

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE LA
EDIFICACIÓN

MASTER EN EDIFICACIÓN - CURSO 2012/2013



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

**Análisis de la evolución natural de la
propiedad de amortiguación de impactos
en pavimentos de seguridad de caucho
reciclado para parques infantiles**

Tesina de master

Autor:

José Francisco Serrano Ortiz

Tutor:

Fernando Fargueta Cerdá



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**Análisis de la evolución natural de la propiedad de
amortiguación de impactos en pavimentos de seguridad
de caucho reciclado para parques infantiles**



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN



Agradecimientos

A mi familia, mis padres, mis hermanas y mis sobrinos os quiero sin límite.

A mis compañeros del IBV, a todos los que habéis hecho que esta etapa sea la mejor de mi vida.

Para todas las personas que hacen que mis días sean mejores, que hacen que me esfuerce cada día más, que las penas duren menos y las alegrías sean permanentes, a todos vosotros que hacéis que quiera daros lo mejor, gracias.





Agradecimientos	3
Resumen	7
1. Introducción y problema a resolver	9
1.1 La importancia del juego	9
1.2 Los parques infantiles en España, el tamaño y proporción de parques	11
1.3 La seguridad en los parques infantiles	12
1.3.1 Estudios de seguridad en instalaciones	12
1.3.2 Accidentes y lesiones en los parques infantiles	14
Los accidentes en parques infantiles en España	14
1.4 La problemática asociada a los pavimentos de seguridad en los parques infantiles	15
2. El marco normativo y reglamentario de los parques infantiles	19
2.1 Normativa de parques infantiles	19
2.2 La norma UNE EN 1176-1:2009	20
2.2 Reglamentación en España	26
2.2.1 Estatal	26
2.2.2 Andalucía	28
2.2.3 Galicia	29
3. El HIC	31
3.1 El origen de las pruebas de absorción de impactos. Los "crash test".	31
3.2 La norma EN 1177:2009	34
3.3 La norma ASTM 1292	40
4. Los pavimentos de seguridad	47
5. Material y métodos	53
5.1 Diseño experimental	54
5.2 Muestras	56
5.3 Exposición de las muestras	59
5.4 Descripción del procedimiento operativo de los ensayos	62
5.5 Equipos empleados	64
6. Resultados	69
6.1 Resumen de resultados	69
6.2 Resultados individuales por muestra y punto	70
6.2.1 Ensayos iniciales	70
6.2.2 Ensayos a los 13 meses	80
6.2.3 Ensayos a los 18 meses	86
6.2.4 Ensayos a los 24 meses	92



6.2.5 Ensayos a los 30 meses	98
7. Discusión	105
7.1 Análisis de HIC por muestra	105
7.2 Análisis de HIC Global	109
7.3 Análisis de HIC por tipología de punto	111
8. Conclusiones	113
9. Trabajos futuros	115
10. Bibliografía	117
Páginas web	118

Resumen

La seguridad de los parques infantiles es un aspecto básico que hay que garantizar en el diseño de los mismos si queremos reducir el riesgo de que los usuarios sufran accidentes graves. Las mejoras que se han venido desarrollando en los elementos de juego en los últimos años elevan la seguridad de los mismos, si bien existen riesgos como las caídas que no pueden eliminarse completamente, tanto por el tipo de actividades que desarrollan los usuarios, como por el modo en que interferirían en el desarrollo del propio juego y que lo harían poco atractivo.

Es por ello que los elementos de pavimentación se vuelven un elemento clave para la reducción de los daños derivados de las caídas. Dentro de éstos, los pavimentos más ampliamente empleados tanto por sus propiedades de absorción, como por el reciclado de un residuo que suponen, son los pavimentos realizados a partir de caucho reciclado.

Si bien éste tipo de pavimentos, presenta un condicionante al tratarse de un subproducto de origen natural (al menos en origen) sus propiedades evolucionan con el paso del tiempo, el uso y su exposición a la intemperie.

En la actualidad la instalación de pavimentos amortiguadores en los parques infantiles (ya sean de caucho o de otro tipo) no es obligatoria en el estado Español excepto en dos CCAA (Galicia y Andalucía). La no obligación de instalación hace que en muchas ocasiones, pese a la buena intención de los contratantes (en el mayor número de ocasiones la administración) se solicite un pavimento del que no se conocen muy bien sus propiedades en el momento de instalación, y menos aún la evolución de dichas propiedades. Esto presenta dos problemas principalmente, por un lado se desconoce si ese pavimento es el adecuado a las necesidades de absorción de impactos que demandan los elementos de juego a los que da servicio (en la mayoría de casos incluso se desconocen los elementos de juego) y por otro, en qué momento deja de ser seguro para dicho elemento de juego.

Por todo lo anterior se considera de gran interés caracterizar la evolución natural de la propiedad de absorción de impactos en este tipo de pavimentos expuestos a la intemperie, de modo que sirva de base para el desarrollo de trabajos de mayor profundidad que permitan, servir como fuente de información para los prescriptores en lo referente a: ciclos de vida en condiciones de seguridad sobre los elementos a los que den servicio, las necesidades de mantenimiento y la previsión de necesidad de reposición.

El desarrollo de este análisis pretende optimizar las inversiones en los pavimentos que se instalen, de modo que eleven de manera real el nivel de seguridad de unas instalaciones tan importantes para la sociedad como son los parques infantiles y todo ello sin generar falsas sensaciones de seguridad, ya que, los niveles de HIC que se proponen dentro de las normas sólo reducen a un 5% el riesgo de sufrir una lesión fatal.



1. Introducción y problema a resolver

Los parques infantiles son un elemento común en todos los entornos urbanos desarrollados. Son un elemento que no puede obviarse en el desarrollo urbano de hoy en día independientemente de la magnitud, ya sea una gran ciudad como en un pequeño municipio. Su importancia radica en ser el elemento urbano de socialización de los más pequeños, es el primer contacto con personas de su edad y el lugar donde se desarrollan los primeros juegos.

1.1 La importancia del juego

El juego es la principal actividad a través de la cual el niño lleva su vida durante los primeros años de edad. Por medio de él, el niño observa e investiga todo lo relacionado con su entorno de una manera libre y espontánea. Los pequeños van relacionando sus conocimientos y experiencias previas con otras nuevas, realizando procesos de aprendizaje individuales, fundamentales para su crecimiento, independientemente del medio ambiente en el que se desarrolle (Arango, et. al. 2000: 4-9)

Las principales funciones que tiene el juego en la vida infantil (Arango, et. al 2000: 10) son:

1. Educativa

El juego estimula el desarrollo intelectual de un niño, permitiéndole hacer juicios sobre su conocimiento propio al solucionar problemas. Asimismo, desarrolla su creatividad, imaginación e inteligencia ante la curiosidad por descubrirse a sí mismo y a su entorno.

2. Física

El niño desarrolla habilidades motrices y aprende a controlar su cuerpo. El juego provoca un desahogo de energía física, a la vez que le enseña a coordinar sus movimientos e intenciones para lograr los resultados deseados en el juego.

3. Emocional

El juego resulta un escape aceptable y natural en el niño para expresar emociones que muchas veces con palabras no puede expresar. Al usar su imaginación, puede pretender ser otra cosa a lo que es en realidad. Permite a un niño desarrollar una actividad sin tener responsabilidades totales o limitantes en sus acciones.

4. Social

A través del juego el niño se va haciendo consciente de su entorno cultural y de un ambiente que había sido durante sus primeros años ajeno a él.

Aprende a cooperar y compartir con otras personas, conociendo su ambiente. Asimismo, aprende las reglas del juego limpio, así como a ganar y a perder.

Es importante resaltar que a lo largo del crecimiento infantil, el carácter de esta actividad va cambiando también, ya que está en relación con diversos cambios de conducta que determinan la manera en que la que llevará el juego.

De acuerdo a la edad del niño, se observan en el juego seis conductas principales que dan forma al juego (Mack y Gilley 1980: 11-37, Arango 2000: 12-14) y que favorecen su desempeño y uso de distinta manera en los parques infantiles:

1. Conducta desocupada

El niño observa objetos y acciones cercanos a él momentáneamente sin participar directamente (entre los 2 y 2 años y medio).

2. Comportamiento de espectador

Observa mientras otros juegan, habla con otros pero no se ofrece a participar en el juego (entre los 2 y 2 años y medio).

3. Juego solitario

Juega solo con elementos de los juegos, no habla ni juega con los otros aunque puede intervenir en la conversación (entre los 2 y 2 años y medio). En esta etapa es normalmente el padre u otro adulto, quien puede intentar acercarse al niño con los otros niños, o tratar de enseñarle la importancia de compartir con los otros al ser los únicos a quienes permite tomar sus objetos.

4. Juego paralelo

Elige los mismos elementos de juego o juguetes que los niños que lo rodean, pero no hace esfuerzos por interferir con los otros (sobre los 3 años).

5. Juego asociativo

Forma libre de juego en grupo y, es el intento inicial de actividad colectiva (entre los 3 años y medio y los 4 años). En este caso, el niño ya tiene mayor capacidad para socializar y para seguir ciertas órdenes y patrones que observe a su alrededor. Empieza a tomar decisiones propias sin la necesidad de que un adulto le indique lo que es correcto. Puede interactuar cómodamente con niños que ya conoce, sin necesidad de enfrentarse, de esta manera los momentos en los que juega solo van disminuyendo cada vez más.

6. Juego cooperativo

Actividad colectiva organizada donde participan en grupo para con una meta específica con materiales o elementos (entre los 4 y los 5 años y medio). A

esta edad el juego ya tiene fines más específicos y, la actitud en ellos se va relacionando más con su personalidad y su sexo. Actúan de forma más realista, teniendo la capacidad de hacer nuevas relaciones sociales y desarrollar un mejor autocontrol.

7. Juego grupal

El niño ya puede asociarse y hacer amigos al encontrar en ellos semejanzas en gustos e intereses (5 1/2 a 7 años). A esta edad el niño ya toma actitudes más reales en relación con el entorno exterior y, por lo tanto, sus juegos son más organizados y complejos. Se dirige ante la curiosidad por descubrirse a sí mismo y a su entorno. El sentimiento de realización y las lecciones que aprende, lo motivan a ejercitar después sus ideas en situaciones de la vida real.

Cómo hemos visto estos aspectos son clave para el desarrollo del niño y han de desarrollarse en distintos ámbitos, como son el hogar, el colegio y el entorno urbano. Y es a través de los elementos de juego y especialmente en los parques infantiles donde se desarrollan la inmensa mayoría de estas actividades. De ahí la importancia de una dotación suficiente y adecuada en cuanto a número y condiciones de seguridad de uso.

1.2 Los parques infantiles en España, el tamaño y proporción de parques

No se disponen datos globales de España del número de parques infantiles instalados, si bien diversos informes plantean datos parciales que nos pueden ayudar a hacer una estimación del volumen global de este tipo de instalaciones.

Los ratios de parques infantiles por habitante, son bastante diversos, según un informe desarrollado por el ayuntamiento de Málaga en 2012 (Ayuntamiento Málaga 2012) las ciudades españolas, capitales de provincia con una mayor proporción de parques infantiles por habitante (independientemente de la edad) son las siguientes:

- Segovia, 1 parque infantil cada 1.119 habitantes
- Almería, 1 parque infantil cada 1.367 habitantes
- Málaga, 1 parque infantil cada 1.517 habitantes

Se estima que la media del ratio en el estado español está en torno a los 2000 habitantes por cada parque. Esto supondría un volumen de parques infantiles a nivel del estado en torno a los **23.500**, si tomamos datos de la población de 2012 (INE, 2012).

Respecto a los metros cuadrados de pavimentos de seguridad hay estimaciones en el mismo informe sobre la proporción de pavimentos de seguridad instalados por cada parque. Dicha estimación se sitúa en torno a 105 m² por parque, sin

identificar de qué tipología de pavimento de seguridad se trata. Podríamos estar hablando en torno a **2.500.000 m²** de pavimentos de seguridad en el conjunto del estado español.

Como ejemplo de la distribución de tipologías de pavimentos en la ciudad de Gijón (Ayuntamiento de Gijón, 2012) se cuenta con 107 parques infantiles que cuentan con la siguiente distribución de pavimentos:

- Superficie total de zonas de juego en parques infantiles: 16.363 m²
- Superficie total de pavimento amortiguador: 11.350 m² (69% del total)
- Superficie de pavimento de losetas de caucho: 7714 m² (67% de la superficie de pavimento amortiguador)
- Superficie de caucho continuo: 3636 m² (33% de la superficie de pavimento amortiguador)

Éstos datos hay que tomarlos a modo de ejemplo, ya que no se han identificado datos globales que puedan ayudar a definir más la estimación o distribución de tipologías de materiales por lo que son poco significativos.

En ciudades como Valencia en el año 2013 existía en los distintos barrios un parque cada 200 habitantes entre 4 y 12 años. Aunque no necesariamente equipados con zonas de juego infantil. (Boletín de la ciudad, 2013).

1.3 La seguridad en los parques infantiles

Una vez conocida la importancia de este tipo de instalaciones y el volumen y difusión de las mismas se nos plantea una cuestión:

¿Podemos decir que haya un problema de seguridad con los parques infantiles en la actualidad?.

Estudios de diverso ámbito aportan datos reveladores sobre la situación respecto a los accidentes en las áreas de juego de los parques infantiles. En unos casos se analizan el estado de las instalaciones en general y en otros la accidentalidad en este tipo de instalaciones para perfiles concretos.

1.3.1 Estudios de seguridad en instalaciones

La revista Eroski-Consumer ha realizado dos estudios analizando la seguridad de parques infantiles en 18 capitales de provincia españolas (Eroski-Consumer, 2005), (Eroski-Consumer 2010). En ellos evalúa la seguridad de los parques infantiles desde varios aspectos, seguridad de pavimentos, seguridad de los elementos de juego, diseño adecuado, mantenimiento, etc.

En el último estudio (2010) se estudiaron 739 aparatos de juego de 132 parques infantiles de uso público ubicados en 18 ciudades españolas capitales de provincia. Los principales resultados obtenidos en el último estudio son los siguientes:

- La seguridad global de los parques continúa siendo **"buena"**, igual que en el estudio elaborado en 2005 (Eroski 2005) pero aún quedan aspectos por mejorar.
- Un parque infantil debe estar acotado de forma segura y separado del tráfico rodado. Sin embargo, en **tres de cada cinco** parques infantiles analizados había tráfico cerca, aunque eso sí, el área estaba correctamente delimitada.
- La superficie debe estar compuesta por materiales blandos que permitan la absorción de impactos y amortigüen golpes. **El caucho está instalado en dos de cada tres parques infantiles visitados**, por encima de otros suelos naturales como la arena (**único material en el 26% de los casos**), el garbancillo, el césped y la corteza de árbol. Pese a lo arriesgado que resulta, todavía se utilizan materiales duros y con muy poca capacidad para absorber impactos como el adoquín.
- Se comprobó también el estado de **conservación de los aparatos de juego** (si había partes rotas o sueltas, tornillos que sobresalían, elementos oxidados, zonas astilladas, aristas peligrosas y estructuras mal ancladas al suelo) y se evaluó el riesgo de atrapamiento, materializado, entre otros casos, por cuerdas trepadoras demasiado anchas y en las que un niño puede introducir la cabeza; aberturas en forma de V con peligro de que el menor se enganche la ropa o, lo que es peor, el pelo; superficies con aberturas excesivas o cadenas de columpios demasiado anchas ante las que niños y niñas pueden tener la "curiosidad" de meter el dedo entre las arandelas. En los anclajes que fijan los aparatos al suelo, se constató que, salvo en el 3% de los muelles y balancines observados, el resto estaban bien fijados al pavimento.

Estas exigencias se cumplían en la gran mayoría de los casos. En líneas generales, los mejores aparatos en materia de seguridad se localizaron en los parques infantiles visitados en Pamplona y Córdoba y los peores en Sevilla y Oviedo. Y es que en Sevilla, más de la mitad de los elementos de juego se encontraban en mal estado de conservación y en uno de cada cinco se vio el riesgo de que el menor se pillase los dedos o se quedase su ropa enganchada. En Oviedo, en uno de cada seis aparatos se detectaron elementos que podían hacer que los niños se hiciesen daño al utilizarlos.

A la vista de estos resultados se puede pensar que los parques en España son por lo general seguros, y cabe decir que la mejora de la seguridad en los últimos años es más que evidente, especialmente en lo que respecta a los pavimentos de seguridad, pero aunque los parques sean seguros eso no quiere decir que no se produzcan accidentes. A continuación vamos a ver datos disponibles que nos permiten cuantificar o magnificar los incidentes que se producen en este tipo de instalaciones.

1.3.2 Accidentes y lesiones en los parques infantiles

Si bien es interesante conocer el estado actual de la seguridad en los parques infantiles en España resulta igualmente necesario conocer qué consecuencias tiene en la accidentalidad la actividad en los parques infantiles y su uso. Es necesario cuantificar la incidencia de accidentalidad para poder evaluar la importancia verdadera de la seguridad en los parques infantiles.

