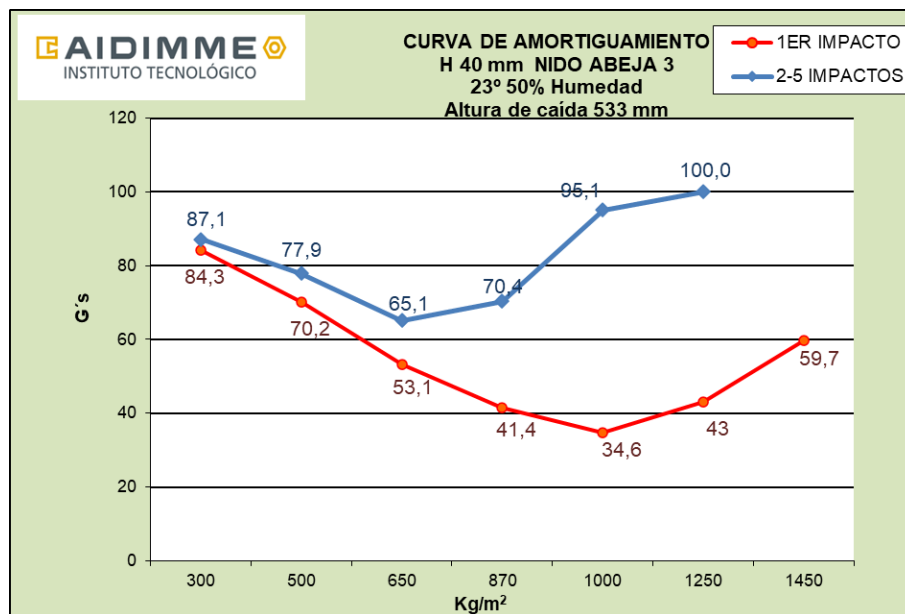


Tabla 3. Curva de amortiguamiento obtenida en el proyecto.

La interpretación de las curvas de amortiguamiento es la siguiente:

1º 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.

2º En el eje horizontal tenemos la categoría de *carga estática* (ver apartado 4.3.), 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.

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

Los ensayos se han realizado sobre diferentes muestras de materiales sostenibles, de espesores comprendidos entre 15 y 40 mm, y en unas condiciones de 23°C de temperatura y 50% de humedad relativa. Los impactos se han realizado desde una altura de caída de 460 mm., que es una altura equivalente a una posible caída de un embalaje durante su manipulación manual.

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.

4.3.2. 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	Varios materiales sostenibles (<i>ver tabla de muestras seleccionadas</i>). Espesores: 15 mm; 20 mm; 30 mm; 40 mm; 50 mm.
EQUIPOS	Cámara climática, Heraeus T10653. Máquina de amortiguamiento, Lansmont PDT-23.
ACONDICIONAMIENTO	23º Tª y 50% HR (24 h previas).
ALTURA DE CAÍDA	460 mm. Según la norma ASTM 4169.
SERIES DE CAÍDAS	1er impacto. Media del 2º al 5º impactos.

Tabla 4. Metodología de evaluación

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

4.3.3. Resultados obtenidos para los materiales sostenibles

A continuación, se adjuntan los resultados obtenidos para cada una de las muestras ensayadas, así como sus gráficos de curvas de amortiguamiento:

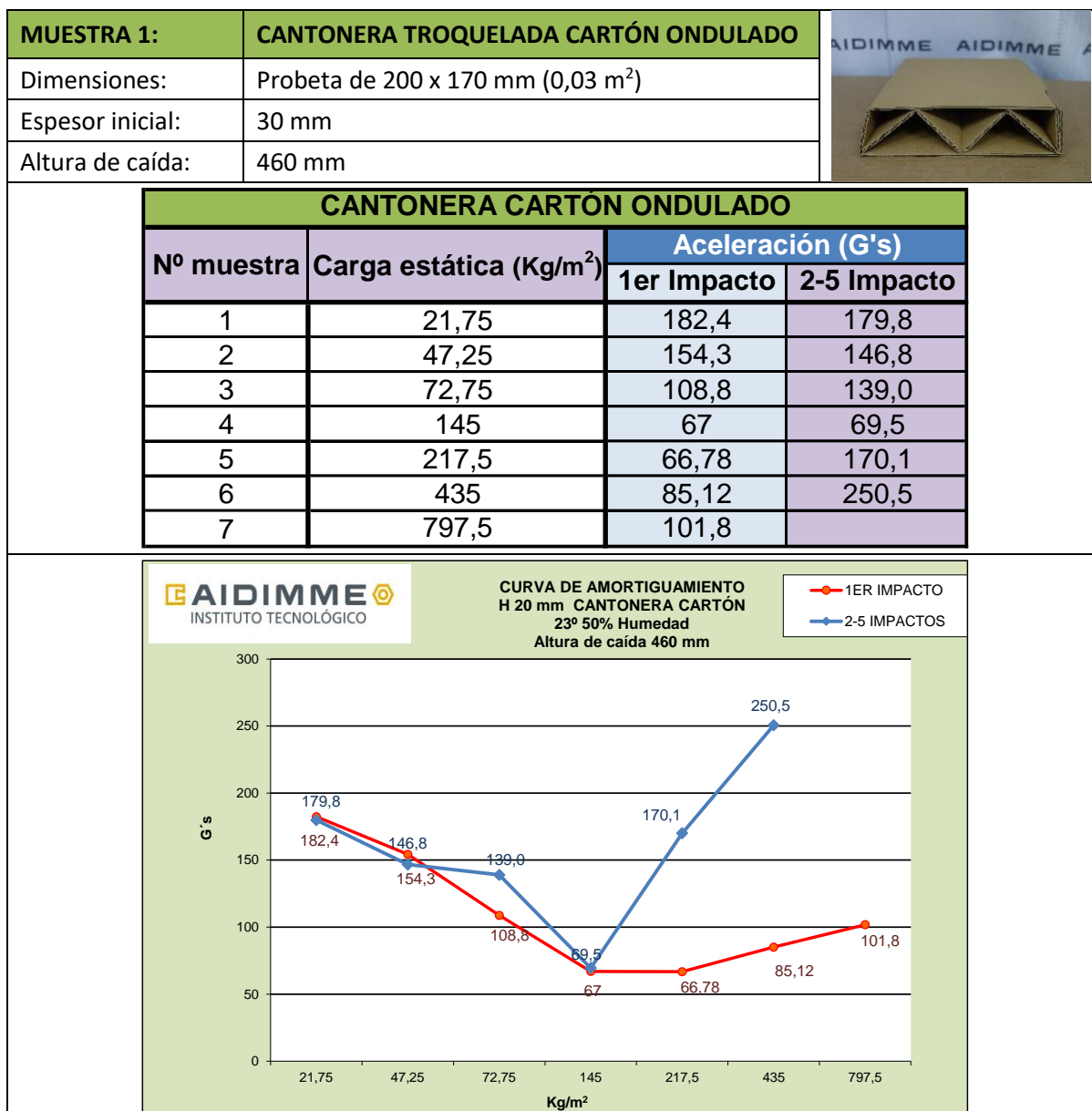



Tabla 5. Resultados Cantonera cartón ondulado

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 2:	CARTÓN ONDULADO TROQUELADO	
Dimensiones:	Probeta de 200 x 200 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	30 mm	
Altura de caída:	460 mm	

CARTON TROQUELADO			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	21,75	123,5	130,4
2	47,25	147,3	206,4
3	72,75	115,9	194,4
4	145	61,79	103,6
5	217,5	280,8	

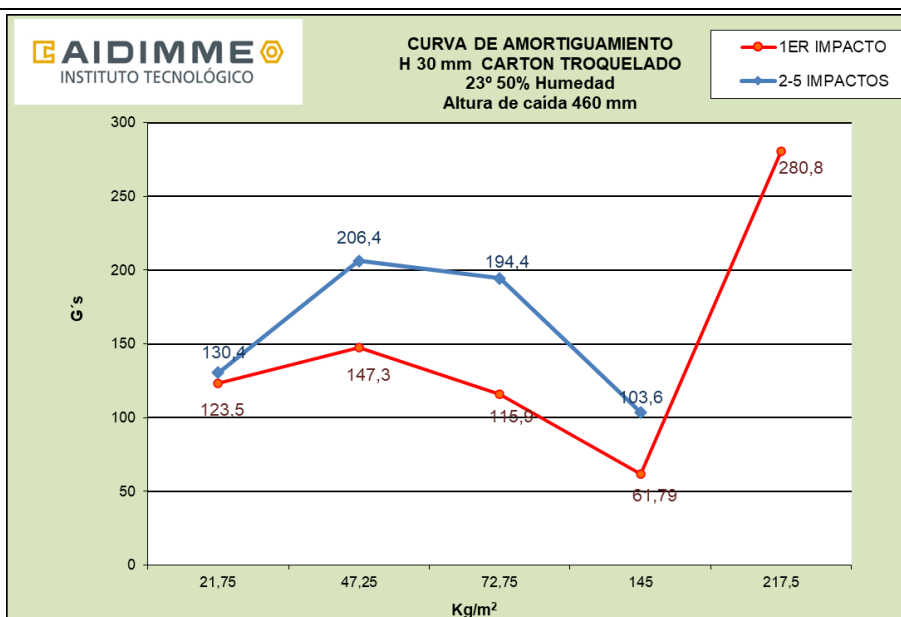



Tabla 6. Resultados Cartón ondulado troquelado

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 3:	CARTÓN FLAUTA	
Dimensiones:	Probeta de 203 x 190 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	21 mm	
Altura de caída:	460 mm	

CARTON FLAUTA			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	21,75	448,5	751,8
2	47,25	418,6	845,7
3	72,75	397,7	935,2
4	145	175,5	203,3

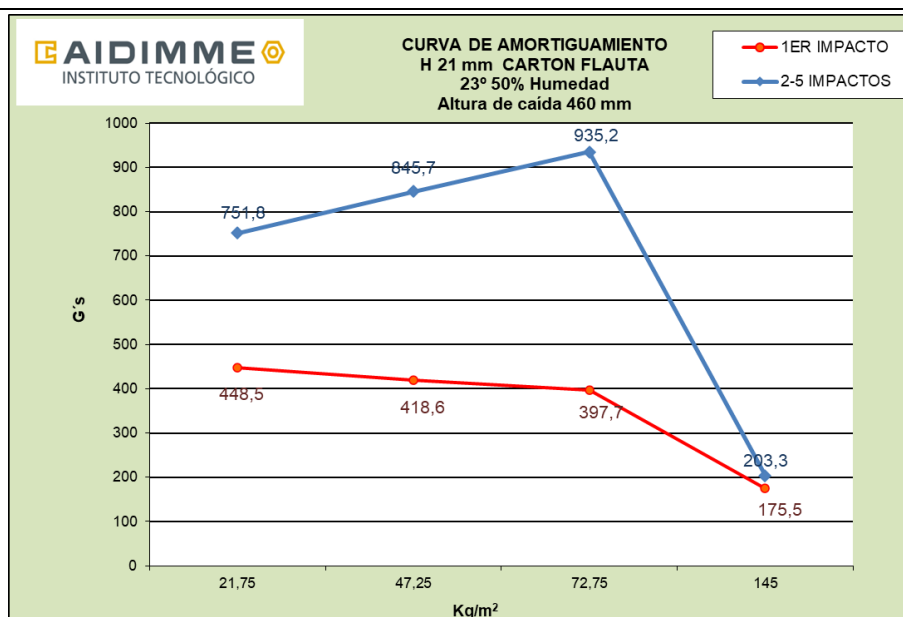



Tabla 7. Resultados Cartón flauta

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 4:	NIDO DE ABEJA 1	
Dimensiones:	Probeta de 200 x 200 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	15 mm	
Altura de caída:	460 mm	

NIDO ABEJA 1			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	21,75	712,2	575,2
2	47,25	597,2	412,6
3	72,75	461,9	364,8
4	145	292,6	210,1
5	217,5	184,8	184,9
6	435	157,3	274,7
7	797,5	69,97	284,7

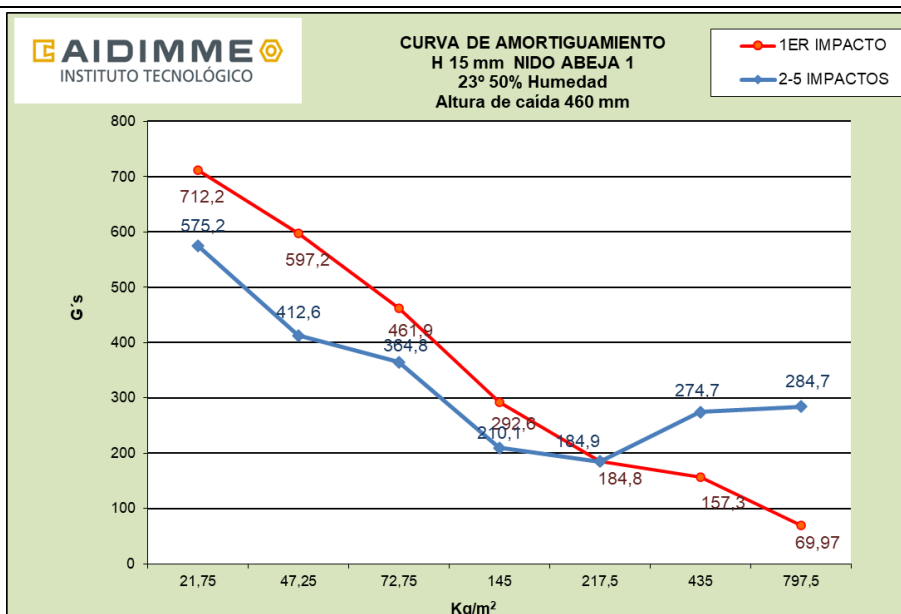
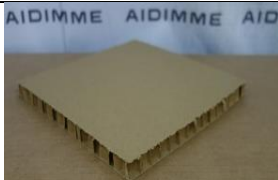