Los accidentes en parques infantiles en España

Según el informe elaborado por la ONG "Save The Children" (Save the children, Defensor del pueblo, Unicef, 2009), el **13%** de los accidentes sufridos en España por niños de entre uno y 4 años y el **9%** de entre los de 5 y 14 años se producen en **áreas de ocio y recreo**. Estos datos supondrían un número aproximado de **60.000 accidentes al año** en los parques infantiles para la población entre uno y 14 años.

Estos valores nos dan una idea de la trascendencia y la importancia de velar por la reducción de riesgo de sufrir un accidente y la necesidad de reducir los daños en caso de que este se produzca ya que la reducción absoluta del riesgo es imposible por el propio desarrollo de la actividad.

Los accidentes en parques infantiles en la Unión Europea

Dentro de las políticas sociales y de protección a los menores, desde la Comisión Europea se planteó un plan de acción para la identificación y desarrollo de actividades prioritarias para mejorar la seguridad infantil. En el informe de resultados (MSC, Comisión Europea, 2000) se analizan los datos disponibles de accidentalidad infantil, separando las causas tanto de lesiones como de accidentes fatales. Se analiza a nivel global y a nivel estatal. A continuación se presentan los resultados más interesantes para este trabajo:

*"Las caídas constituyen la cuarta causa de muerte por lesiones en niños en la UE. En los países Europeos, donde se registran los ingresos y las visitas a departamentos de urgencia, vemos que las caídas en los niños son el motivo principal de consulta. El tipo más común de caídas que requieren ingreso, son aquellas que se producen desde un nivel a otro, tales como los cambiadores de bebés, escaleras, sillas, camas y literas, ventanas, balcones y **juegos en parques.**"*

Para cada uno de los factores más relevantes de accidentalidad dentro del mismo informe se plantean propuestas de intervención. A continuación se recoge la orientada a reducir los accidentes en los parques infantiles:

"Actuaciones en los parques: La utilización de materiales absorbentes en los suelos y adecuando la altura de los aparatos de juego según las edades, aporta más seguridad y disminuye el número de lesiones graves por caídas.(Klassen,T 2000)"

Como se ve desde la comisión europea se viene identificando la utilización de los materiales absorbentes como un factor que aumenta la seguridad y que reduce el

número de lesiones graves originadas por caídas. A su vez incide además en la adecuación de las alturas de los elementos de juego a distintas edades de uso.

Los accidentes en parques infantiles en Estados Unidos

En estados unidos existen diversos estudios sobre incidentes que se desarrollan en las áreas de recreo y juego. La "Consumer Product Safety Commission" (CPSC) recogió los siguientes datos del periodo 2001-2008 (CPSC,2009) que se presentan a modo de síntesis:

- *Del periodo 2001-2008, hubieron 2.691 incidentes asociados con equipamiento o áreas de juego remitidos a personal de la CPSC para todas las edades.*
- *De los 2.691 incidentes remitidos al personal de CPSC, 1.810 (67%) involucraban caídas o fallos de equipamiento.*
- *De los 2.691 incidentes remitidos al personal de CPSC, 1.548 (58%) involucraron toboganes, columpios, trepadores o barras de deslizamiento. Esto puede reflejar más la popularidad del uso que un peligro inherente en este tipo de equipamientos.*

Hay que decir para poder interpretar estos datos que la CPSC es un organismo que no registra todos los hechos e incidentes que se producen, únicamente recoge aquellos sobre los que les reportan, especialmente asociados a denuncias. Esto hace que los datos sean reducidos en relación con el volumen real de accidentes que se producen si bien, la distribución de incidentes por tipo de incidente puede asumirse como válida.

1.4 La problemática asociada a los pavimentos de seguridad en los parques infantiles

Los datos e información planteados hasta ahora refuerzan el hecho de que por muy seguros que sean los parques infantiles en la actualidad se siguen produciendo accidentes. De los estudios del punto anterior, no podemos evaluar la evolución de la seguridad de los parques infantiles al no haber estudios de seguridad o de volumen de accidentes suficientemente representativos para analizar esa evolución. Si bien resulta evidente que, reduciendo las posibilidades de que se produzcan los accidentes mejorarán los datos de accidentalidad, pero no debemos ceñirnos únicamente a eso, debemos contemplar la posibilidad (real y cierta) de que se van a producir accidentes y que debemos prever acciones para reducir su gravedad.

La situación actual en materia de seguridad en el campo de los parques infantiles en España presenta elementos que favorecen la implantación de requisitos de seguridad y otros que la alejan de la misma.

Como elementos **a favor** se cuenta con:

- Existencia de Normativa Europea de elementos de juego y pavimentos que definen unas características orientadas a la seguridad.

- Amplia oferta de Materiales y diseños de productos adecuados.

Como factores **en contra** podemos resaltar:

- No obligatoriedad (excepto en 2 CCAA) de aplicación de la normativa existente.
- Desconocimiento por parte de técnicos, prescriptores y compradores de los requerimientos a solicitar tanto en elementos de juego como en pavimentos.

Esto hace que en muchos casos (especialmente en las comunidades autónomas donde no es de aplicación obligatoria la normativa de seguridad) pese a la buena intención de los contratantes, especialmente desde la administración se soliciten elementos de juego o pavimentos de seguridad de los que no se conocen muy bien sus propiedades en el momento de instalación, y menos aún la evolución de las mismas.

Por un lado se deben seleccionar elementos de juego adecuados, en los que la seguridad haya sido tenido en cuenta en el diseño, y tener claro que cada elemento de juego presentará unas necesidades de amortiguación derivadas de sus características (altura libre de caída, movimientos forzados, proyecciones, etc.). Ésta demanda de amortiguación varía entre los distintos elementos de juego, así como en las distintas zonas que dan servicio a un elemento de juego.

De igual manera **un pavimento amortiguador no tiene porqué cubrir las necesidades de absorción de impactos de todos los elementos de juego de un parque**. La absorción de impactos tendrá un **nivel máximo a partir del cuál no ofrecerá suficiente seguridad al elemento de juego**, si se le demanda más de la que puede ofrecer. A este aspecto se le suma el hecho de que al tratarse de elementos expuestos a uso continuado e intensivo se debe velar por un mantenimiento adecuado y preventivo de reposición de material que garantice que las propiedades se mantienen a lo largo del tiempo. Este mantenimiento y reposición de material es especialmente importante en aquellos pavimentos de seguridad formados por materiales disgregados, como arena, corteza, etc. Donde los espesores y propiedades de amortiguación de impactos variarán mucho en función del mismo.

En los pavimentos que cuentan como material principal el caucho reciclado ya sea de forma continua o en losetas, este apartado de reposición de material no es tan relevante, ya que son materiales más estables a nivel superficial. Cuentan con una ventaja respecto a los materiales disgregados y es que no deben ser revisados permanentemente (esto es especialmente interesante ya que en muchas ocasiones ese mantenimiento no se realiza).

Lo que es una ventaja a priori, puede convertirse en algo peligroso a largo plazo y es que al no observarse a nivel superficial defectos en el pavimento, se pueden generar sensaciones de falsa seguridad. La amortiguación de impactos no es una propiedad que pueda evaluarse únicamente mirando la superficie del pavimento. Además de esto, el uso continuado, con la compactación de las capas inferiores a la

superficial que genera, el efecto de la exposición a la climatología, altas temperaturas, heladas, lluvias, altos niveles de radiación solar, etc. Suponen una pérdida paulatina de capacidad de absorción de impactos que difícilmente se puede cuantificar o prever sin la realización de ensayos.

Las casas comerciales e instaladores de pavimentos continuos o losetas de caucho, dan valores aproximados de durabilidad de sus materiales, obviando en muchos casos los condicionantes de uso y ubicación del material. No existen estudios en profundidad que evalúen la evolución de la propiedad de absorción de impactos de este tipo de pavimentos, por lo que no existe una orientación validada que nos ayude a estimar sin la realización de ensayos el comportamiento del material pasado un tiempo desde su instalación.

La suma de estos aspectos presenta una problemática global y de gran calado que se puede sintetizar en dos aspectos fundamentales:

- A la hora de instalar un pavimento amortiguador en muchos casos, se desconocen las propiedades del mismo o hay desajustes en el grado de adecuación al elemento de juego que da servicio.
- Suponiendo que el pavimento en el momento de instalación sea adecuado, no se conoce a priori el momento a partir del cuál es probable que deje de aportar un grado de seguridad suficiente al elemento de juego.

Este segundo aspecto resulta de vital importancia, deberemos realizar una vigilancia a través de ensayos de la evolución de la propiedad de absorción de impactos si queremos mantener el nivel de seguridad.



2. El marco normativo y reglamentario de los parques infantiles

En este bloque se va a repasar el marco normativo y reglamentario existente en la actualidad en lo que respecta a parques infantiles, elementos de juego y pavimentos de seguridad.

2.1 Normativa de parques infantiles

En la actualidad existe una serie de normas europeas relativa a equipamiento de las áreas de juego y superficies. Las versiones vigentes de 2008 son una revisión de una versión inicial de 1998. El conjunto de normas europeas ha sido adoptado por AENOR con rango UNE (Una Norma Española) en 2009.

Del conjunto de normas una recoge los requisitos generales de seguridad a contener en los elementos y áreas de juego, un grupo de normas están asociadas a tipologías concretas de elementos de juego (toboganes, balancines, etc.), se incluye una norma en forma de "Guía para la instalación, inspección, mantenimiento y utilización" y por último se incluye una norma específica de "Revestimientos de las superficies de las áreas de juego absorbedores de impactos" donde se establece el método de ensayo para determinar la altura de caída crítica.

El listado de normas es el siguiente:

- **UNE-EN 1176-1:2009** Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 1: Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo
- **UNE-EN 1176-2:2009** Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 2: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para columpios.
- **UNE-EN 1176-3:2009** Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 3: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para toboganes.
- **UNE-EN 1176-4:2009** Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 4: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para tirolinas.
- **UNE-EN 1176-5:2009** Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 5: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para carruseles.
- **UNE-EN 1176-6:2009** Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 6: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para balancines.
- **UNE-EN 1176-7:2009** Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 7: Guía para la instalación, inspección, mantenimiento y utilización.
- **UNE-EN 1176-10:2009** Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 10: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo

adicionales específicos para equipos de juego en recintos totalmente cerrados.

- **UNE-EN 1176-11:2009** Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 11: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo adicionales específicos para redes tridimensionales.
- **UNE-EN 1177:2009** Revestimientos de las superficies de las áreas de juego absorbedores de impactos. Determinación de la altura de caída crítica.

2.2 La norma UNE EN 1176-1:2009

La norma UNE-EN 1176-1:2009 Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 1: Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo, recoge los aspectos generales de seguridad aplicables a todas las tipologías de elementos de juego y pavimentos de los parques infantiles. Establece el marco común de definiciones y relaciona los requisitos específicos de cada tipología de elemento con la norma de aplicación.

A continuación se van a extraer los aspectos más relevantes de dicha norma, especialmente aquellos que relacionan las características de los elementos de juego con la necesidad de absorción del pavimento de seguridad.

Dentro del apartado 3 de la norma *Definiciones* se incluye entre otra la siguiente

3.6 Altura libre de caída:

Distancia vertical máxima entre la parte claramente destinada al soporte del cuerpo y la superficie de impacto situada debajo.

Nota: La parte destinada al soporte del cuerpo incluye aquellas superficies para las que se sugiere el acceso.

Dentro del apartado 4 Requisitos de seguridad se recogen los apartados siguientes:

Materiales

- *Generalidades*
- *Inflamabilidad*
- *Maderas y productos asociados*
- *Metales*
- *Materiales sintéticos*
- *Sustancias peligrosas*
- *Integridad estructural*
- *Accesibilidad para adultos*
- *Protección frente a caídas*
- *Acabado del equipo*
- *Partes móviles*
- *Protección frente al atrapamiento*
- *Protección frente a lesiones durante el movimiento y las caídas*
- *Medios de acceso*
- *Uniones*

- Elementos reemplazables
- Cuerdas
- Cadenas
- Cimentación
- Vigas suspendidas pesadas

En el apartado **4.2.8 Protección frente a lesiones durante el movimiento y las caídas** se establece el modo general de determinación de la **altura libre de caída** de un elemento de juego o de las distintas partes que lo conforman.

Éste parámetro es clave ya que **es el valor que condiciona el nivel de absorción de impactos exigible al pavimento amortiguador** que se instale para dar servicio al elemento de juego.

4.2.8 Protección frente a lesiones durante el movimiento y las caídas

4.2.8.1 Determinación de la altura libre de caída

Salvo indicación en contra, *la altura libre de caída debe ser la que se indica en la tabla 2. Para determinar la altura libre de caída se deben tener en cuenta los posibles movimientos del equipo y del usuario. En general, esto significa que se debe tomar el movimiento máximo del equipo.*

Nota: algunos ejemplos de elementos que pueden incitar a su acceso son:

- Elementos de juego a los que se pueda acceder desde el tejado
- Asideros para manos y pies para trepar
- Elementos al alcance del brazo o de la pierna
- Inclinación del tejado
- Aspereza de la superficie del tejado.

La altura libre de caída (h) no debe ser superior a 3 metros.

Tabla 2. Altura libre de caída para los diferentes tipos de uso

Los distintos modos de determinar la altura libre de caída se recogen en la siguiente tabla.

Tipo de uso	Distancia vertical
De pie	Desde el apoyo del pie hasta la superficie inferior
Sentado	Desde el asiento hasta la superficie inferior
Colgado (Cuando todo el apoyo del cuerpo descansa únicamente en las manos y se pueda elevar todo el cuerpo hasta el apoyo de las manos, véase figura 14b)	Desde la altura del apoyo de la mano hasta la superficie inferior
Trepando* (Cuando el apoyo del cuerpo es una combinación de pies/piernas y manos, por ejemplo, al trepar por cuerdas o deslizarse por barras)	Apoyo máximo del pie: 3 m hasta la superficie inferior. Apoyo máximo de la mano 4 m hasta la superficie inferior (La altura libre de caída se mide desde el apoyo máximo de la mano menos 1 metro hasta la superficie inferior)
* Los equipos contruidos para su uso como elementos para trepar no deben permitir el acceso a posiciones con una altura libre de caída superior a 3 m.	

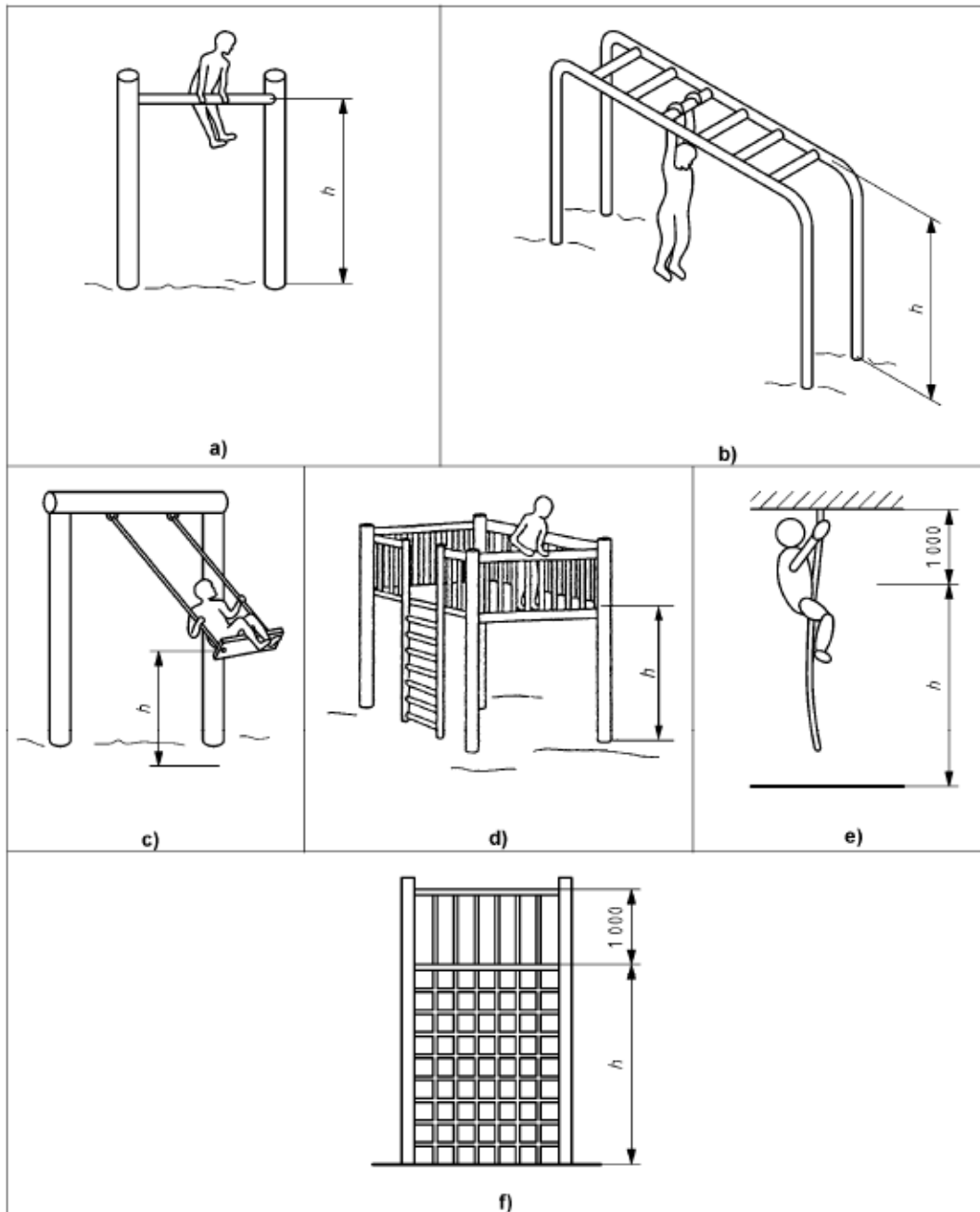


Figura 14. Ejemplos que ilustran la altura libre de caída (h)

En el **Punto 4.2.8.2.4** Dimensión del área de impacto, se define el modo en el que se estiman las dimensiones del área de impacto alrededor de un elemento de juego. Es la superficie que en función del uso es susceptible de recibir un impacto está influenciado por la altura libre de caída para alturas libres de caída superiores a los 1,5 m.