Tabla 8. Resultados Nido de Abeja 1

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 5:	NIDO DE ABEJA 2	
Dimensiones:	Probeta de 200 x 200 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	20 mm	
Altura de caída:	460 mm	

NIDO 2			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	145	258,6	168,4
2	217,5	171,1	136,4
3	435	232,5	197,8
4	797,5	52,42	270,1

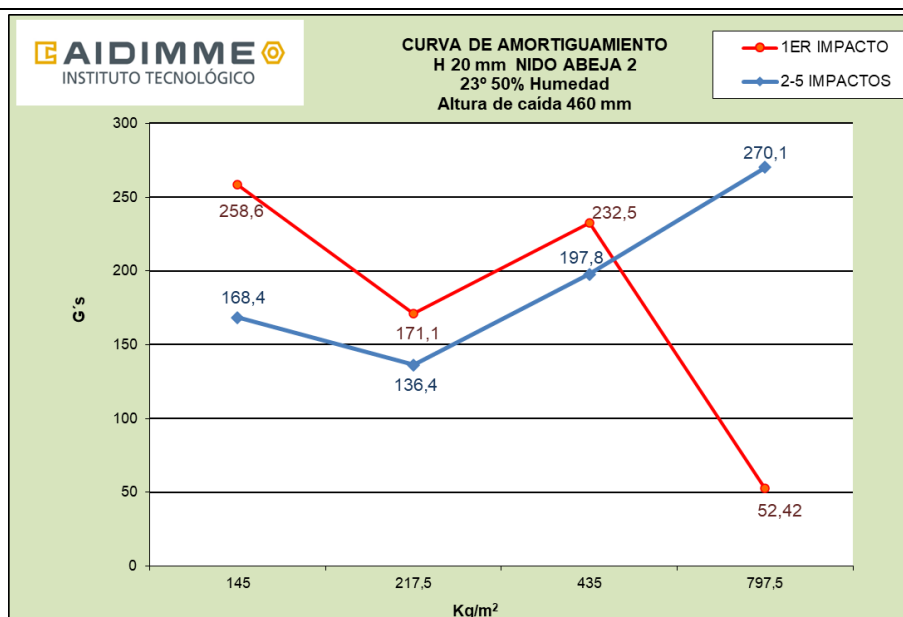



Tabla 9. Resultados Nido de Abeja 2

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 6:	NIDO DE ABEJA 3	
Dimensiones:	Probeta de 200 x 200 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	40 mm	
Altura de caída:	533 mm	

NIDO 3			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	300	84,3	87,1
2	500	70,2	77,9
3	650	53,1	65,1
4	870	41,4	70,4
5	1000	34,6	95,1
6	1250	43	100,0
7	1450	59,7	

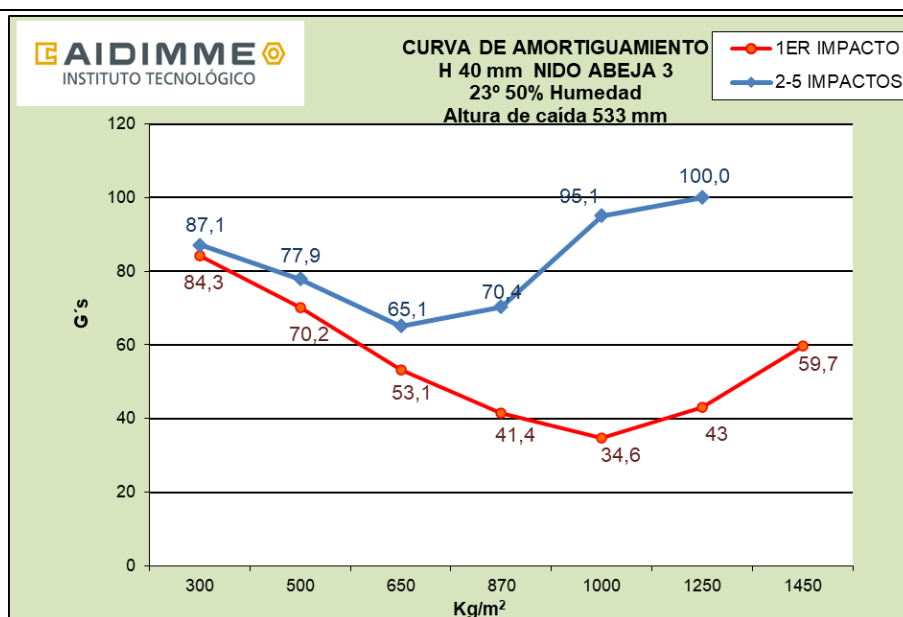



Tabla 10. Resultados Nido de Abeja 3

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 7:	NIDO DE ABEJA 4	
Dimensiones:	Probeta de 200 x 200 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	50 mm	
Altura de caída:	533 mm	

NIDO 4			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	300	66,7	56,6
2	500	42,3	48,5
3	650	35,7	58,9
4	800	30,6	73,2
5	1000	20,4	91,9
6	1250	25,1	100,0
7	1450	38,9	

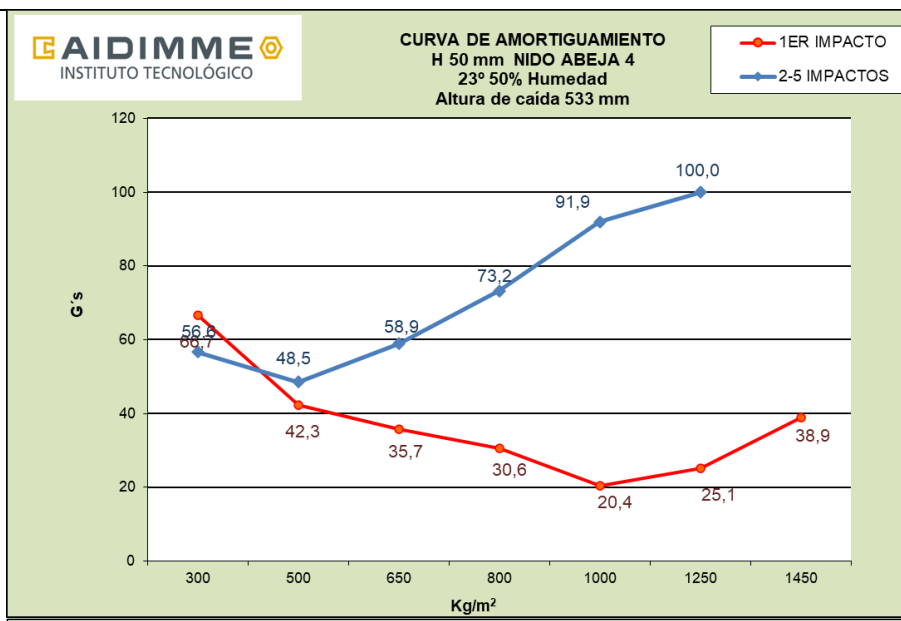



Tabla 11. Resultados Nido de Abeja 4

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 8:	LUFFA	
Dimensiones:	Probeta de 200 x 200 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	40 mm	
Altura de caída:	460 mm	