4.2.8.2.4 Dimensión del área de impacto

Las dimensiones del área de impacto se muestran en la figura 17. En ciertos casos, tal como en el carrusel en el que el usuario adquiere una velocidad

4.2.8.5.2 Equipos con una altura libre de caída superior a 600 mm o con movimiento forzado

Por debajo de todo el equipamiento de las áreas de juego con una altura libre de caída superior a 600 mm y/o del equipamiento que produzca un movimiento forzado en el cuerpo del usuario (por ejemplo columpios, toboganes, equipos de balanceo, tirolinas, carruseles, etc.), debe haber una superficie de amortiguación de impacto sobre la totalidad del área de impacto.

La altura crítica de caída de la superficie debe ser igual o superior a la altura libre de caída del equipo.

En la tabla 4 se incluyen ejemplos de materiales de amortiguación de impactos utilizados comúnmente, con las alturas críticas asociadas, sometidas a ensayo conforme a la norma EN 1177 y medidas parcialmente in situ y parcialmente en laboratorio con distintas condiciones de ensayo. Para las especificaciones de materiales y espesores que no figuren en la tabla 4 se debe utilizar la norma EN 1177 como método de ensayo para la determinación de la altura crítica de caída.

Tabla 4 – Ejemplos de materiales de amortiguación de impacto empleados normalmente y sus correspondientes alturas críticas de caída

Material	Descripción	Prof mínima	Altura crítica de caída
	mm	mm	mm
Césped/sustrato natural			≤ 1000
Corteza	Granulometría de 20 a 80	200	≤ 2000
		300	≤ 3000
Viruta de madera	Granulometría de 5 a 30	200	≤ 2000
		300	≤ 3000
Arena	Granulometría de 0,2 a 2	200	≤ 2000
		300	≤ 3000
Gravilla	Granulometría de 2 a 8	200	≤ 2000
		300	≤ 3000
Otros materiales y otras profundidades	Según ensayo de HIC (véase la norma EN 1177)		Altura crítica de caída conforme a lo ensayado

4.2.8.5.3 Equipos con una altura libre de caída no superior a 600 mm y sin movimiento forzado

No es necesario someter a ensayo la altura crítica de caída de las superficies inferiores de los equipamientos de áreas de juego cuya altura libre de caída sea inferior a 600 mm, y que no provoquen un movimiento forzado del cuerpo del usuario.

4.2.5.8.4 Plataformas continuas

Si la altura libre de caída entre plataformas contigua es superior a 1 m, la superficie superior de la plataforma más baja debe ofrecer las propiedades necesarias de amortiguación de impacto.

Esto quiere decir que los elementos con una altura libre de caída inferior a 600 mm sin movimiento forzado del usuario no necesitan someterse al ensayo de altura crítica de caída.

Respecto a la **información a presentar**, además de información general descriptiva del **elemento de juego** el fabricante distribuidor debe incluir información previa relativa como mínimo a los siguientes puntos:

6.1.2 Información previa

El fabricante/distribuidor debe entregar información sobre la seguridad con anterioridad a la aceptación del pedido, por ejemplo un catálogo de datos.

Esta información debe incluir al menos lo siguiente:

- a) El espacio mínimo;
- b) Los requisitos de la superficie (**incluyendo la altura libre de caída y el alcance de las superficies**);
- c) Las dimensiones totales del elemento o elementos más grandes;
- d) La masa de la parte o sección más pesada en kilogramos;
- e) Directrices respecto al grupo de usuarios al que se destina el equipo;
- f) Si el equipo está previsto para uso únicamente en el interior o bajo condiciones de vigilancia;
- g) La disponibilidad de repuesto; y
- h) Un certificado con esta norma europea

Respecto a las superficies amortiguadoras de impacto la norma establece en el punto 6.2 las siguientes necesidades de información a presentar:

6.2 Información a entregar por el fabricante o distribuidor de las superficies de amortiguación de impactos

6.2.1 Información previa

Antes de la aceptación del pedido, el fabricante o distribuidor debe facilitar información sobre la altura crítica de caída de las superficies de amortiguación de impacto, de acuerdo a la norma EN 1177.

A modo de resumen la norma EN 1176-1:2008 establece de manera general para los elementos de juego además del resto de requisitos de seguridad:

- Cómo determinar la **altura libre de caída** (altura máxima desde la que potencialmente puede caer un niño al estar usando el elemento de juego).
- Cómo determinar la superficie del **área de impacto** (área sobre la que puede caer un niño empleando el elemento de juego en su altura libre de caída).
- Las características que deben reunir **las superficies del área de impacto** en base a la altura libre de caída y la existencia de movimientos forzados.
- La información a aportar por el fabricante/suministrador de los elementos de juego.
- La información a aportar por el fabricante/suministrador de las superficies de amortiguación de impactos.

2.2 Reglamentación en España:

2.2.1 Estatal

En la actualidad no existe reglamentación a nivel estatal en España referida a la seguridad de los parques infantiles. Esto en sí mismo supone un problema en cuanto a que no existe una difusión de los requisitos de adecuación de los elementos de juego y pavimentos de seguridad más adecuados. En dos comunidades autónomas si que existe reglamentación que recoge esta temática, pero en el resto del estado esto supone que no haya una divulgación de requisitos ni conocimiento ni por supuesto obligatoriedad de cumplir siquiera unos mínimos.

Resulta poco común que en un parque infantil hoy en día se instalen pavimentos de hormigón pero de ser así no se estaría incumpliendo ninguna ley, al menos en la mayor parte del Estado.

En muchos casos si que se incluyen determinados requisitos en los pliegos de prescripciones técnicas de los contratos públicos que hacen referencia a las normas europeas con lo que las convierte en obligatorias (al menos en esos contratos). A continuación se presenta una serie de ejemplos comentados con las mejoras posibles o errores detectados:

Cláusulas contenidas en un contrato en un municipio de Tenerife

En este ejemplo se detallan las características de un pavimento amortiguador a instalar en parques existentes con elementos de juego ya instalados.

Pavimento formado por:

a) Capa de terminación Etylene, propylene, diene, monomer (EPDM), formado por la mezcla de caucho natural en gránulos 1-3 mm, densidad aproximada de 1,6 g/cm³ en colores puros (únicos) y resina. Su espesor nunca será inferior a 15 mm.

b) Capa intermedia Styrene, butadine, rubber (SBR) formado por la mezcla de caucho reciclado en gránulos de 20-25 mm., densidad aproximado de 1,6 g/cm³ y resina. Su espesor nunca será inferior a 5 cm

La superficie mínima a instalar, así como la sección por cada elemento, uniones a los bordillos, etc., será según contempla EN 1177. El adjudicatario deberá realizar las pruebas de caída (HIC) y posteriormente presentará el certificado que garantiza que el suelo cumple con la normativa EN 1177.

En este contrato no se hace referencia alguna a los elementos de juego existentes en especial a que los pavimentos deben garantizar una altura crítica de caída adecuada a las alturas libres de caída de cada uno de los elementos de juego. Además se solicita un certificado de que el suelo "cumple" con la normativa EN 1177. Como se verá más adelante el pavimento se ensaya conforme a dicha

normativa pero no la cumple o no, ya que dicha normativa no incluye requisitos a cumplir. Los requisitos se encuentran en la norma EN 1176-1.

Cláusulas contenidas en un contrato en un municipio de Aragón

El objeto del contrato es la sustitución del pavimento amortiguador existente en un parque infantil existente.

La superficie del suelo se realizará mediante un pavimento amortiguador continuo de caucho y EPDM. La superficie amortiguante de impacto será de dos capas la 1ª de caucho reciclable de espesor variable en función de la altura del juego y la segunda de EPDM de al menos 1 cm de espesor.

Si bien no se hacen referencias a las Normas europeas, se señala que el espesor del pavimento depende de la "altura del juego", evidentemente faltaría establecer la relación existente entre ambos.

Cláusulas contenidas en un contrato en un municipio de Comunidad Valenciana

En este ejemplo se detallan las características que deben reunir tanto los elementos de juego como los pavimentos amortiguadores de parques infantiles de nueva creación.

Todos los juegos que se oferten deberán cumplir la normativa europea EN-1176 en cuanto a seguridad de los equipos de juegos y EN-1177 en cuanto a los suelos de seguridad absorbente al impacto.

Por cada uno de los juegos ofertados se especificará el H.I.C (altura crítica de caída) y superficies necesarias del pavimento de seguridad que se deberán colocar para cumplir la Normativa Europea UNE-EN-1177.

Cabe decir que pese a que la intención es muy buena y denota un conocimiento más profundo que en otros casos existe confusión en los requisitos a demandar ya que el HIC y las superficies necesarias de pavimento de seguridad no son aspectos que se definan en la norma UNE-EN 1177, sino en la UNE-EN 1176-1.

Con éstos ejemplos lo que se quiere evidenciar es la dispersión existente a la hora de establecer requisitos a cumplir y que depende en gran medida del conocimiento específico que pueda tener el técnico redactor.

2.2.2 Andalucía

Andalucía fue la primera comunidad autónoma en España que desarrolló un decreto relativo a las medidas de seguridad que debían reunir los parques infantiles.

A continuación se extraen los apartados más relevantes que definen el decreto.

Decreto 127/2001, de 5 de junio, sobre medidas de seguridad en los parques infantiles.

Artículo 1. **Objeto.**

El presente Decreto tiene por objeto la regulación de las medidas de seguridad que deben reunir los parques infantiles, a fin de garantizar el desarrollo de las actividades lúdicas de los menores, evitando los riesgos que puedan perjudicar su salud e integridad física.

Artículo 2. **Ambito de aplicación.**

Las disposiciones contenidas en este Decreto serán de aplicación a los parques infantiles de titularidad pública, así como a los de titularidad privada de uso colectivo.

Este aspecto es muy importante porque no aplica únicamente a los parques de titularidad pública sino que es aplicable también a los de titularidad privada.

Artículo 6. **Seguridad en los elementos de juego.**

[...]

Los elementos de juego deberán cumplir, asimismo, las especificaciones técnicas previstas en las normas que se relacionan en el Anexo del presente Decreto.

3. La superficie sobre la que puedan caer los menores en el uso de los elementos de juego será de materiales blandos, que permitan la adecuada absorción de impactos y amortigüen los golpes.

[...]

Artículo 8. **Mantenimiento.**

Los titulares de los parques infantiles serán responsables de su mantenimiento y conservación, debiendo realizar inspecciones y revisiones anuales por técnicos competentes.

En el anexo del decreto se incluye la relación de la serie completa de normas EN 1176 y la norma EN 1177.

Pese a contar con este decreto, se corre el riesgo de dejar toda la responsabilidad en la prescripción a la referencia al mismo sin entender completamente que se demanda en las normas europeas.

Un ejemplo de esto es el siguiente extracto de un pliego de prescripciones técnicas sobre la reposición de un pavimento de seguridad para un parque existente.

Pavimento continuo elástico de PVC solflex-inc2 o similar, fundido in situ, compuesto por capa superficial de caucho EPDM de 10 mm de espesor, sobre base de caucho SBR para espesor total de 50 mm, según normativa UNE-EN 1177 y Decreto Ley 96/136 de BOE 126/11/96. Medida la unidad terminada.

No se hace referencia alguna a las alturas libres de caída de los elementos de juego instalados y además se fija el espesor del pavimento sin tener en cuenta si el valor de su altura crítica de caída será suficiente para los mismos. Por último hace

referencia a la norma EN 1177 diciendo que el pavimento debe ser acorde a la misma y como ya hemos dicho, esa norma es una norma que define el método de ensayo no los requisitos del pavimento.

2.2.3 Galicia

La comunidad de Galicia cuenta con un decreto similar aprobado en 2003. En el mismo se recogen los requisitos a cumplir por los elementos de juego y pavimentos de seguridad.

A continuación se extraen los apartados más relevantes que definen el decreto.

Decreto 245/2003, do 24 de abril, polo que se establecen as normas de seguridade nos parques infantís. DOG 89, venres 9 de maio de 2003

Artículo 1. Objeto y ámbito de aplicación.

1. El presente Decreto tiene por objeto regular las normas mínimas de seguridad y prevención de accidentes que deben de reunir los parques infantiles y áreas de juego para la infancia, así como sus equipamientos y elementos de juego.

2. Las disposiciones del presente Decreto serán de aplicación tanto a las instalaciones de titularidad pública como a las de titularidad privada, siempre que, en este último caso, estén destinadas al uso público o comunitario.

Al igual que en el decreto de Andalucía este decreto es de aplicación tanto a las instalaciones de titularidad pública como privada.

Artículo 7. Seguridad.

[...]

2. Especificaciones técnicas: los equipamientos y elementos de juego en los parques infantiles y áreas de juego para la infancia deberán cumplir las especificaciones técnicas sobre normas de seguridad previstas en las normas relacionadas en el anexo al presente Decreto para cada tipo de elemento, poniendo especial cuidado en los aspectos relativos a:

Primero: **materiales**. Se exigirá una cuidada fabricación y tratamiento de los materiales. En concreto, se tendrá en consideración el contenido del apartado 4.1 de la Norma UNE-EN 1176-1:1999 en lo relativo a:

- I. Inflamabilidad.
- II. Maderas y productos asociados.
- III. Metales.
- IV. Materiales sintéticos.
- V. Sustancias peligrosas.

Segundo: **diseño y fabricación**. Los equipos estarán diseñados de forma que el riesgo relacionado con el juego sea apreciable y predecible por los niños. Para eso se tendrá en consideración el contenido del apartado 4.2 de la Norma UNE-EN 1176-1:1999 en lo relativo a los siguientes aspectos:

- I. La integridad estructural.
- II. Protecciones contra caídas de las distintas partes de los equipos.
- III. Acabados dos equipos.

IV. Elementos móviles.

V. Protección contra atrapamientos de la cabeza y del cuello.

VI. Zonas y espacios mínimos de seguridad.

VII. Medios de acceso.

VIII. Cuerdas y cables.

IX. Cadenas.

X. Cimentaciones.

Tercero: la superficie sobre la que puedan caer los menores en el uso de los elementos de juego (superficie de impacto) será de materiales blandos, de tal forma que permitan la adecuada absorción de impactos y amortigüen los golpes. Aquellos materiales que no tengan unas propiedades de amortiguación del impacto significativas deberán utilizarse únicamente fuera de la superficie de impacto.

Cuarto: los revestimientos deberán estar libres de aristas vivas o relieves salientes peligrosos.

Bajo todos los equipamientos de un área de juego que tengan una altura de caída libre superior a los 600 mm, se deberá instalar un revestimiento amortiguador del impacto en la totalidad de la superficie de impacto.

En todo caso será de aplicación la Norma UNE-EN 1177:1998 «Revestimientos de las superficies de las áreas de juego absorbentes de impactos. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo».

Al ser posterior este decreto está levemente mejorado respecto al de Andalucía presentando en esencia las mismas bondades y riesgos en su aplicación.

3. El HIC

Se ha mencionado en numerosas ocasiones en el apartado anterior, pero, ¿qué es exactamente el HIC?

El **HIC** abreviatura de la forma inglesa "**Head Injury Criterion**", es una medida de la **probabilidad** de lesión en la cabeza que surge ante un impacto. El HIC se emplea desde hace relativamente bastante tiempo para evaluar la seguridad de las personas en relación con los vehículos, equipo de protección personal y equipos de deporte, etc.

Las consecuencias de los impactos de cierta envergadura en las personas son dramáticas, por ello se lleva mucho tiempo investigando el modo de reducir las consecuencias que tienen los impactos en las personas a través de la absorción de impactos.

3.1 El origen de las pruebas de absorción de impactos. Los "crash test".

En los años 50, los índices de mortalidad en accidentes de tráfico eran abrumadores, independientemente de las causas las consecuencias de los accidentes eran devastadoras. No existían medidas como los airbags, cinturones de seguridad, frenos ABS, zonas de absorción de impactos, etc.

Ante esta situación en los años 60 y 70 los fabricantes de automóviles se vieron presionados para producir coches cada vez más seguros.

Una de las primeras necesidades que se detectó fue la de poder realizar pruebas de manera metódica, que permitieran objetivar los beneficios que aportaban las medidas de seguridad que iban desarrollando e implementando en los automóviles.

De esta necesidad surgieron distintos índices y modelos de cálculo.

El primer modelo usado fue el Severity Index (SI). Se calculaba usando la siguiente fórmula:

$$SI = \int_0^T (a(t))^{2.5} dt$$

Donde:

T es la duración de la deceleración durante el accidente y
 $a(t)$ es la deceleración en el momento t .

El índice 2.5 fue escogido para la cabeza en base a la experimentación práctica. Para otras partes del cuerpo se escogieron otros índices.

Rápidamente se vio que el *Severity Index* no describía adecuadamente cierto tipo de accidentes.

Se desarrolló entonces el *Head Injury Criterion* (HIC), basándose en el valor medio de la aceleración durante el momento más crítico de la deceleración. La media del valor de la aceleración $a(t)$ en un intervalo de tiempo dado entre t_1 y t_2 se calcula mediante:

$$\bar{a} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt$$

Para calcular el HIC este valor fue modificado en base a datos obtenidos experimentalmente hasta la fórmula siguiente:

$$HIC = \max_{t_1, t_2} \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} \right\}$$

Ésta fórmula significa:

HIC es el máximo valor durante el periodo crítico de tiempo entre t_1 y t_2 para la expresión entre $\{ \}$. El índice 2.5 fue elegido para la cabeza otra vez en base a datos experimentales.

Donde t_1 y t_2 son los tiempos inicial y final (en segundos) del intervalo durante el cual HIC alcanza un valor máximo, y la aceleración se mide en g de (aceleración de la gravedad estándar). Se debe tener en cuenta la duración de tiempo máximo de HIC, $t_2 - t_1$, se limita a un valor específico, por lo general 15 ms. Esto significa que el HIC incluye los efectos de la aceleración de la cabeza y la duración de la aceleración. Grandes aceleraciones pueden ser toleradas para tiempos muy cortos. En un HIC de 1000, una de cada seis personas van a sufrir una lesión grave a su cerebro (más exactamente, una probabilidad de 18% de una lesión grave en la cabeza, una probabilidad del 55% de una lesión grave y un 90% de probabilidad de una lesión moderada en la cabeza, para un adulto promedio).

Probabilidades de lesiones en relación al valor HIC				
Valor HIC	Lesiones leves	Lesiones moderadas	Lesiones críticas	Lesiones fatales
0	0%	0%	0%	0%
250	40%	20%	0%	0%
500	80%	40%	2%	0%
750	95%	70%	4%	0%
1000	98%	90%	8%	2%
1250	100%	95%	10%	2%
1500	100%	98%	20%	4%
1750	100%	100%	45%	10%
2000	100%	100%	70%	30%
2250	100%	100%	90%	70%
2500	100%	100%	95%	90%
2750	100%	100%	98%	95%
3000	100%	100%	100%	100%



El HIC se utiliza en Estados Unidos para determinar el número de "estrellas" de seguridad del automóvil por la "National Highway Traffic Safety Administration" (NHTSA), además se emplea para determinar las calificaciones dadas por el "Insurance Institute for Highway Safety" (IIHS).

De acuerdo con el "Insurance Institute for Highway Safety", el riesgo de lesión en la cabeza se evalúa principalmente tomando como referencia el HIC. Un valor de 700 es el máximo permitido por las disposiciones del Reglamento sobre el airbag en vehículos (NHTSA, 2000) y es el valor mínimo para una calificación "aceptable" del IIHS para un vehículo particular.

Un HIC-15 (es decir, una medida del impacto de más de 15 milisegundos) de 700 se calcula para representar un riesgo del 5 por ciento de una lesión grave (Mertz et al., 1997). Una lesión "grave" es una lesión con un resultado de 4+ en la "Abbreviated Injury Scale" (AIS) (Asociación para el Progreso de la Medicina Automotiva, 1990).

3.2 La norma EN 1177:2009

Desde el comité de normalización europeo de parques infantiles en el año 1998 se desarrolló una serie de normas que incluían requisitos de seguridad para los parques infantiles, así como las necesidades de absorción de impactos de los pavimentos asociados a los elementos de juego.

A continuación se muestran los aspectos más relevantes de la versión más actualizada de la norma relativa a los pavimentos, la norma europea **EN 1177:2008** Revestimientos de las superficies de las áreas de juego absorbentes de impactos. Determinación de la altura de caída crítica.

Esta norma cuenta con un apartado de introducción donde define perfectamente que esta norma se refiere a un método de ensayo y no reúne requisitos de seguridad.

"Esta norma europea se basa en los principios de seguridad que se indican en la Norma En 1176-1 para equipamientos de áreas de juego, y aporta un método para la evaluación de la amortiguación del impacto de las superficies destinadas al uso del equipamiento en el área de juego, según se define en la Norma EN 1176-1."

Además incluye una reflexión al respecto de la elección del HIC como criterio de valoración ya que si bien es cierto que hay muchos tipos de lesiones entre las que se producen en los parques infantiles, se entiende desde el comité que las más graves son las que se producen en la cabeza.

"Las lesiones producidas por caídas en las áreas de juego se pueden producir por diversos motivos, pero se estima que las lesiones más graves son las que afectan a la cabeza. El comité responsable de esta norma europea reconoce que existen muchos factores que afectan a los mecanismos de las lesiones independientemente de las superficies, como por ejemplo la orientación del cuerpo, la violencia de la caída, la densidad ósea, etc. Investigaciones recientes indican que la discapacidad permanente y las lesiones en la columna podrían estar influenciadas por la duración del pulso de aceleración. El comité responsable de esta norma europea se propone considerar las investigaciones recientes en esta materia en una revisión futura de esta norma."

"En consecuencia se ha considerado prioritario establecer un criterio para los materiales de revestimiento con el fin de evaluar su capacidad para reducir las propiedades de lesiones en la cabeza."

A su vez incluye la justificación respecto al nivel de tolerancia para un valor de HIC de 1000 como límite superior.

"En virtud de análisis estadísticos realizados sobre las bases de datos disponibles, se ha utilizado el Criterio de Lesiones en la Cabeza (HIC) de un nivel de tolerancia de 1000, como límite superior para la gravedad de las lesiones que no sean susceptibles de tener consecuencias que produzcan una discapacidad o la muerte. Al elegir la medición del HIC como criterio de seguridad, el método sólo toma en consideración la energía cinética de la cabeza en el momento del"

*impacto con las superficies del área de impacto. **Se considera que las superficies que satisfagan los requisitos de ensayo, cumplen con los requisitos de amortiguación del impacto de la Norma 1176-1.***

A continuación de expresar esa justificación se incluye una nota que debemos considerar de manera especial que es la siguiente.

*Nota: El valor 1000 de HIC es simplemente el punto de referencia en una curva de gravedad de riesgo donde un HIC de 1000 es equivalente a un **3% de probabilidad de una lesión crítica (MAIS 5), un 18% de probabilidad de una lesión muy grave en la cabeza (MAIS 4), un 55% de probabilidad de una lesión grave (MAIS 3), un 89% de probabilidad de una lesión moderada (MAIS 2), y un 99,5% de probabilidad de una lesión leve en la cabeza (MAIS 1), para un adulto masculino medio.***

El objeto de la norma evidencia la relación con la norma EN 1176 y la relación con la eficacia de los pavimentos respecto a los elementos de juego.

*"Esta norma especifica un **método para determinar la amortiguación del impacto de las superficies de las áreas de juego.** Define una altura de caída libre para los revestimientos, que representa el límite superior de su eficacia para reducir las lesiones en la cabeza cuando se utiliza un equipamiento de área de juego conforme a la Norma EN 1176. Los métodos de ensayo se describen en esta norma europea para los ensayos efectuados en un laboratorio y para los efectuados *in situ*."*

Se definen los conceptos básicos que ya se han visto en la norma EN 1176.

3.1 amortiguación de impacto

"Propiedades de una superficie de disipar la energía cinética de un impacto mediante una deformación o un desplazamiento localizado que permite reducir la aceleración."

3.7 Ensayo de caída

"Serie de mediciones de impacto realizadas a partir de un mínimo punto de cuatro alturas de caída crecientes."

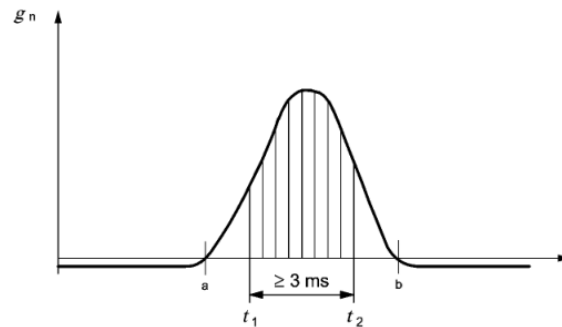
En el punto 4 se define el procedimiento del método de ensayo.

4. Método de ensayo

4.1 Principio

Las probetas o las superficies instaladas de los materiales amortiguadores de impactos sometidos a ensayo, se golpean con una cabeza-maniquí en una serie determinada de impactos desde diferentes alturas de caída. Se procesa la señal que emite durante cada impacto un acelerómetro (véase la figura B.1) montado en la cabeza-maniquí durante cada impacto, para obtener, a partir de los valores medidos de la energía de impacto, un nivel de gravedad que se define como criterio de lesión en la cabeza (HIC).

EJEMPLOS TÍPICOS DE TRAZADO DE ACELERACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO Y CURVA DE ÍNDICES HIC EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE CAÍDA



Leyenda
 g_n aceleración
 t tiempo
 a t_{inicio}
 b t_{final}

Figura B.1 – Ejemplo típico de trazado de aceleración en función del tiempo

Se representa gráficamente el HIC de cada impacto y se calcula la altura de caída crítica como la altura más baja que produzca un valor HIC de 1000 (véase la figura B.2)

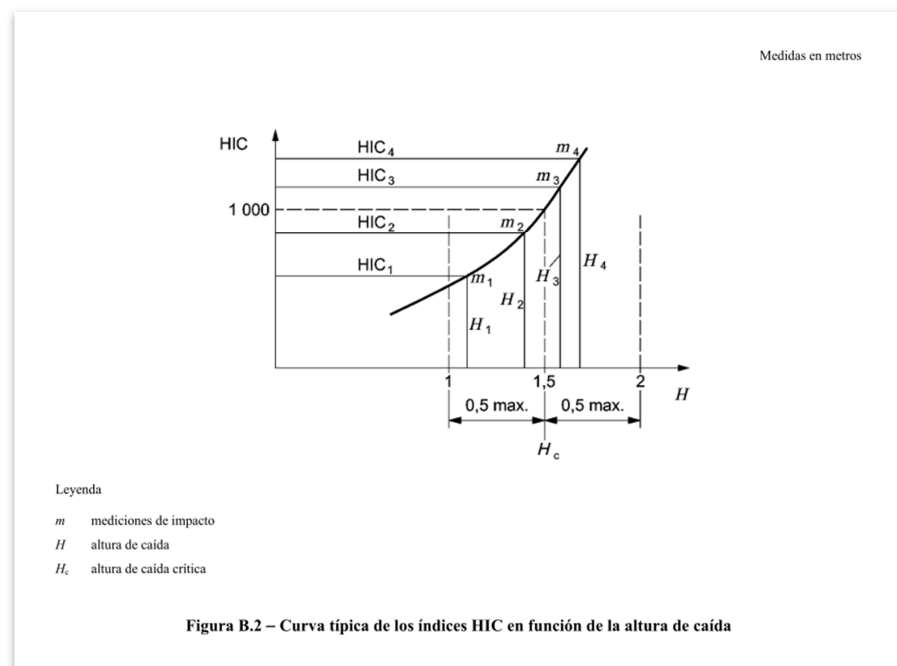


Figura B.2 – Curva típica de los índices HIC en función de la altura de caída

Se incluyen y definen los aparatos de ensayo necesarios para la realización de las medidas conforme a esta norma.

4.2 Aparatos

4.2.1. Dispositivo de ensayo, que consiste en una cabeza maniquí con un acelerómetro, opcionalmente con un amplificador de carga y

en caso de utilizar un acelerómetro uniaxial, un sistema de guiado, y un equipo de medición de impacto como se muestra en la figura A.1.

4.2.2 Cabeza maniquí, que consiste en:

a) una esfera de aleación de aluminio; o

b) un proyectil de aleación de aluminio con extremo hemisférico

Debe tener un diámetro de $160 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, con una masa de $4,6 \text{ kg} \pm 0,05 \text{ kg}$, con una desviación máxima de la superficie hemisférica de $0,5 \text{ mm}$, e ir equipada con un acelerómetro integrado como se indica a continuación.

4.2.3 Amplificador de carga (opcional)

4.2.4 Sistema de guiado

Para guiar la cabeza en caso de usar un acelerómetro uniaxial.

4.2.5 Equipo de medición de la longitud

4.2.6 Equipo de medición de la velocidad

4.2.7 Sistema de liberación

4.2.8 Equipo para la medición de impactos, que consiste en un sistema de medición mediante acelerómetro, un dispositivo de registro y un programa de cálculo de HIC.

4.2.9 Sistema de medición mediante acelerómetro capaz de medir todas las frecuencias en la gama de $0,3 \text{ Hz}$ hasta 1000 Hz . Capaz de medir, registrar y mostrar la aceleración y el tiempo de duración de cada impacto completo.

4.2.10 Dispositivo de registro, capaz de capturar y registrar las señales del tiempo de aceleración que se producen durante un impacto con una frecuencia mínima de muestreo de 10 kHz .

4.2.11 Programa para calcular el valor de HIC para cada impacto.

Respecto a la precisión de los ensayos se incluye un apartado que propone una evaluación del sistema de liberación magnética para comprobar su precisión.

4.3.5 Para evaluar que el efecto del sistema de liberación sobre la cabeza maniquí sea adecuado se debe comprobar mediante una serie de al menos tres ensayos consecutivos de caída sobre una superficie de referencia definida con propiedades constantes. Los valores HIC obtenidos no deben diferir más del $\pm 5\%$.

Respecto a las condiciones de los ensayos en laboratorio se pueden resaltar los siguientes aspectos.

4.4 Condiciones de los ensayos

4.4.1 Ensayos de laboratorio

4.4.1.1 Los ensayos se deben realizar a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.4.1.2 Los ensayos se deben efectuar sobre un soporte de hormigón rígido plano o superficie equivalente [...] para que su deformación no afecte de modo considerable al resultado de los mismos.

4.4.1.3 Para los ensayos de materiales granulosos, se debe utilizar un marco de ensayo sin base de dimensiones mínimas de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$.

4.4.1.4 Para los ensayos de baldosas se deben colocar al menos cuatro baldosas con unas dimensiones mínimas de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ sobre un soporte rígido y plano.

4.4.1.5 Para los ensayos que van a realizarse in situ se debe efectuar uno de los siguientes preparativos, sin juntas ni empalmes:

a) al menos una probeta con una dimensión total mínima de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$, situada sobre un soporte rígido

b) al menos nueve probetas distintas cada una de ellas no menor de $500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$, extendidas sobre un soporte rígido y plano.

Para los ensayos in situ se establecen un par de consideraciones.

4.4.2 Ensayos In situ

4.4.2.1 Los ensayos in situ generalmente se deben efectuar y documentar como se describe para los ensayos en laboratorio salvo que se deben identificar otras condiciones climáticas importantes (la temperatura, la humedad, etc.) que se deben medir y documentar cuando se efectúe el ensayo.

4.4.2.2 Los ensayos In situ no se pueden utilizar para la certificación del producto y se debe elaborar un informe de ensayo por separado.

Respecto a la selección de puntos de ensayo los aspectos más relevantes son los siguientes:

4.5.2 Elección y definición de la posición de ensayo

Las distancias entre dos posiciones de ensayo deben ser superiores a 250 mm y del mismo modo a los bordes de la probeta.

De esta manera en una probeta continua de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ pueden ubicarse 9 posiciones de ensayo.

Para materiales sin cohesión y naturales se localiza la posición de ensayo para cada altura de caída en una nueva posición no sometida a ensayo todavía.