LUFA			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	21,75	43,55	49,6
2	47,25	51,8	77,0
3	72,75	68,14	143,6
4	145	102,5	162,2
5	217,5	189,2	333,7

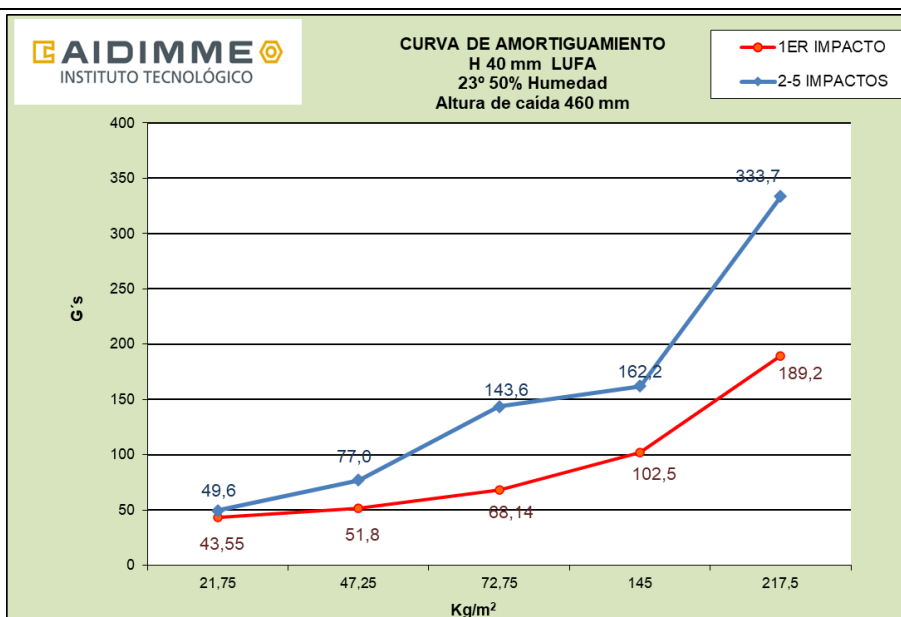



Tabla 12. Resultados Luffa

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 9:	FIELTRO INDUSTRIAL BLANDO	
Dimensiones:	Probeta de 200 x 200 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	20 mm	
Densidad	0,19gr/cm ³	
Altura de caída:	460 mm	

Filtro Blando			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	21,75	159,8	159,7
2	47,25	188,3	180,1
3	72,75	203,4	188,2
4	145	101,1	92,9
5	217,5	106,2	130,2
6	435	159,4	168,5

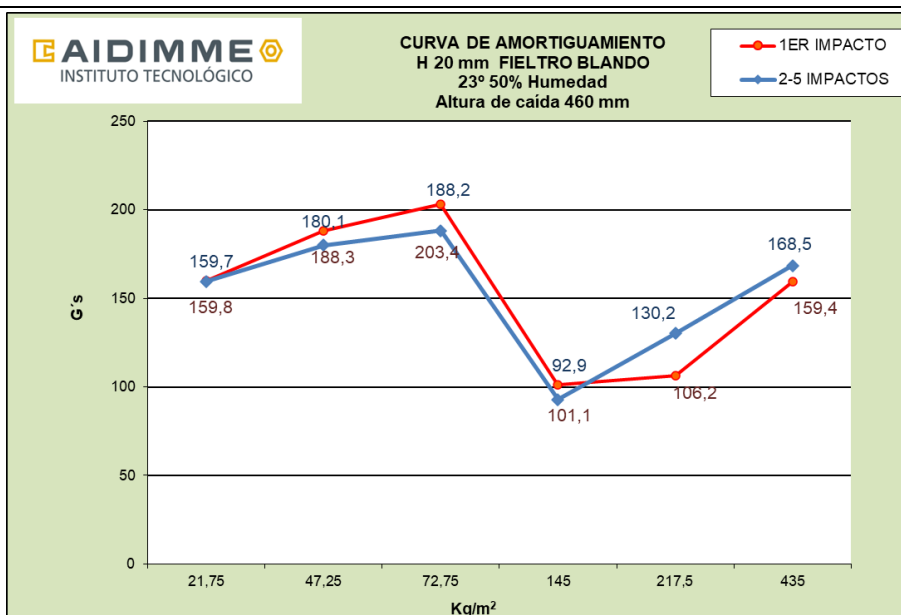



Tabla 13. Resultados Filtro Industrial Blando

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 10:	FIELTRO INDUSTRIAL DURO	
Dimensiones:	Probeta de 200 x 200 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	20 mm	
Densidad	0,39gr/cm ³	
Altura de caída:	460 mm	

Filtro Duro			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	21,75	265,7	277,6
2	47,25	271,6	272,7
3	72,75	74,74	124,5
4	145	243,3	256,1
5	217,5	285,7	274,7
6	435	241,2	256,8

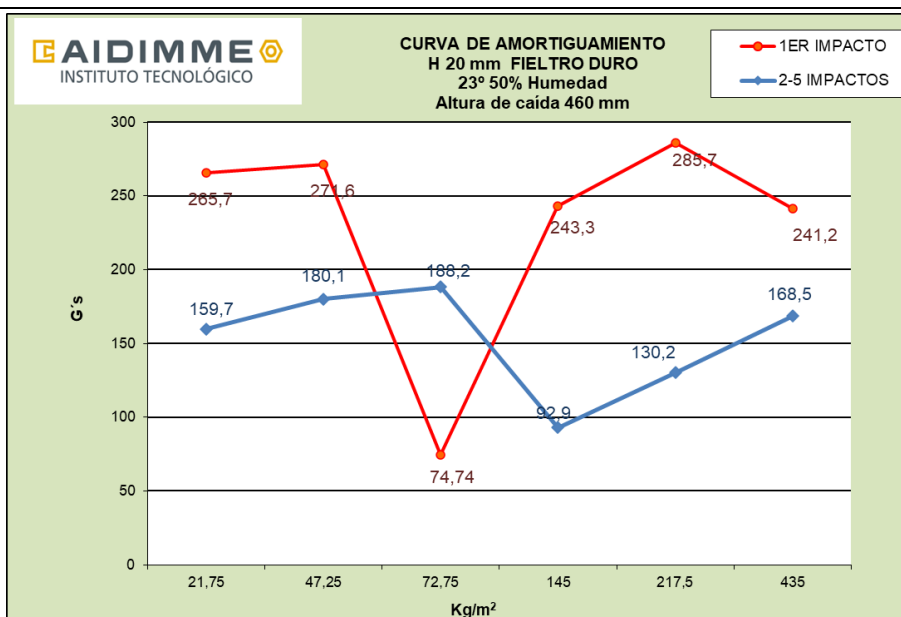
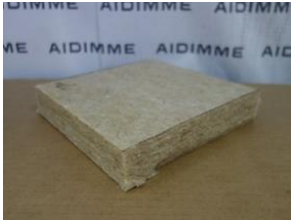