Respecto al procedimiento de ensayo para tipos específicos de productos en lo que se refiere a ensayos en laboratorio de los productos prefabricados.

Para baldosas, losas u otros productos de revestimientos fabricados, se deben realizar al menos nueve ensayos en posiciones distintas sobre las probetas.

Para el cálculo de los resultados se sigue la fórmula:

$$\text{HIC} = \left[\left(\frac{\int_1^2 a \times dt}{t_2 - t_1} \right)^{2,5} \times (t_2 - t_1) \right] \text{máx.}$$

Se emplea en impactos con una duración HIC superior a 3 ms, esto es $(t_2 - t_1) \geq 3$ ms.

Se traza una curva para todas las alturas seleccionadas en la que se trazan los índices HIC en función de las correspondientes alturas de caída obtenidas. Se interpola la curva para obtener la altura de caída equivalente a un HIC de 1000.

A modo de resumen la norma EN 1177:2008 establece los siguientes aspectos más significativos:

- Se deja claro que los daños en cabeza no son los únicos que se producen en los parques infantiles pero si los potencialmente más graves.
- Se estima en un 3% la posibilidad de una lesión "fatal" para un HIC de 1000.
- Se identifica la afección que tiene la temperatura en los resultados pero se normaliza en laboratorio en una única temperatura de ensayo, 23 ± 5 ° C.
- Se define el método de ensayo y se define que el modo para determinar la altura correspondiente a un valor de 1000. Con la toma de dos impactos por debajo de 1000, dos por encima e interpolando para cada punto de ensayo.
- Se selecciona el valor más bajo de todos los puntos de ensayo y siempre se redondea a la baja para determinar el valor de la muestra.

3.3 La norma ASTM 1292

La norma americana Americana ASTM 1292 "*Impact attenuation of surfacing materials within the use zone of playground material*" si bien es relativamente similar a la norma EN 1177 se ha querido incluir en el presente trabajo ya que presenta una serie de diferencias que la hacen interesante.

A continuación se recogen las consideraciones y comentarios más interesantes referidos a dicha norma.

A diferencia de la norma Europea EN 1077:2008 en esta norma si se incluyen criterios de aceptación de los pavimentos.

1.3 Esta especificación establece un criterio de comportamiento de atenuación de impacto para materiales de revestimiento patio; expresado en una altura de caída crítica.

Establece el método de ensayo de laboratorio indicando que es obligatorio para la adecuación a la norma.

1.4 Esta especificación establece los procedimientos para la determinación de la altura de caída crítica de recreo materiales bajo condiciones de laboratorio la superficie. El examen de laboratorio es obligatorio para las superficies que se ajusten a los requisitos de esta norma.

Establece una serie de consideraciones respecto a factores que afectan a los pavimentos de seguridad y que en un ensayo de laboratorio muchas veces se escapan. Es interesante valorar estos aspectos para poder estimar comportamientos en entornos reales.

1.5 La prueba de laboratorio requerida por esta especificación se refiere a la realización de materiales en condiciones de seco.

1.6 La altura de caída crítica de un material de revestimiento parque infantil determinado bajo condiciones de laboratorio no tiene en cuenta factores importantes que pueden influir en el rendimiento real de los materiales de revestimiento instalados.

Los factores que se sabe que afectan la superficie el rendimiento del material incluyen, pero no se limitan al envejecimiento, la humedad, el mantenimiento, la exposición a temperaturas extremas (por ejemplo, congelación), la exposición a la luz ultravioleta, la contaminación con otros materiales, la compactación, la pérdida de espesor, la contracción, la inmersión en agua, y así sucesivamente.

Los ensayos en campo los admite también pero dejando claro que los valores resultado son únicamente válidos para las condiciones ambientales en que se hayan realizado los ensayos.

1.8 Los resultados de una prueba de campo determinar la conformidad de los materiales de revestimiento juegos instalados con el criterio de esta memoria y son específicos de las condiciones ambientales en las que se realiza el examen.

Respecto a los requisitos que demanda de los pavimentos establece dos parámetros, **un nivel de HIC no superior de 1000 y una aceleración máxima inferior a 200 g.**

4.1 Superficie Rendimiento Parámetros

El promedio de g-max y la lesión en la cabeza media Criterio (HIC) resultados calculados a partir de los dos últimos de una serie de tres ensayos de impacto se utilizan como medidas de rendimiento de la superficie.

4.2 Criterio de rendimiento El criterio de rendimiento utilizado para determinar la conformidad con los requisitos de esta especificación será: una g-max no superior a 200 g y un HIC no superior a 1000.

Y la diferencia más significativa se encuentra en el apartado dónde define las características del ensayo y es que el mismo se realiza con tres **temperaturas de referencia: -6, 23 y 50°C.**

4.3.2 La altura de caída crítica de la superficie del parque se han determinado de acuerdo con los requisitos de la Sección 13 de esta especificación, el uso de temperaturas de referencia de 25, 72 y 120 ° F (-6, 23 y 49 ° C) y parámetros de rendimiento de la superficie

Se recoge la necesidad de evaluar los pavimentos en los rangos concretos de temperatura y humedad si es que son conocidos para conocer la respuesta exacta de los mismos a ese tipo de exposición.

NOTA 2 Las temperaturas especificadas abarcan la gama experimentado por la mayoría de los campos de juego. Si la temperatura del material de superficie superiores o inferiores prevalecen cuando se utiliza el patio de recreo, se pueden especificar las pruebas adicionales a temperaturas más altas o más bajas.

NOTA 3- El especificador puede requerir materiales de superficie que ser probados para determinar la altura de caída crítica en condiciones de superficie mojada o congelada, o ambos.

Otro aspecto interesante es que "obliga" al fabricante a definir que las muestras empleadas son exactamente iguales a las que se producen e instalan para que les sean de aplicación así como que **los ensayos de justificación no pueden tener más de 5 años de antigüedad.**

4.3.3 El examen de laboratorio utilizado para determinar la altura de caída crítica se han llevado a cabo en la superficie muestras de materiales idénticos en diseño, materiales, componentes, espesor, y la producción como la superficie de parque instalado.

4.3.4 El examen de laboratorio utilizado para determinar la altura de caída crítica de los materiales especificados para su uso en un patio de recreo se han llevado a cabo no más de cinco años antes de la fecha de instalación de la superficie del patio.

En cuanto al método de ensayo los aspectos más interesantes son aquellos que se alejan de los contenidos en la norma EN 1177:2008.

Para cada muestra de superficie en cada temperatura de referencia y la altura de la caída, los resultados de la segunda y la tercera de las tres caídas consecutivas se promedian para dar valores promedio.

5.2 La altura de caída crítica de materiales de superficie se determina mediante muestras representativas de pruebas de impacto en un rango de alturas de caída. El material de revestimiento se ensaya a temperaturas de 25, 72, y 120 ° F (-6,23, y 49 ° C). La altura de caída crítica se determina como la máxima altura de caída teórica desde la que los parámetros de rendimiento de superficie cumplen con el criterio de rendimiento.

5.3 Prueba de Rendimiento de la superficie instalada -Para probar si una superficie del patio instalado dentro de la zona de uso de una estructura de juego se encuentra con el criterio de rendimiento de esta memoria descriptiva, un ensayo de impacto se lleva a cabo de conformidad con las secciones 16-19 usando una altura teórica de caída igual o mayor que la altura de caída de la estructura del equipo. La prueba se lleva a cabo en condiciones ambientales y los resultados se incluyen en el informe.

Respecto al acondicionamiento de las muestras se hace un acondicionamiento inicial y después se realizan los acondicionamientos a cada una de las temperaturas de referencia restantes.

12.2.1 Las muestras deberán ser acondicionados previamente a $50 \pm 10\%$ de humedad relativa y 23 ± 3 ° C durante un mínimo de 24 h antes del comienzo de la prueba.

12.2.2 Para las pruebas en cada temperatura de referencia, tres muestras se conservarán a la temperatura de referencia de ± 2 ° C (± 1 ° C) durante un mínimo de 8 h. El ensayo de una muestra debe iniciarse dentro de 1 min y todas las pruebas debe ser completado dentro de 7 min de extracción de la muestra del ambiente acondicionado. Si la prueba no se ha iniciado o completado dentro del intervalo especificado, la muestra debe ser acondicionada durante de 8 horas más.

Respecto a las muestras se emplean nueve de dimensiones similares a las que se emplean en la norma EN 1177:2008.

13.1 Número de muestras

Al menos nueve ejemplares de un determinado material de revestimiento uniforme será sometido a la prueba, con cada muestra que tiene unas dimensiones mínimas de superficie de 18 por 18 pulgadas (460 por 460 mm). Si un material de revestimiento está destinado a la instalación en combinación con otros materiales tales como esterillas de desgaste, esta combinación debe ser probada.

Los ensayos de caída se hacen sobre cada una de las muestras a través de tres ensayos sobre el mismo punto a la misma altura.

La realización de una muestra individual en cada temperatura de referencia y la altura de referencia se determinará mediante la realización de tres ensayos de impacto en el mismo punto de prueba de la muestra de la misma altura de caída. El intervalo entre las pruebas de impacto será de $1,5 \pm 0,5$ min. Se calculan las puntuaciones medias g -max y HIC haciendo un promedio de los resultados del segundo y tercer impacto.

En el procedimiento de ensayo se definen las condiciones de los mismos, en cuanto a orden de proceder, número de ensayos por muestra y algo especialmente interesante y que no se realiza del mismo modo en la norma EN 1177:2008. Éste aspecto es el de las alturas a probar, que son estáticas y se van incrementando en 1 pie (0,30 m) hasta que los valores de referencia ($HIC \leq 1000$ y aceleración ≤ 200 g) no se cumplen.

15.1.1 En cada temperatura de referencia especificada; realizar el número requerido de pruebas de impacto, de acuerdo con la Sección 10 para determinar el rendimiento de la serie de alturas de caída referencia. Los ensayos de impacto en cada combinación de temperatura de referencia y la altura de caída de referencia se realizarán en una nueva muestra.

15.1.2 La serie de alturas de caída referencia debe consistir en una sucesión creciente en intervalos de 1 pie (0,3 m). Incremente la altura de caída referencia hasta que los resultados de las pruebas no cumplan con el criterio de desempeño especificados en el punto 4.2. Como mínimo, las pruebas de impacto se deben realizar 'a alturas de caída teóricas de $1 \pm 0,5$ pies ($0,30 \pm 0,15$ m) por encima y $1 \pm 0,5$ pies ($0,30 \pm 0,15$ m) por debajo de la altura de caída teórico en el que los resultados de la prueba de impacto se aproxima al límite criterio de rendimiento.

Para la obtención de los resultados se obtiene aquella altura que cumple los criterios establecidos para todas las temperaturas de referencia, con la consiguiente reducción de altura que esto supone.

*15.2 La altura de caída crítica de la superficie del parque infantil o material de revestimiento se determina como la altura máxima de caída teórica en el que los resultados de pruebas de impacto cumplen el criterio de actuación **en todas las temperaturas de referencia** y se redondearán con el pie entero más próximo (0,3 m) igual a o por debajo del valor real.*

Además el sistema de redondeado de resultados es distinto al de la norma Europea EN 1177:2008 ya que puede ser mucho más restrictivo pudiendo llegar a perder más altura.

Como anexo se incluye un apartado especial que intenta relacionar los riesgos de daños en función del valor de HIC. Con este apartado también se quiere poner en valor (entiende el autor) que los pavimentos instalados aun cumpliendo los requisitos de la norma no son absolutamente seguros sino que únicamente reducen los riesgos de sufrir lesiones de gravedad.

"La mayor parte de lo que se sabe sobre la relación entre la magnitud del impacto y el riesgo de lesión en la cabeza proviene de

experimentos con cadáveres y voluntarios humanos sometidos a gran aceleración e impactos en condiciones de laboratorio. Los datos de estos experimentos constituyen la base de los problemas de la automoción y aeronaves.

No ha habido ninguna investigación directamente relacionada a la magnitud de un impacto de una caída en un parque infantil a la gravedad de las lesiones sufridas por lo tanto en este campo se emplean los datos de los experimentos de la industria automotriz para proporcionar información sobre el riesgo de lesiones.

XI.2 la figura. XI.I muestra la probabilidad de diferentes grados de lesiones que se producen como resultado de impactos con una puntuación HIC dada. Estos "Curvas Prasad/Mertz ampliadas" se basan en datos de experimentos de cadáveres en los que se relaciona la el valor de HIC con la tipología de lesión y su probabilidad."

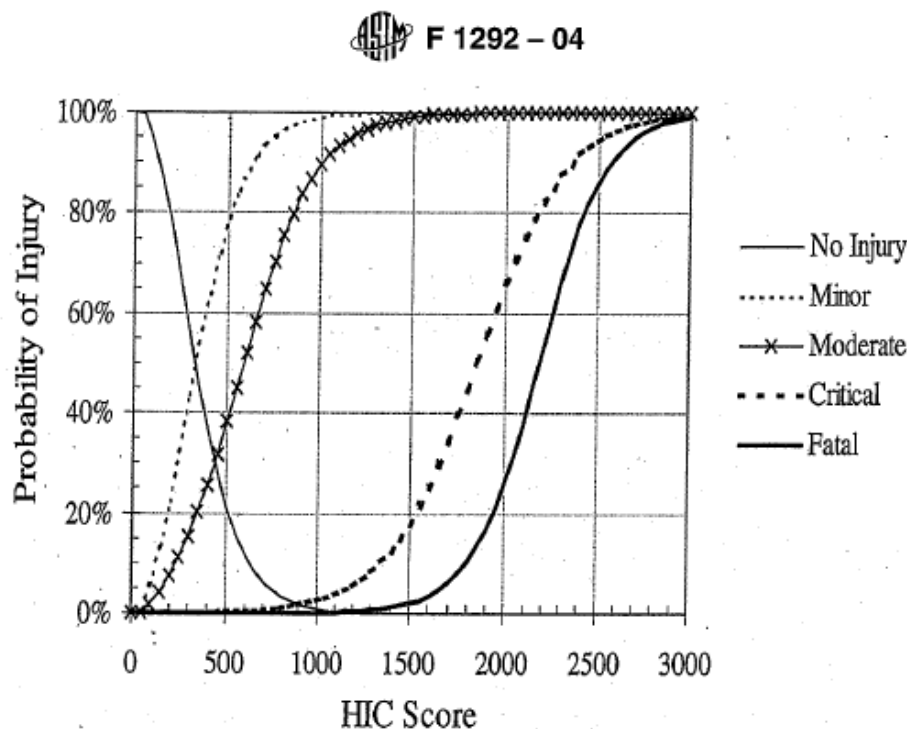


FIG. X1.1 Probability of Specific Head Injury Level for a Given HIC Score

A modo de resumen la norma ASTM 1292-04 establece de manera general las características del método de ensayo con los siguientes aspectos relevantes en relación a la norma EN 1177:2008:

- Se identifican aspectos de afeción a la absorción de impactos que no se pueden reproducir en condiciones de laboratorio, como la compactación, el uso, irradiación solar, etc.
- Se da mucha importancia a la temperatura de ensayo al conocerse la gran afeción que tiene sobre los resultados por lo que se llega a la determinación de hacer los ensayos a tres temperaturas de referencia, la convencional y dos extremas, fría y caliente. Además



de esto se incluye la posibilidad de hacer los ensayos a temperaturas concretas fuera de los rangos definidos si se conoce que el pavimento se va a emplear en temperaturas más extremas ya sean cálidas o gélidas.

- Se incluye la posibilidad de hacer los ensayos en condiciones húmedas o en estado de congelación.
- El cálculo de resultados es más conservador redondeándose de un pie en un pie (0,30 m).
- Por último se incluye un anexo informativo para poner en valor la importancia de conocer exactamente el significado que tiene un valor de HIC 1000. Las consideraciones que hay que hacer al respecto de que no se trata de un nivel de seguridad absoluta sino un nivel en el que los riesgos de sufrir una lesión fatal se reducen al 2% pero no se eliminan, y mucho menos en lesiones de otro tipo. Además con la consideración de que esos datos son para adultos medios.



4. Los pavimentos de seguridad

Una vez definido el marco normativo y reglamentario donde se incluyen los requisitos que deben cumplir los materiales y productos a emplear como pavimentos de seguridad, pasamos a conocer las distintas tipologías que se emplean así como sus principales propiedades.

4.1 Tipologías de pavimentos de seguridad

En las distintas normas que regulan los pavimentos de seguridad se hace una primera clasificación de los pavimentos de seguridad condicionada por el sistema a emplear para la realización de los ensayos de absorción de impactos. Esta primera clasificación se realiza en base a la cohesión de los materiales que forman el pavimento, materiales sin cohesión y materiales cohesivos.

4.1.1 Materiales sin cohesión

Los materiales sin cohesión se han venido empleando históricamente como pavimentos en las zonas de juego. Últimamente se emplean menos pero es necesario conocer sus propiedades así como sus ventajas y defectos.

Los pavimentos formados por materiales sin cohesión más empleados e incluidos en las normas de parques infantiles son los siguientes:

- Materiales sin cohesión
 - o Césped/sustrato natural
 - o Arena
 - o Gravilla
 - o Corteza
 - o Viruta de madera
 - o Otros

Como ventajas de estos pavimentos podemos nombrar las siguientes:

- Materiales de fácil producción, incluso alguno de ellos aprovechamiento de residuos, con la revalorización de los mismos.
- Materiales de fácil instalación
- Materiales de fácil mantenimiento
- Materiales baratos en comparación con productos de mayor grado de industrialización

Como desventajas podemos resaltar las siguientes:

- Precisan de mayores espesores para niveles de altura crítica de caída similares a los pavimentos realizados con materiales cohesivos.
- Mantenimiento sencillo pero obligatorio y difícilmente programable ya que depende del uso que se haga de los mismos
- La seguridad de los pavimentos depende absolutamente de un mantenimiento difícilmente programable
- Precisan reposición de material
- Materiales orgánicos en algunos casos que presentan problemas de pudrición ante la presencia continuada de agua.

Por tener un orden de magnitud de las propiedades de absorción de impactos se presenta la tabla resumen de altura crítica que aportan para espesores dados algunos de los materiales sin cohesión.

Material	Descripción	Prof mínima	Altura crítica de caída
	(mm)	(mm)	(mm)
Césped/sustrato natural			≤ 1000
Corteza	Granulometría de 20 a 80	200	≤ 2000
		300	≤ 3000
Viruta de madera	Granulometría de 5 a 30	200	≤ 2000
		300	≤ 3000
Arena	Granulometría de 0,2 a 2	200	≤ 2000
		300	≤ 3000
Gravilla	Granulometría de 2 a 8	200	≤ 2000
		300	≤ 3000

4.1.2 Materiales cohesivos

Los materiales cohesivos como parte fundamental de pavimentos de seguridad aportan unas propiedades interesantes para el fin que persiguen. Existen multitud de tipologías dentro de las cuales sobresalen los pavimentos formados principalmente por caucho, en gran cantidad reciclado.

La gran difusión de este tipo de materiales últimamente se debe a dos motivos principalmente.

- En primer lugar por el aprovechamiento en cuanto a reutilización y revalorización de un residuo de alto impacto medioambiental.
- En segundo lugar por las prestaciones y características con las que cuentan, aportando una gran versatilidad tanto en presentaciones, propiedades y usos potenciales.

Los pavimentos formados por materiales cohesivos se pueden instalar en dos formatos claramente diferenciados:

- Placas de materiales sintéticos
- Pavimentos continuos

Las posibilidades de uso de distintos materiales son muy numerosas si bien en la práctica los más extendidos con amplia diferencia son los pavimentos formados por caucho. Dentro del alcance de este trabajo nos hemos centrado en el análisis de los pavimentos continuos de este material dado que se trata de el de mayor difusión y empleo.

4.1.3 El caucho como pavimento de seguridad

Los pavimentos de caucho que se emplean como pavimentos de seguridad en su mayoría presentan una estructura de elementos más o menos fijos en los que se modifican materiales, propiedades y espesores.

Convencionalmente están formados por dos capas:

- una **capa superficial** acabado de **EPDM** (caucho etileno propileno dieno) o **TPV** (termoplástico vulcanizado) normalmente coloreada con pigmentos que le aporta continuidad y homogeneidad, participa poco del comportamiento mecánico aunque facilita el reparto de energía a la capa inferior a través de la adición de resinas elásticas.
- Una capa inferior más gruesa de **SBR** (caucho estireno-butadieno) procedente del reciclado y trituración de neumáticos desechados.

En la guía de pavimentos continuos de caucho (IBV, 2011) desarrollada por el IBV para la asociación española de fabricantes de mobiliario urbano y parques infantiles (AFAMOUR) se recogieron los aspectos de diseño que afectan a las distintas propiedades de los pavimentos de caucho.

A continuación se presentan los factores de diseño identificados en el trabajo de investigación, que dependen directamente de la estructura y constitución del pavimento:

- **Resina.** Las resinas utilizadas habitualmente por los fabricantes no presentan influencia significativa en el valor final del ensayo HIC.
- **Porcentaje de Resina.** El porcentaje de resina más comúnmente utilizado por los fabricantes es del 12-13% en la mezcla con el SBR (material de la capa inferior) y del 18-20% en la mezcla con el material de la capa superior (EPDM, TPV, etc.).
- **Tamaño de grano del SBR.** Existe gran variedad de tamaños de grano en el mercado, por lo que se consideraron en los ensayos 3 tamaños genéricos (grande, mediano y pequeño), observándose una influencia de cada uno en el valor final del ensayo HIC.
- **Espesor de la capa de SBR.** Los espesores de SBR más comúnmente utilizados en el mercado presentan valores de 30 a 120 mm dependiendo del valor de HIC recomendado para cada caso. En este estudio se valoró como la variable que más influencia tiene sobre el valor final del HIC.

- **Tipo de material de la capa superior.** Existen diversos tipos de material (diversos tipos de EPDM, TPV, etc.) utilizados por los fabricantes. No obstante, no se encontraron diferencias significativas entre los seleccionados en el estudio detallado del HIC.
- **Espesor de la capa superior.** El espesor de la capa de la capa superior normalmente empleado por los fabricantes es de 10 mm.

De éstos factores de diseño así como de los factores de uso e instalación los que tienen influencia en el valor de HIC son los siguientes:

- **Espesor**
El espesor es la variable con mayor influencia en el HIC. La relación entre el espesor y el HIC es de tipo cuadrático, lo que significa que al aumentar el espesor también aumenta el HIC pero con la siguiente particularidad: en espesores pequeños un aumento de espesor significa un aumento considerable de HIC, mientras que en espesores grandes un aumento de espesor significa un aumento mucho menor de HIC.
- **Tamaño de grano del SBR**
El tamaño de grano del SBR es un factor con influencia significativa en el valor del HIC. Dicha influencia supone una variación del 2% en el valor final del HIC.
- **Temperatura de ensayo**
Si fijamos el resto de variables de diseño, (120 mm de espesor SBR, tamaño de grano de SBR grane, EPDM y resina) y estudiamos únicamente la influencia de la temperatura en el HIC, se obtiene una relación lineal entre ambos dentro del rango (5-40 °C). Un incremento de temperatura de 1° C dentro de dicho rango supone un incremento máximo del valor de HIC del 0,74%.
- **Envejecimiento**
El valor del HIC no se ha visto afectado tras someter las muestras a un procedimiento de envejecimiento artificial según la norma UNE-EN 14836:2006.
Sin embargo, **el envejecimiento natural**, es decir el paso de **un año natural** entre la realización de los ensayos de HIC ha influido en la disminución de la capacidad de amortiguación de impactos del pavimento continuo de caucho.

Según esta experimentación **los incrementos estimados** tras un año de envejecimiento natural se corresponden con los siguientes valores:

- Variación mínima 0,00%
- Variación media -3,35%
- Variación máxima -6,77%

Se obtenía como máxima reducción en el valor del HIC tras un año de envejecimiento de aproximadamente el 7%.

Cabe destacar que estos valores son estimaciones, en cualquier caso resulta necesario verificarlos porque condicionan enormemente la durabilidad del material, más cuando esa variación es la mínima variación natural propia del envejecimiento del material, otros factores como el uso y la compactación harían que esa reducción tras un año de uso necesariamente fuera mayor.

Dentro de esta investigación también se destacaba la afección de la temperatura en el momento de la instalación del pavimento.

- **Temperatura de instalación**

La temperatura ambiente durante el proceso de colocación del pavimento continuo de caucho es un factor con influencia significativa en la capacidad de amortiguación de impactos (HIC) de dichos pavimentos. En este caso, pavimentos realizados a temperaturas bajas (5° C) tendrían una menor capacidad de amortiguación de impactos (HIC) que aquellos realizados a temperaturas medias (20 ° C) o altas (35° C).

A continuación se muestra un cuadro resumen de los factores analizados con influencia en el valor final del HIC.

Resumen de factores con influencia en el HIC

	Definición del factor	Influencia
Factores de diseño	Espesor de la capa inferior (de SBR)	Con importante influencia
	Tamaño de grano de la capa inferior (de SBR)	Con influencia
	Tipo de material de la capa superior (de espesor de 10 mm)	Sin influencia significativa
	Tipo de aglomerante empleado en el pavimento	Sin influencia significativa
Condiciones de colocación	Temperatura del ambiente en la instalación del pavimento	Con influencia
	Presencia de agua/lluvia en las horas siguientes a la instalación del pavimento	Sin influencia negativa hasta cierto caudal
Factores externos de uso	Presencia de arena y polvo fino sobre el pavimento	Sin influencia significativa
	Temperatura del ambiente donde está instalado el pavimento	Con influencia
	Envejecimiento	Con influencia

En otros proyectos de investigación de alcance similar se han encontrado resultados muy similares. El proyecto **"SAFESURFACE. Parques infantiles: correlación entre parámetros físico-químicos y la capacidad de amortiguación de las superficies"** desarrollado por la Asociación de investigación de la industria del juguete anexas y afines (AIJU) entre 2010 y 2011,

analizó la influencia de ciertos parámetros en la capacidad de absorción de impactos en superficies sintéticas utilizadas en los parques infantiles.

Las principales conclusiones a las que se llegó en este estudio fueron las siguientes:

- El factor más importante que afecta a la altura crítica de caída en las baldosas poliméricas analizadas es la **temperatura ambiente**. Este factor externo, afecta de dos formas distintas a la propiedad de medida:

- **De forma directa**; debido a que las propiedades de amortiguación del conjunto de la baldosa son fuertemente dependientes de la temperatura, obteniendo grandes variaciones en la capacidad de absorción de impactos al pasar de temperatura ambiente a bajas temperaturas (por debajo de 0°) y siendo menos notable en el paso de temperatura ambiente a alta temperatura (49° ±5 °). Se ha podido obtener una variación de hasta un 10% en amortiguación de impactos.

- **De forma indirecta**, con otros agentes ambientales como humedad o exposición directa al sol, que hacen que las propiedades elásticas del adhesivo de poliuretano se vean alteradas (disminuidas) con el tiempo, debido al envejecimiento de éste y su posterior endurecimiento.

Este último factor no llegaron a cuantificarlo, aportando la tesis fundada de su reducción pero no llegando a valorarse el grado de afección.

Además de la temperatura al igual que en el estudio desarrollado por IBV-Afamour y coincidiendo los principales presentaron otros factores como elementos que afectan a la capacidad de amortiguación:

- espesor de la capa de SBR;
- tamaño de grano de SBR
- peso de la muestra;
- porcentajes de elastómeros introducidos;
- cantidad de aglomerante de resina.

La particularidad de éstos últimos factores es que se trata de factores de diseño y por tanto controlables. Aunque son controlables permiten variar la capacidad de amortiguación en un intervalo relativamente estrecho de valores, no resultando suficientes para paliar el efecto de la temperatura en las baldosas según este estudio.

5. Material y métodos

Del análisis de las propiedades de los productos y la afección que tienen en la amortiguación de impactos, sumado a un desconocimiento bastante extendido en prescriptores y compradores, resulta necesario conocer la evolución real de la propiedad de amortiguación en pavimentos de caucho reciclado. Se debe poder cuantificar esa pérdida mínima pero inexorable de amortiguación que se produce en éste tipo de pavimentos por el sólo hecho del paso del tiempo. De manera que permita una prescripción e instalación responsable, pero sobretodo un mantenimiento y vigilancia de las propiedades, adecuados a los niveles de seguridad que se entienden como mínimos a garantizar si queremos que éstas instalaciones no supongan riesgos añadidos para los usuarios.

Por todo lo visto en los apartados anteriores el objetivo del proyecto era evaluar la evolución de la propiedad de absorción de impactos de las muestras de pavimento de seguridad de caucho reciclado destinadas a pavimentos de seguridad en áreas infantiles objeto de análisis, a través de la realización de distintos ensayos que evaluaran la amortiguación de impactos seleccionando el ensayo más ampliamente empleado para éstas aplicaciones y con una base normativa robusta.

Un estudio de este tipo se puede plantear en distintas condiciones, las condiciones en que se plantee el estudio afectarán en gran medida los resultados obtenidos en los ensayos posteriores, por ello dichas condiciones deben quedar perfectamente definidas. El objetivo es evaluar la propiedad de amortiguación de impactos a lo largo del tiempo, pero resulta especialmente interesante hacerlo simulando condiciones lo más similares posible a las condiciones reales de instalación. Todo ello para que los datos obtenidos permitan hacer una estimación lo más realista posible de qué pasa con esta tipología de pavimentos en condiciones reales.

Por ello, se decidió disponer en el exterior las muestras de ensayo, para que se vieran expuestas a las condiciones ambientales reales, tanto de lluvia, como de irradiación solar y temperatura.

Cabe resaltar que hay una condición que no se puede simular y que merece la pena nombrar ya, aunque se desarrollará más ampliamente en el apartado de discusión de resultados. Esta condición se refiere al uso de los pavimentos, y es que durante los periodos de exposición a los agentes ambientales exteriores, las muestras no han sido usadas, ni pisadas, ni se han visto sometidas a fuerzas de compresión más allá que las propias de la gravedad atmosférica, lo que necesariamente repercutirá en los resultados de la amortiguación de impactos, por lo que los mismos se deberán tomar como mínimos de pérdida de amortiguación al poder desecharse el efecto de la compactación del material debida al uso.

5.1 Diseño experimental

Para cumplir el objetivo del proyecto se han seleccionado muestras de pavimentos continuos de caucho reciclado de distintos fabricantes y características y se plantea la realización de ensayos de determinación de la **altura de caída crítica** conforme a la norma EN 1177:2008 a lo largo de un período de tiempo.

Además de éstos ensayos se incluyen los resultados iniciales de caracterización de ensayos complementarios relativos a otras propiedades que permiten una caracterización mayor de las muestras objeto evaluación, como son:

- Resistencia a la abrasión: **UNE-EN 5470-1:1999** Tejidos recubiertos de plástico o caucho. Determinación de la resistencia a la abrasión. Parte 1: aparato de ensayo de abrasión Taber.
- Resistencia al deslizamiento: **UNE-ENV 12633:2003** método de la determinación del valor de resistencia al deslizamiento/resbalamiento de los pavimentos pulidos y sin pulir. El ensayo se ha realizado sobre un punto, en dos direcciones de la muestra.
- Envejecimiento por radiación UV: **UNE-EN 14836:2006**. Superficies sintéticas para espacios deportivos de exterior – Envejecimiento artificial. Y evaluación de la solidez del color según la norma: **UNE-EN 20105-A02: 1998**. Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte A02: escala de grises para evaluar la degradación.

Planificación de los ensayos

La planificación de los ensayos se ha realizado en base a la disponibilidad de las muestras en la fase inicial y la disponibilidad de equipos en las pruebas posteriores, intentando seguir las pautas temporales siguientes:

- **Prueba inicial previa al desarrollo del proyecto.** Donde se realizaron los siguientes ensayos:
 - o **Determinación de la altura de caída crítica (HIC)** Según norma: **EN 1177:2008**. Realizada en un único punto por limitaciones propias del proyecto en el que se enmarcaban.
 - o **Resistencia a la abrasión** según norma: **UNE-EN 5470-1:1999**. Realizada sobre una probeta de 10x0 cm y 2 cm de espesor Se pesó antes y después de aplicar 1000 ciclos de muela abrasiva para determinar la pérdida de material por abrasión.
 - o **Resistencia al deslizamiento** según norma: **UNE-ENV 12633:2003**. Realizada sobre un punto en dos direcciones perpendiculares
 - o **Pérdida de color** según normas: **UNE-EN 14836:2006** y **UNE-EN 20105-A02: 1998**. Realizada sobre una probeta de 10x 20 cm y 2 cm de espesor. El grado de solidez de color se midió mediante una escala de grises de nueve grados, sobre una muestra del producto tras ser envejecida durante 3000 horas, alternando ciclos de

radiación UVA y condensación y comparando con una muestra del producto no sometida a envejecimiento.

Pruebas previstas en el marco del presente proyecto:

- **Prueba a los 12 meses de exposición en el exterior** (Finalmente por las necesidades operativas de los equipos la prueba se realizó a los 13 meses). Donde se realizaron los siguientes ensayos:
 - o **Determinación de la altura de caída crítica** (HIC) según norma: **EN 1177:2008** sobre nueve puntos del pavimento.
 - o Pérdida de color según normas: **UNE-EN 14836:2006** y **UNE-EN 20105-A02: 1998** comparando la muestra envejecida naturalmente con una probeta del producto no sometida a envejecimiento desde el origen.