Tabla 14. Resultados Filtro Industrial Duro

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 11:	ISOLKENAF P30	
Dimensiones:	Probeta de 200 x 200 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	30 mm	
Densidad		
Altura de caída:	460 mm	

ISOLKENAF P30 kg			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	21,75	47,29	50,1
2	47,25	45,1	51,9
3	72,75	41,7	54,3
4	145	38,7	59,1
5	217,5	86,56	134,0
6	435	242	303,2
7	797,5	234,7	303,0

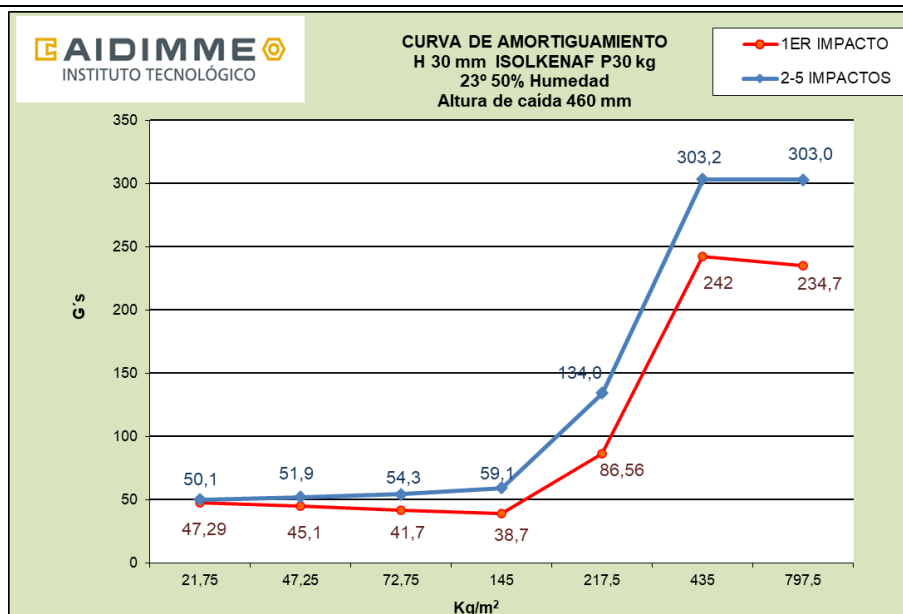



Tabla 15. Resultados Isolkenaf P 30 kg

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

MUESTRA 12:	ISOLKENAF P60	
Dimensiones:	Probeta de 200 x 200 mm (0,04 m ²)	
Espesor inicial:	40 mm	
Densidad		
Altura de caída:	460 mm	

ISOLKENAF P60 kg			
Nº muestra	Carga estática (Kg/m ²)	Aceleración (G's)	
		1er Impacto	2-5 Impacto
1	21,75	63,1	81,1
2	47,25	59,2	65,7
3	72,75	57,7	64,3
4	145	27,75	33,4
5	217,5	35,15	57,2
6	435	96,65	174,9
7	797,5	146,4	223,5

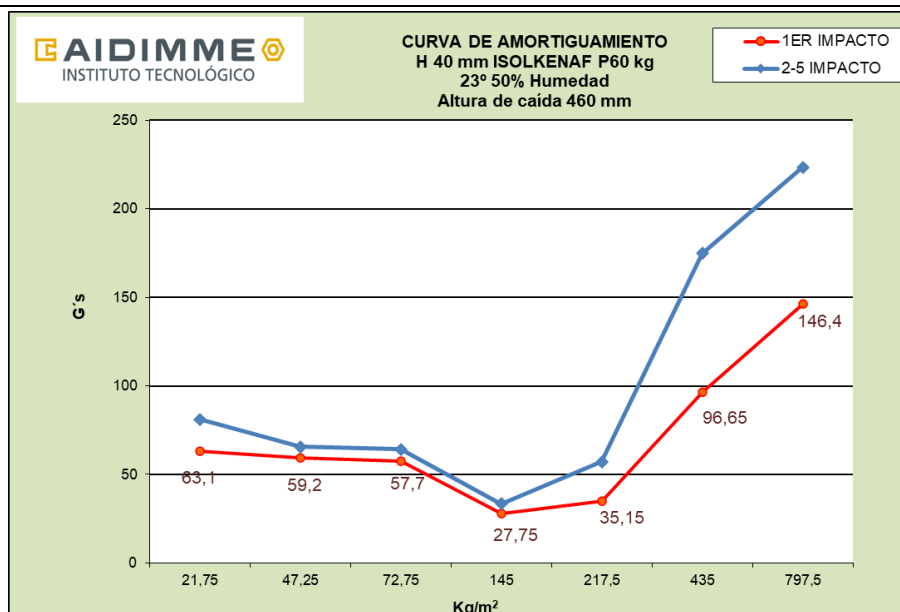


Tabla 16. Resultados Isolkenaf P 60 kg

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

5. Resultados obtenidos. Conclusiones.

Para poder valorar si los materiales caracterizados son capaces de proteger algunos productos, debemos establecer su robustez frente a posibles golpes que pueden sufrir durante su manipulación. Esta robustez se denomina técnicamente como su índice de fragilidad.

El Índice de Fragilidad de un producto, es la facilidad o dificultad que este tenga para ser dañado. Nos indica la fuerza de impacto que es capaz de soportar un determinado producto antes de romperse.

A continuación se muestra una tabla en la que podemos observar una aproximación de la fragilidad de algunos artículos embalados.

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; tablet; electrodomésticos.
MUY ROBUSTOS	>115 G's	Herramientas

Tabla 17. Factores de Fragilidad

De este modo, un producto con un factor de fragilidad de 60 podrá resistir una aceleración de 60 g. Esto no quiere decir que pueda aguantar esa aceleración indefinidamente, pero sí por cortos periodos de tiempo como ocurre en los impactos/caídas.

Para valorar los resultados obtenidos con los materiales caracterizados, se han elegido 2 productos tipo con las siguientes características:

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

- **Producto 1: Ordenador portátil**

Características: Moderadamente Frágil. (60 G's). Peso aproximado del producto: 2 Kg.

- **Producto 2: Robot de cocina**

Características: Bastante Robusto. (100 G's). Peso aproximado del producto: 10 Kg.

Utilizando la curva de amortiguamiento con los valores del 2º al 5º impacto para una altura de caída de 460 mm, se clasifican los materiales de amortiguamiento que son capaces de ofrecer una mejor protección.

Para saber si un material determinado es válido para proteger los productos tipo se ha dibujado una línea horizontal a lo largo de la deformación de la curva, con el nivel de fragilidad especificado (60 G's para el Producto 1 y 100 G's para el Producto 2).

El área por debajo de la línea de fragilidad representa la zona segura o zona de protección del producto mientras que el área por encima de la línea de fragilidad representa la zona insegura.

RESULTADOS PARA PRODUCTO 1 (nivel de fragilidad 60 G's):

Como podemos observar en las siguientes gráficas casi ninguno de los materiales celulósicos, ni la cantonera de cartón ondulado, ni el cartón troquelado, ni el cartón flauta, ni los nidos de abeja 1, 2 y 3 serían válidos para poder proteger el Producto 1 en las condiciones descritas.

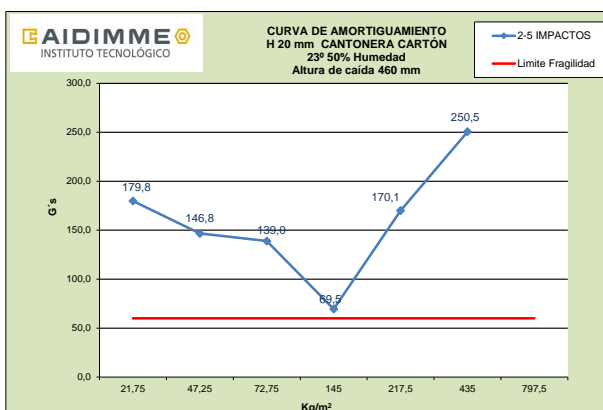


Tabla 18. Resultados Cantonera cartón (60 G's)

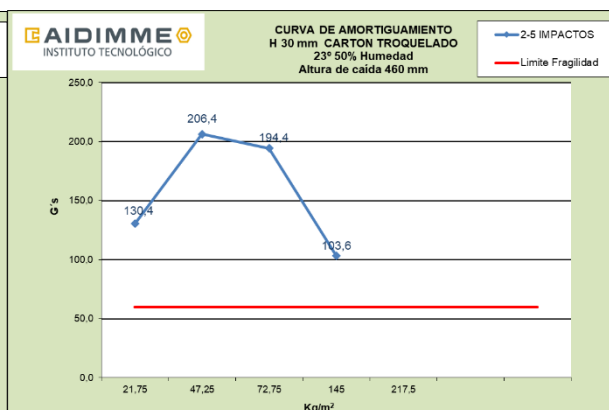


Tabla 19. Resultados Cartón troquelado (60 G's)

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

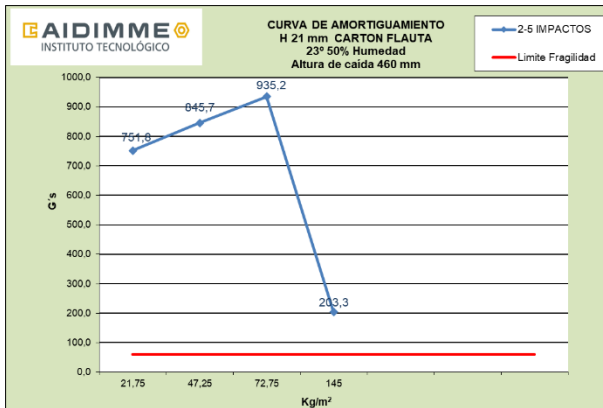


Tabla 20. Resultados Cartón Flauta (60 G's)

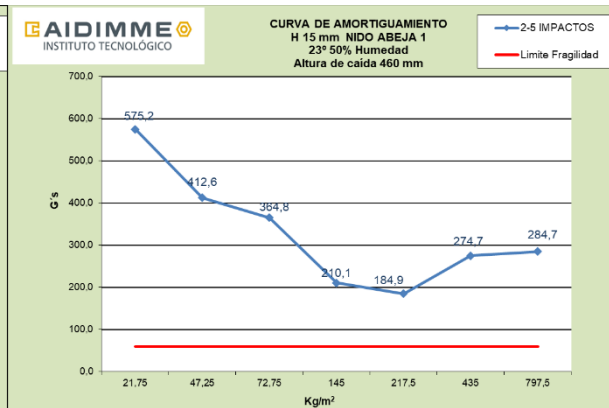


Tabla 21. Resultados Nido Abeja 1 (60 G's)

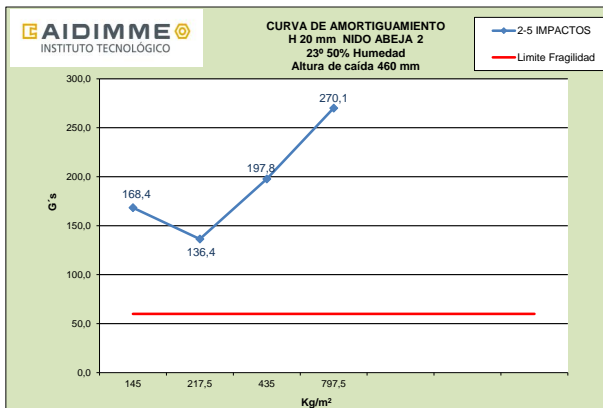


Tabla 22. Resultados Nido Abeja 2 (60 G's)

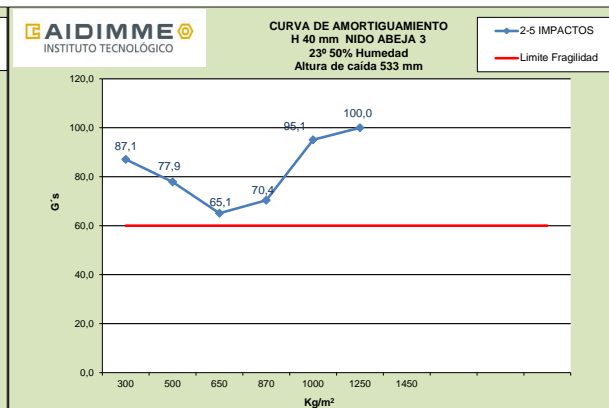


Tabla 23. Resultados Nido Abeja 3 (60 G's)

Sin embargo, el material de amortiguamiento Nido de abeja 4 ofrece una zona de protección segura para unas cargas estáticas de entre 300 - 650 kg/m², que equivalen a productos de entre 12 - 26 Kg.

El material de amortiguamiento Luffa también muestra una zona de protección segura para unas cargas de hasta 34 kg/m² (hasta 1,36 Kg.)

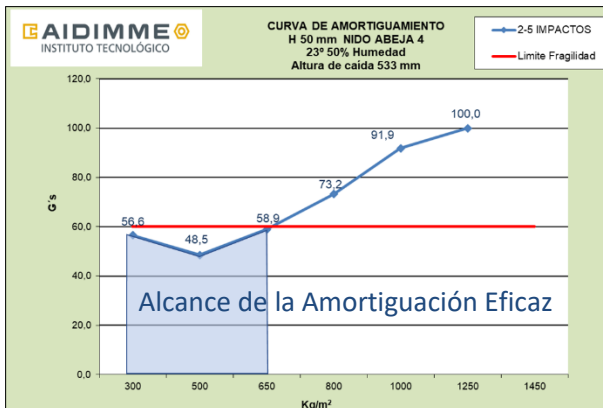


Tabla 24. Resultados Nido Abeja 4 (60 G's)

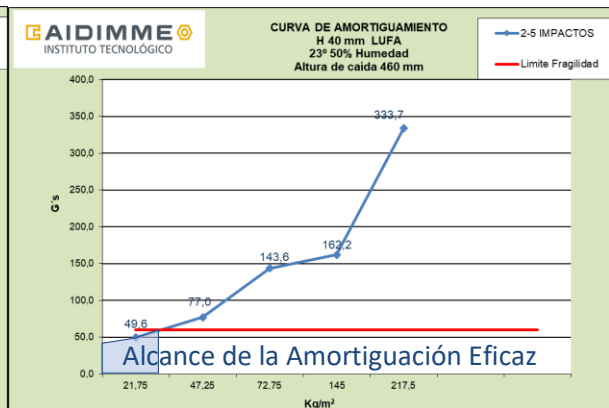


Tabla 25. Resultados Luffa (60 G's)



“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

El material de amortiguamiento de fibra de Kenaf, ISOLKENAF P30, también muestra una zona de protección segura para unas cargas entre 21,75 y 145 kg/m², que equivalen a productos de entre 0.9 kg hasta 5,8 Kg.