- **Prueba a los 18 meses** Donde se realizaron los siguientes ensayos:
 - o **Determinación de la altura de caída crítica** (HIC) según norma: **EN 1177:2008** sobre nueve puntos del pavimento.
 - o Pérdida de color según normas: **UNE-EN 14836:2006** y **UNE-EN 20105-A02: 1998** comparando la muestra envejecida naturalmente con una probeta del producto no sometida a envejecimiento desde el origen.

- **Prueba a los 24 meses** Donde se realizaron los siguientes ensayos:
 - o **Determinación de la altura de caída crítica** (HIC) según norma: **EN 1177:2008** sobre nueve puntos del pavimento.
 - o Pérdida de color **UNE-EN 14836:2006** y **UNE-EN 20105-A02: 1998** comparando la muestra envejecida naturalmente con una probeta del producto no sometida a envejecimiento desde el origen.

- **Prueba a los 30 meses** Donde se realizaron los siguientes ensayos:
 - o Determinación de la altura de caída crítica (HIC) **EN 1177:2008** sobre nueve puntos del pavimento.
 - o Pérdida de color **UNE-EN 14836:2006** y **UNE-EN 20105-A02: 1998** comparando la muestra envejecida naturalmente con una probeta del producto no sometida a envejecimiento desde el origen.

Con los resultados de cada una de las pruebas se podrá analizar la evolución temporal de las propiedades ensayadas conforme a las condiciones de ensayo detalladas.

5.2 Muestras

Las muestras empleadas en el estudio son 5 probetas de distintos fabricantes y de características de partida diferentes en cuanto a sus propiedades de amortiguación. Se han seleccionado aquellas que cubrían los rangos de altura de caída crítica más comunes para este tipo de pavimentos y espesores y no muy distintas entre si.

Las muestras de ensayo se han seleccionado de un conjunto de muestras aportadas por fabricantes e instaladores para un proyecto formativo. En el mismo los instaladores de cada una de las empresas debían realizar probetas de 1x1m y espesor en torno a 5 cm. Las muestras se empleaban para evaluar a través de ensayos y por expertos, la adecuación de los sistemas de fabricación "in situ" de las mismas, por lo que se realizaron cuidando especialmente la calidad en la ejecución de las muestras por sus mejores instaladores.

Para el desarrollo de los ensayos iniciales se precisaban muestras complementarias de las probetas por lo que en aquellos casos que no se disponía de las mismas se tuvo que realizar la extracción de las probetas originales, por lo que 4 muestras presentan reducciones en sus dimensiones. Dichas reducciones han sido tenidas en cuenta a la hora de seleccionar los puntos de ensayo para que no afectaran al desarrollo posterior de los ensayos.

Se extrajeron dos probetas de 10 x 10 cm y 1 de 10 x 20 cm en cuatro de las 5 muestras.

Todas las muestras se fabricaron para la actividad formativa en **Octubre de 2010**.

Las muestras objeto de análisis y sus dimensiones se describen a continuación:

Muestra 1



Muestra de pavimento de caucho continuo de dimensiones 1000 X 1000 mm y 51,6 mm de espesor total. Capa superior de EPDM de 11 mm color granate y capa inferior de 40 mm de SBR.

Muestra 2



Muestra de pavimento de caucho continuo de dimensiones 1000 x 1000 mm y 49,2 mm de espesor total. Capa superior de EPDM de 10 mm color granate y capa inferior de 39 mm de SBR. Montada sobre soporte de madera.

Muestra 3



Muestra de pavimento de caucho continuo de dimensiones 1000 x 1000 mm y 57 mm de espesor total. Capa superior de EPDM de 12 mm color verde y capa inferior de 45 mm de SBR. Montada sobre soporte de madera.

Muestra 4



Muestra de pavimento de caucho continuo de dimensiones 1000 x 1000 mm y 44,2 mm de espesor total. Capa superior de TPV de 9 mm color granate, resina Flexilon 1102 y capa inferior de 55 mm de SBR granulometría 7 mm. Montada sobre soporte de madera.

Muestra 5



Muestra de pavimento de caucho continuo de dimensiones 1000 x 1000 mm y 44,2 mm de espesor total. Capa superior de EPDM de 10 mm color granate y capa inferior de 35 mm de SBR granulometría 7 mm. Montada sobre soporte de madera.

5.3 Exposición de las muestras

Las muestras de ensayo fueron dispuestas el 1 de diciembre de 2010 en la planta cubierta de un edificio ubicado en Valencia. El edificio se encuentra dentro del campus de vera de la Universitat Politècnica de València (UPV) situado a unos 300 metros de la playa. La planta cubierta se encuentra a una cota de 20 metros de altura sobre el nivel del mar.

Las muestras se dispusieron horizontalmente sobre la capa de protección de la cubierta no transitable del edificio, formada por grava. Con esto se pretendía evitar la acumulación de agua sobre las muestras, así como su fácil eliminación en los períodos de lluvia.



Figura 1. Muestras expuestas a las condiciones climáticas exteriores.

La disposición de las muestras se realizó de modo que no recayeran sobre las mismas sombras proyectadas con carácter permanente para que se pudiera garantizar que los niveles de irradiación así como la cantidad de lluvia recibida por las distintas muestras fuera la misma.



Figura 2. Muestras expuestas a las condiciones climáticas exteriores.

5.3.1 Condiciones climáticas en los distintos periodos de prueba

PRIMER PERIODO

Ensayos a los 13 meses, durante ese periodo las muestras estuvieron expuestas al exterior de diciembre de 2010 a finales de diciembre de 2011 con las siguientes condiciones ambientales.

Mes	T media (°C)	T med máx (°C)	T Máx abs (°C)	T med mín (°C)	T Mín abs (°C)	Hr%	Horas insolación (h)	Lluvia acum. (l)
Dic-10	8,8	15,2	24,6	3,3	-4	64	135,9	16,2
Ene-11	8,8	15,6	23	3,1	-5	60	180,7	9,2
Feb-11	10,6	18,8	25,1	3,9	-1,8	65	195,7	2,2
Mar-11	11,7	17,4	24,9	6,5	0,8	49	181	97,2
Abr-11	16,1	22,9	35,6	9,9	5,1	59	232,1	89,4
May-11	19,3	25,8	34,9	13	10,2	55	243,2	59,8
Jun-11	22,2	28,4	32,3	15,9	10,1	60	266,7	5
Jul-11	25,1	31	38,9	19,4	16,2	60	273,6	4,8
Ago-11	25,8	32,6	40,9	19,3	14,9	71	301,1	3,2
Sep-11	23,2	30,5	34,9	16,8	12,5	75	280,4	7
Oct-11	19	24,1	30,4	14,7	10,4	66	229,5	26,8
Nov-11	13,8	19,3	27,1	9,3	4,6	40	114,7	84
Dic-11	10,4	17,5	22,3	5	-0,2	61	179	0,6
Media acum.	15,75	23,01	30,38	10,78	5,68	60,38	2813,6	405,4

Segundo periodo

Ensayos a los 18 meses, durante ese periodo las muestras estuvieron expuestas al exterior de enero de 2012 a mayo de 2012, con las siguientes condiciones ambientales.

mes	T media (°C)	T med máx (°C)	T Máx abs (°C)	T med mín (°C)	T Mín abs (°C)	Hr%	Horas insolación (h)	Lluvia acum. (l)
Ene-12	9,2	17,2	23,7	3	-0,5	67	200,5	37,4
Feb-12	6,9	15,2	26,4	-0,6	-4,9	54	252,7	0,4
Mar-12	11,6	19,8	26,8	3,8	0,9	62	279,7	42,4
Abr-12	15,4	22	28,5	9	3,8	61	242,5	36,6
May-12	20,2	27,3	33,4	12,9	7	65	292	0
Total	12,66	20,3	27,76	5,62	1,26	61,8	1267,4	116,8

Tercer periodo

Ensayos a los 24 meses, durante ese periodo las muestras estuvieron expuestas al exterior de Junio de 2012 a Noviembre de 2012, con las siguientes condiciones ambientales.

mes	T media (°C)	T med máx (°C)	T Máx abs (°C)	T med mín (°C)	T Mín abs (°C)	Hr%	Horas insolación (h)	Lluvia acum. (l)
Jun-12	24,5	31,3	37,3	17,2	13,8	73	288,5	0,2
Jul-12	25,6	31,5	37,2	19,5	15,4	74	263,5	0,8
Ago-12	26,7	33,2	38,3	20,4	16,9	63	279,3	0
Sep-12	22,4	29	33,3	16,5	12,1	54	215,7	99,4
Oct-12	17,9	24,9	31,7	12,1	2,4	56	215,6	44,2
Nov-12	13,3	18,5	28	9,1	2,2	57	120,1	50,8
	21,73	28,07	34,30	15,80	10,47	62,83	1382,70	195,40

Cuarto periodo

Ensayos a los 30 meses, durante ese periodo las muestras estuvieron expuestas al exterior de diciembre de 2012 a mayo de 2013, con las siguientes condiciones ambientales.

mes	T med	T med máx	Máx abs	T med mín	Mín abs	Hr%	H insol	Lluv acum
Dic-12	10,5	17,9	22,6	4,3	-1,8	50	183,3	0,6
Ene-13	10,9	18,2	24,5	4	-1,5	68	171,0	4,4
Feb-13	10,8	16,7	23,5	5,1	-1,4	65	170,0	5,4
Mar-13	13,8	19,6	25,2	8,4	1,9	62	217,0	2,8
Abr-13	14,8	21,4	26,4	8,1	2,6	60	233,0	19,4
May-13	18,2	23,5	34,6	12,9	6,9	62	261,0	9,4
Del periodo	13,17	19,55	26,13	7,13	1,12	61,17	1235,3	42
Acumulado 30 meses							6699	759.6

5.4 Descripción del procedimiento operativo de los ensayos

El procedimiento operativo del desarrollo de los ensayos ha sido el siguiente:

Una vez realizadas las pruebas iniciales y tratados los resultados se ubicaron las muestras objeto de análisis expuestas a las condiciones climáticas exteriores.

Se dejó pasar el periodo de exposición de 13 meses al no haber disponibilidad de equipos en el mes 12.



Figuras 3 y 4. Muestras expuestas en el exterior

Una vez pasado el periodo de exposición a las condiciones exteriores, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de ensayos y acondicionadas un mínimo de 24 horas a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa de $43 \% \pm 2\%$. En los casos que se encontraron mojadas por haber llovido recientemente se dejaban en condiciones normalizadas de laboratorio hasta que el contenido en humedad era despreciable.

Una vez acondicionadas se procedía a realizar los ensayos de determinación de la altura de caída crítica conforme a la norma EN 1177:2008 en condiciones de laboratorio y el ensayo de pérdida de color. Además de esto se anotaban las observaciones relevantes sobre el aspecto de las muestras. Se realizaban fotografías y se volvían a poner en el exterior.



Figuras 5 y 6. Preparación de ensayos de determinación de altura crítica de caída



Figura 7. Ensayo de solidez de color

Este proceso se repitió a los 18, 24 y 30 meses.

5.5 Equipos empleados

Para la realización de los distintos ensayos realizados en el marco de este proyecto se ha empleado el siguiente equipamiento perteneciente todo el al laboratorio de ensayos del Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV).

5.5.1 Equipo de medición de HIC triaxial

Se empleó un equipo comercial de medición de HIC modelo "TRIAX 2000" perteneciente al laboratorio de ensayos del IBV. El equipo está calibrado y acreditado para la realización de ensayos por ENAC. Este equipo es un equipo de medición y cálculo de HIC triaxial.



Figura 8. Equipo Triax 2000



Figuras 9 y 10. Impactador y electroimán

El sistema *Triax 2000* consta de una unidad manual de registro de datos, una cabeza hemisférica de aluminio y los cables de conexión de los anteriores componentes. Dispone de un trípode con un electroimán insertado en la parte superior. El trípode permite mantener la cabeza metálica suspendida a cierta distancia de la superficie a ensayar.

El sistema registra el nivel de HIC La aceleración en g's y la velocidad de impacto, el tiempo que transcurre desde la liberación de la cabeza hasta el momento de su impacto y la altura de caída.

El programa permite extraer la información del testeo manual y las gráficas de aceleración-tiempo. El sistema es válido para medir acorde a las normas EN 1177:2008 Y ASTM F 1292.

5.5.2 Escala de grises.

Se ha empleado una escala de grises normalizada conforme a la norma **UNE-EN 20105-A02: 1998** para el análisis de la pérdida de color, tanto en el envejecimiento artificial en cámara UV en los ensayos iniciales como en el envejecimiento natural por exposición a condiciones ambientales.

Se trata de una escala de nueve niveles que funciona por comparación directa entre una muestra envejecida y otra que no se ha sometido al proceso de envejecimiento independientemente de la naturaleza del mismo.

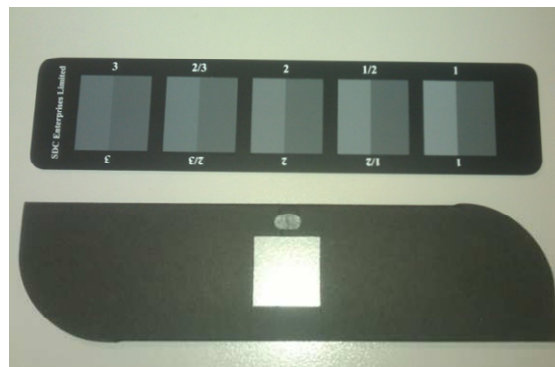


Figura 11. Escala de grises



Figura 12. Escala de grises

5.5.3 Cámara UV

Para el ensayo de envejecimiento acelerado se empleó una cámara de envejecimiento por radiación UV Modelo QUV de la marca Q. Este modelo es acorde a la norma **UNE-EN 14836:2006**. Superficies sintéticas para espacios deportivos de exterior – Envejecimiento artificial.



Figuras 13 y 14. Cámara de envejecimiento artificial por radiación UV

5.5.4 Péndulo TRRL

Para la realización de los ensayos iniciales de resistencia al deslizamiento se empleó un péndulo TRRL de la marca Munro-Stanley acorde a la norma **UNE-ENV 12633:2003** (Ensayo normativo de resbaladidad contenido en el Código técnico de la edificación) método de la determinación del valor de resistencia al deslizamiento/resbalamiento de los pavimentos pulidos y sin pulir.



Figuras 15 y 16. Péndulo TRRL

5.5.5 Abrasímetro Taber

Para los ensayos de resistencia a la abrasión se empleó un abrasímetro modelo 5131 de la marca TABER acorde a la norma **UNE-EN 5470-1:1999** Tejidos recubiertos de plástico o caucho. Determinación de la resistencia a la abrasión. Parte 1: aparato de ensayo de abrasión Taber.



Figuras 17 y 18. Abrasímetro TABER y muelas abrasivas T18

5.5.6 Termohigrómetro

Para el control de las condiciones de temperatura y humedad en el laboratorio se empleó un termohigrómetro comercial de la marca Syntex Modelo THERMO-HYGRO, calibrado por ENAC.



Figura 19. Termohigrómetro

5.5.7 Paquete de análisis estadístico.

Para el tratamiento estadístico de los resultados se empleó un paquete de software de tratamiento de datos de la marca IBM SPSS, Versión 19.



6. Resultados

A continuación se presentan los resultados de las distintas pruebas realizadas. En primer lugar se plantea una síntesis de los resultados global con los datos más relevantes para después recopilar los distintos resultados individuales por bloques ordenados cronológicamente.

6.1 Resumen de resultados

La siguiente tabla presenta a través de dos filas por cada muestra los valores obtenidos en cada una de las pruebas realizadas. En las mismas por orden de izquierda a derecha se presenta:

El valor de altura crítica de caída de la prueba inicial, en segundo lugar la altura redondeada inicial, el valor de las pruebas de los 13 meses, la variación respecto al origen, el valor de las pruebas a los 18 meses, la variación respecto a la prueba anterior, la variación respecto al origen, el valor de las pruebas a los 24 meses, la variación respecto a la prueba anterior, la variación al origen, el valor de las pruebas a los 30 meses, la variación respecto al anterior y la variación al origen.