En el caso del ISOLKENAF P60, la zona de amortiguación eficaz corresponde a unas cargas estáticas de entre 75 - 220 kg/m² que equivalen a productos de entre 3 hasta 8,8 Kg.

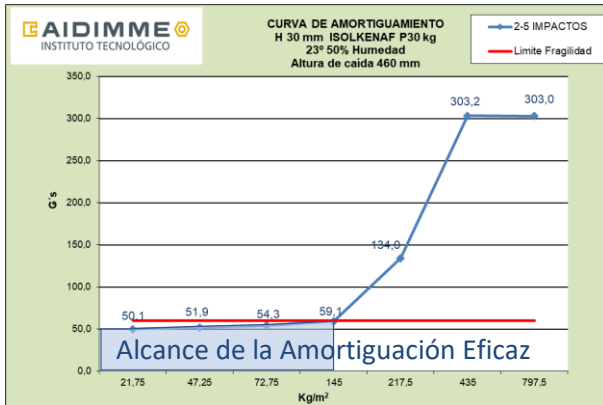


Tabla 26. Resultados Isolkenaf P30 (60 G's)

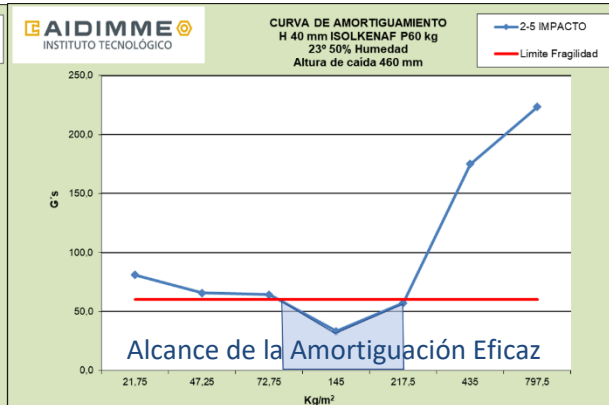


Tabla 27. Resultados Isolkenaf P60 (60 G's)

Analizando los resultados se puede establecer que para una correcta protección del producto 1: Ordenador portátil, se podrían utilizar el material **Isolkenaf P30**. Este material sostenible podría sustituir al Polietileno expandido, que actualmente se utiliza para la protección de muchos de estos productos.

RESULTADOS PARA PRODUCTO 2 (nivel de fragilidad 100 G's):

Como podemos observar en las siguientes gráficas, muchos de los materiales celulósicos: el cartón troquelado, el cartón flauta, los nidos de abeja 1 y 2 no se pueden considerar válidos para poder proteger el Producto 2 en las condiciones descritas.

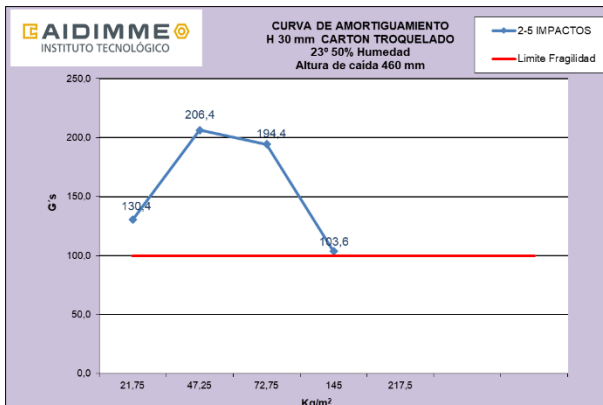


Tabla 28. Resultados Cartón troquelado (100 G's)

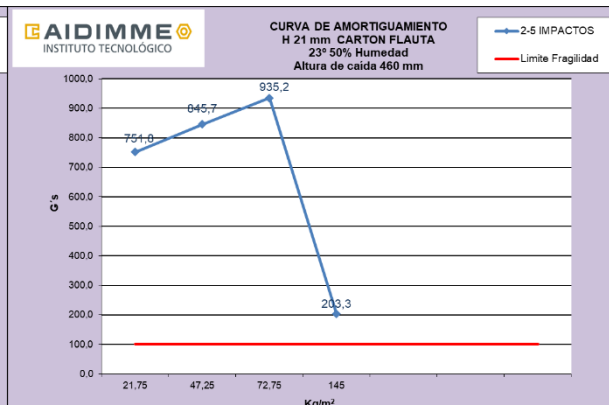


Tabla 29. Resultados Cartón Flauta (100 G's)

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

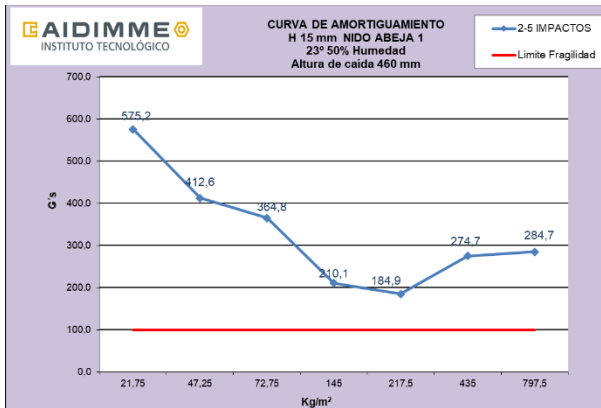


Tabla 30. Resultados Nido Abeja 1 (100 G's)

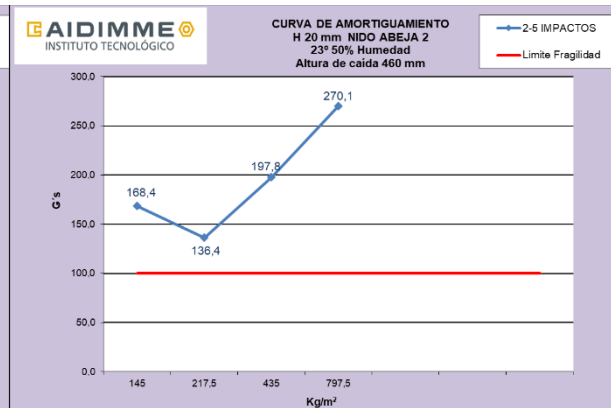


Tabla 31. Resultados Nido Abeja 2 (100 G's)

Sin embargo, el material de amortiguamiento Cantonera de cartón ofrece una zona de protección segura para unas cargas estáticas aproximadas de entre 100 - 175 kg/m² equivalente a productos de ente 4 y 7 Kg.

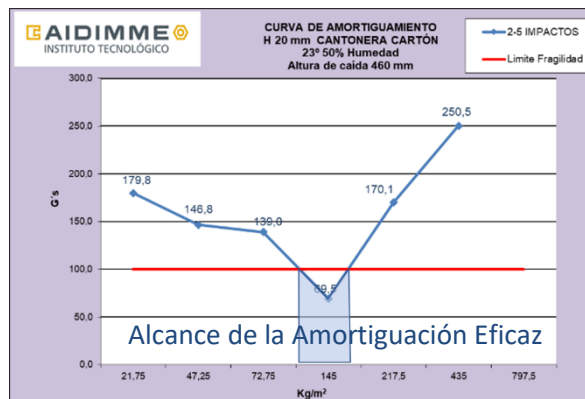


Tabla 32. Resultados Cantonera cartón (100 G's)

El material de amortiguamiento Nido de abeja 3 y 4 ofrece una zona de protección segura para unas cargas estáticas de entre 300 - 1250 kg/m² que engloba productos entre 12 y 50 Kg.

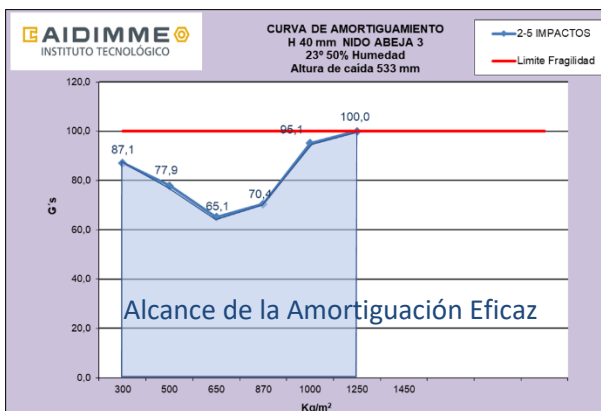


Tabla 33. Resultados Nido Abeja 3 (100 G's)

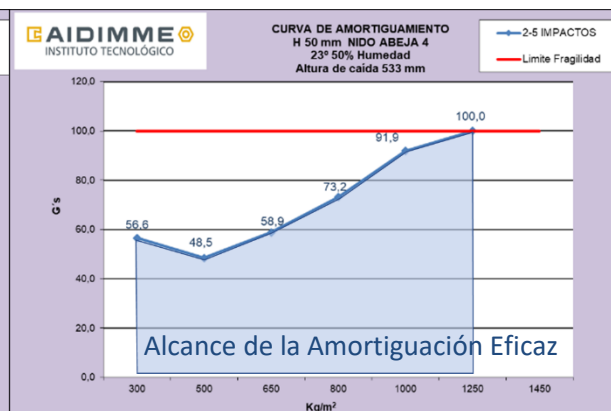


Tabla 34. Resultados Nido Abeja 4 (100 G's)

“ECODAMPING” - Caracterización de la capacidad de amortiguación de materiales sostenibles, para su utilización en sistemas de embalaje técnicos

El material de amortiguamiento Luffa también muestra una zona de protección segura para unas cargas aproximadas de hasta 58 kg/m² que equivale a productos de hasta 2,3 kg.

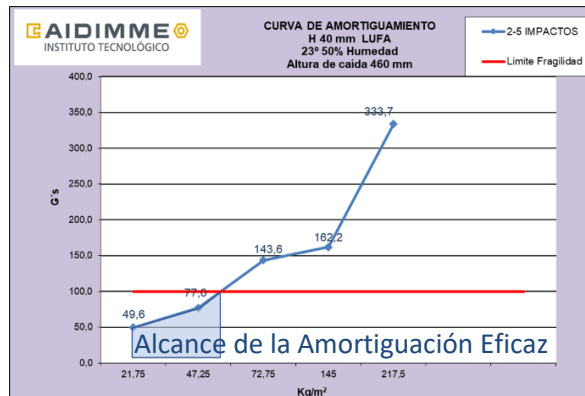


Tabla 35. Resultados Luffa (100 G's)

El material de amortiguamiento de ISOLKENAF también muestra una zona de protección segura para unas cargas aproximadas de hasta 185 kg/m² (productos de hasta 7,4 Kg.) en el caso de Isolkenaf P30 y para unas cargas estáticas entre 21,75 y 310 kg/m², que equivalen a productos de entre 0.9 kg hasta 12,4 Kg. en el caso de Isolkenaf P60.

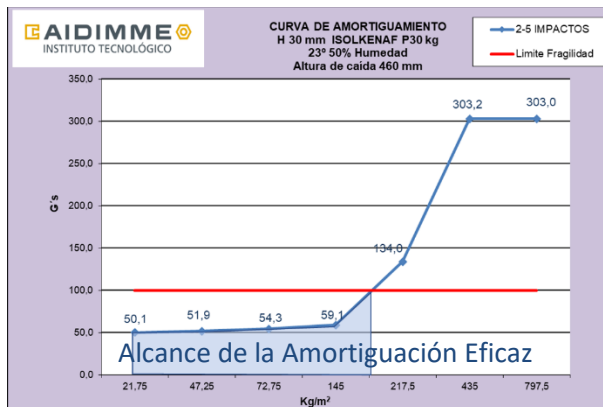


Tabla 36. Resultados Isolkenaf P30 kg (100 G's)

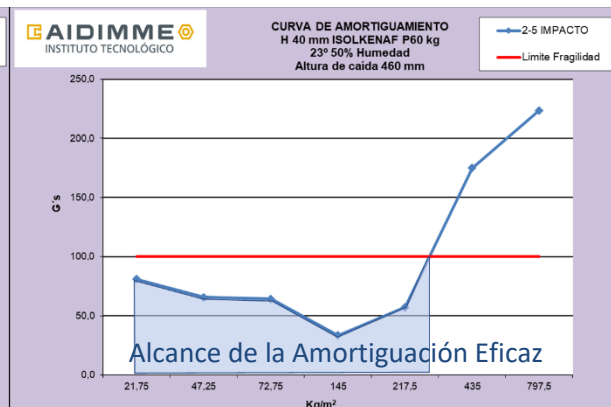


Tabla 37. Resultados Isolkenaf P60 kg (100 G's)

Analizando los resultados se puede establecer que para una correcta protección del producto 2: Robot de cocina, se podrían utilizar el material **Isolkenaf P60**. Este material sostenible podría sustituir al poliestireno expandido, que actualmente se utiliza para la protección de muchos de estos productos.

Los resultados obtenidos demuestran que hay nuevos materiales sostenibles, como los paneles de fibra de Kenaf, que tienen una capacidad amortiguadora adecuada para determinados productos ligeros y moderadamente frágiles.