Muestra	Hic inicial	HIC red	Hic 13MESES	% cambio a origen	Hic18	% dif al anterior	% a origen	Hic24	% dif al anterior	% a origen	Hic30	% dif al anterior	% a origen
1	1,26	1,2	1,27	0,53	1,25	-1,67	-1,15	1,27	1,96	0,79	1,25	-1,40	-0,62
			1,25	-0,79	1,22	-3,68	-3,17	1,23	-1,25	-2,38	1,20	-5,51	-4,76
2	1,80	1,8	1,61	-10,68	1,55	-3,32	-13,64	1,58	1,64	-12,22	1,56	-1,34	-13,40
			1,54	-14,44	1,46	-9,19	-18,89	1,53	-1,57	-15,00	1,53	-3,16	-15,00
3	1,70	1,7	1,66	-2,22	1,67	0,33	-1,90	1,64	-1,73	-3,59	1,64	-0,14	-3,73
			1,55	-8,82	1,58	-4,95	-7,06	1,61	-3,46	-5,29	1,55	-5,42	-8,82
4	1,60	1,6	1,59	-0,83	1,52	-3,92	-4,72	1,53	0,51	-4,24	1,51	-1,45	-5,63
			1,54	-3,75	1,48	-6,72	-7,50	1,46	-4,23	-8,75	1,39	-9,28	-13,13
5	1,53	1,5	1,51	-1,53	1,50	-0,59	-2,11	1,48	-1,34	-3,41	1,48	0,15	-3,27
			1,46	-4,58	1,45	-3,76	-5,23	1,43	-4,53	-6,54	1,42	-3,91	-7,19

6.2 Resultados individuales por muestra y punto

6.2.1 Ensayos iniciales

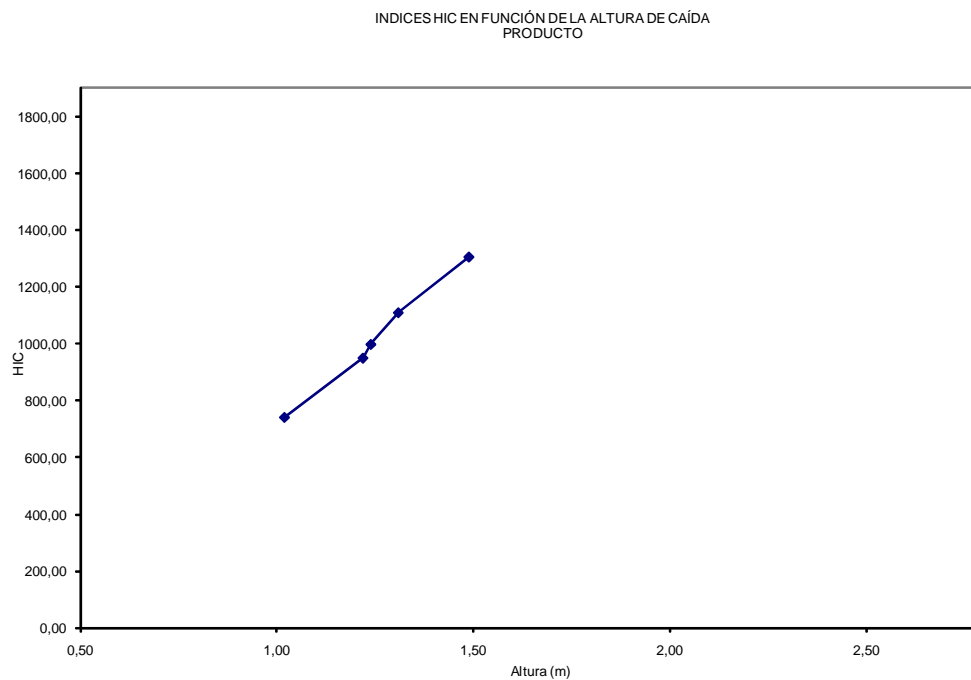
Muestra 1

Muestra 1		
PUNTO	ALTURA (m)	HIC
1	1,08	743
	1,24	952
	1,31	1112
	1,49	1308

La altura de caída crítica se obtiene por interpolación de los datos obtenidos en la caída del impactador para un nivel HIC=1000. El resultado obtenido para el punto de la muestra evaluada es:

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)
1,2 (1,26)

A continuación se representa gráficamente la curva que muestra los índices HIC en función de las alturas de caída.



Resistencia al deslizamiento:

RESULTADO DE LA MUESTRA		
	Dirección 1	Dirección 2
Valor del péndulo	40	40

RESULTADO DE LA MUESTRA	
USRV	40

Nota: Según el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico SU Seguridad de Utilización (marzo 2006), los suelos con valor de resistencia al deslizamiento $35 < R_d \leq 45$ se clasifican como **Clase 2**.

Resistencia a la abrasión:

Muestra	Peso inicial (g)	Peso tras el desgaste (g)	Pérdida de peso en g a los 1000 ciclos
1	171,198	169,562	1,636

Nota: Según la guía "Pavimentos continuos de caucho" desarrollada por AFAMOUR, cuando se determina de acuerdo con la Norma Europea EN ISO 5470-1, la pérdida de masa después de 1 000 ciclos no debe exceder de 3 g.

Envejecimiento por radiación UV y solidez de color

Muestra	Grado de solidez
1	4

ANTES DEL
ENVEJECIMIENTO

DESPUÉS DEL
ENVEJECIMIENTO



Figura 20. Muestras comparadas tras el envejecimiento

Nota: Según la guía "Pavimentos continuos de caucho" desarrollada por AFAMOUR, no deberá haber un cambio de color mayor de 3 (grado de solidez ≥ 3) cuando se evalúa de acuerdo con la norma UNE-EN 20105-A02.

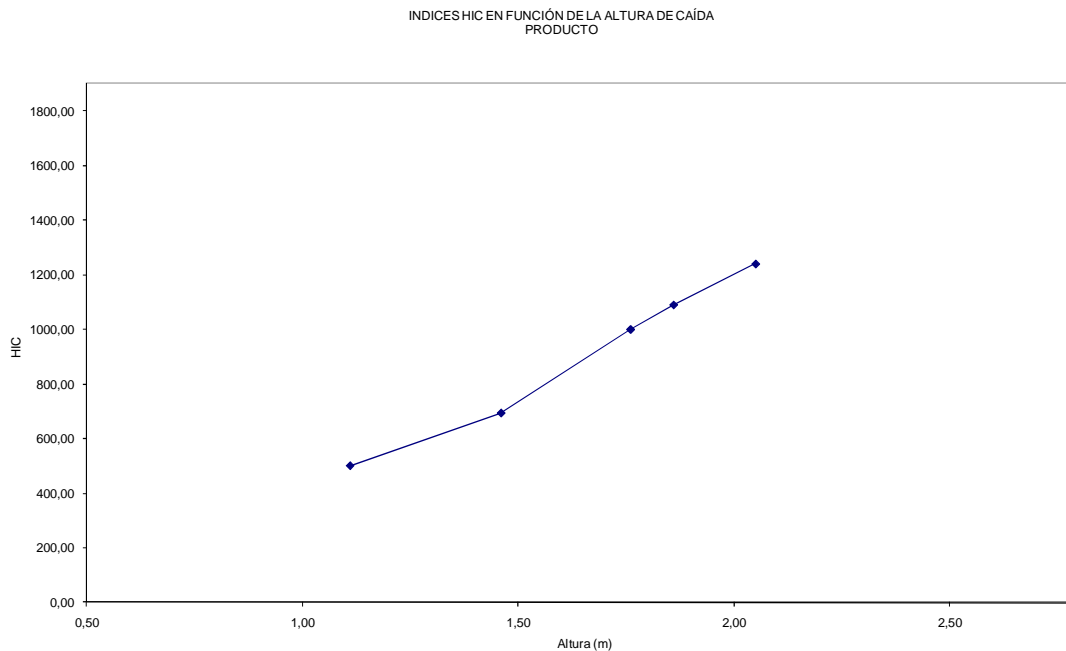
Muestra 2

Muestra 2		
PUNTO	ALTURA (m)	HIC
1	1,11	501
	1,46	694
	1,86	1090
	2,05	1240

La altura de caída crítica se obtiene por interpolación de los datos obtenidos en la caída del impactador para un nivel HIC=1000. El resultado obtenido para el punto de la muestra evaluada es:

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)
1,8 (1,80)

A continuación se representa gráficamente la curva que muestra los índices HIC en función de las alturas de caída.



Resistencia al deslizamiento

	RESULTADO DE LA MUESTRA	
	Dirección 1	Dirección 2
Valor del péndulo	40	40

	RESULTADO DE LA MUESTRA
USRV	40

Nota: Según el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico SU Seguridad de Utilización (marzo 2006), los suelos con valor de resistencia al deslizamiento $35 < R_d \leq 45$ se clasifican como Clase 2.

Resistencia a la abrasión

Muestra	Peso inicial (g)	Peso tras el desgaste (g)	Pérdida de peso en g a los 1000 ciclos
2	184,94	183,519	1,421

Nota: Según la guía "Pavimentos continuos de caucho" desarrollada por AFAMOUR, cuando se determina de acuerdo con la Norma Europea EN ISO 5470-1, la pérdida de masa después de 1 000 ciclos no debe exceder de 3 g.

Envejecimiento por radiación UV y solidez de color

Muestra	Grado de solidez
2	4-5

ANTES DEL
ENVEJECIMIENTO

DESPUÉS DEL
ENVEJECIMIENTO



Figura 21. Muestras comparadas tras el envejecimiento

Nota: Según la guía "Pavimentos continuos de caucho" desarrollada por AFAMOUR, no deberá haber un cambio de color mayor de 3 (grado de solidez ≥ 3) cuando se evalúa de acuerdo con la norma UNE-EN 20105-A02.

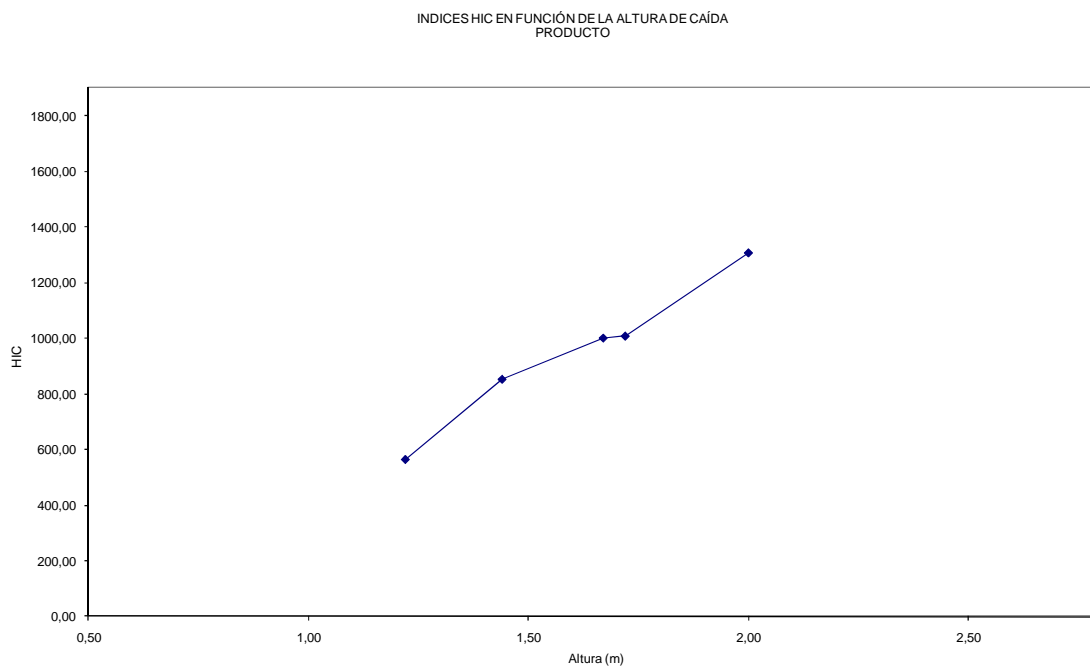
Muestra 3

Muestra 3		
PUNTO	ALTURA (m)	HIC
1	1,22	564
	1,44	852
	1,72	1007
	2,00	1306

La altura de caída crítica se obtiene por interpolación de los datos obtenidos en la caída del impactador para un nivel HIC=1000. El resultado obtenido para el punto de la muestra evaluada es:

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)
1,7 (1,7)

A continuación se representa gráficamente la curva que muestra los índices HIC en función de las alturas de caída.



Resistencia al deslizamiento

	RESULTADO DE LA MUESTRA	
	Dirección 1	Dirección 2
Valor del péndulo	45	51

	RESULTADO DE LA MUESTRA
USRV	48

Nota: Según el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico SU Seguridad de Utilización (marzo 2006), los suelos con valor de resistencia al deslizamiento $R_d > 45$ se clasifican como Clase 3.

Resistencia a la abrasión

Muestra	Peso inicial (g)	Peso tras el desgaste (g)	Pérdida de peso en g a los 1000 ciclos
3	192,634	190,176	2,458

Nota: Según la guía "Pavimentos continuos de caucho" desarrollada por AFAMOUR, cuando se determina de acuerdo con la Norma Europea EN ISO 5470-1, la pérdida de masa después de 1 000 ciclos no debe exceder de 3 g.

Envejecimiento por radiación UV y solidez de color

Muestra	Grado de solidez
3	3-4

ANTES DEL
ENVEJECIMIENTO

DESPUÉS DEL
ENVEJECIMIENTO



Figura 22. Muestras comparadas tras el envejecimiento

Nota: Según la guía "Pavimentos continuos de caucho" desarrollada por AFAMOUR, no deberá haber un cambio de color mayor de 3 (grado de solidez ≥ 3) cuando se evalúa de acuerdo con la norma UNE-EN 20105-A02.

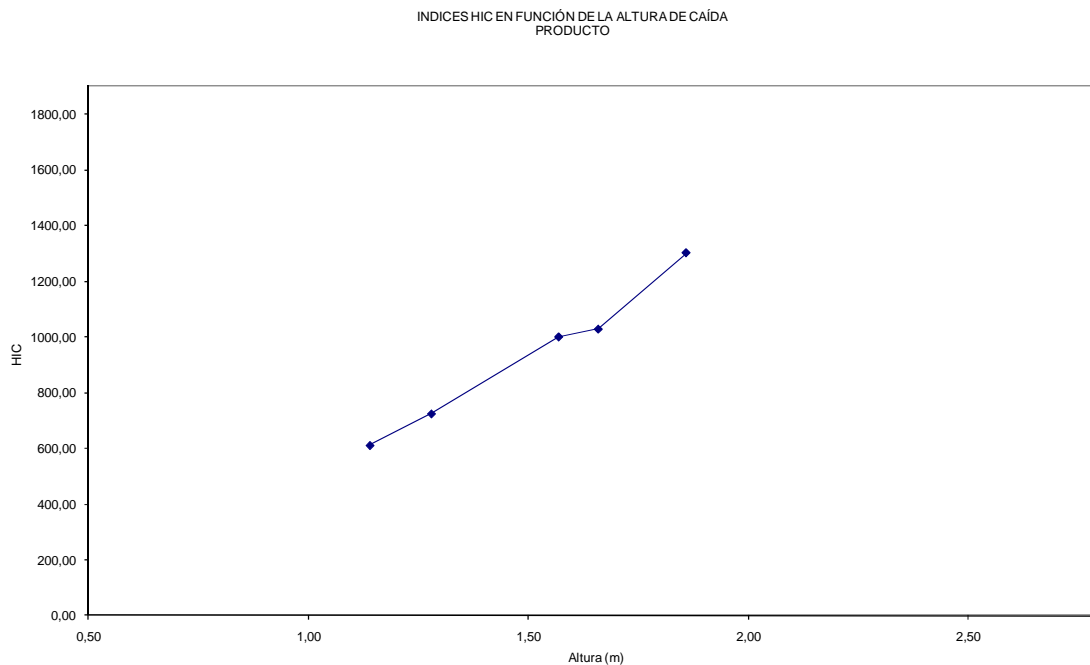
Muestra 4

Muestra 4		
PUNTO	ALTURA (m)	HIC
1	1,14	612
	1,28	725
	1,66	1028
	1,86	1301

La altura de caída crítica se obtiene por interpolación de los datos obtenidos en la caída del impactador para un nivel HIC=1000. El resultado obtenido para el punto de la muestra evaluada es:

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)
1,6 (1,6)

A continuación se representa gráficamente la curva que muestra los índices HIC en función de las alturas de caída.



Resistencia al deslizamiento

	RESULTADO DE LA MUESTRA	
	Dirección 1	Dirección 2
Valor del péndulo	45	45

	RESULTADO DE LA MUESTRA
USRV	45

Nota: Según la guía Según el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico SU Seguridad de Utilización (marzo 2006), los suelos con valor de resistencia al deslizamiento $35 < R_d \leq 45$ se clasifican como Clase 2.

Resistencia a la abrasión

Muestra	Peso inicial (g)	Peso tras el desgaste (g)	Pérdida de peso en g a los 1000 ciclos
4	168,909	167,269	1,640

Nota: Según la guía "Pavimentos continuos de caucho" desarrollada por AFAMOUR, cuando se determina de acuerdo con la Norma Europea EN ISO 5470-1, la pérdida de masa después de 1 000 ciclos no debe exceder de 3 g.

Envejecimiento por radiación UV y solidez de color

Muestra	Grado de solidez
4	4

ANTES DEL
ENVEJECIMIENTO

DESPUÉS DEL
ENVEJECIMIENTO



Figura 23. Muestras comparadas tras el envejecimiento

Nota: Según la guía "Pavimentos continuos de caucho" desarrollada por AFAMOUR, no deberá haber un cambio de color mayor de 3 (grado de solidez ≥ 3) cuando se evalúa de acuerdo con la norma UNE-EN 20105-A02.

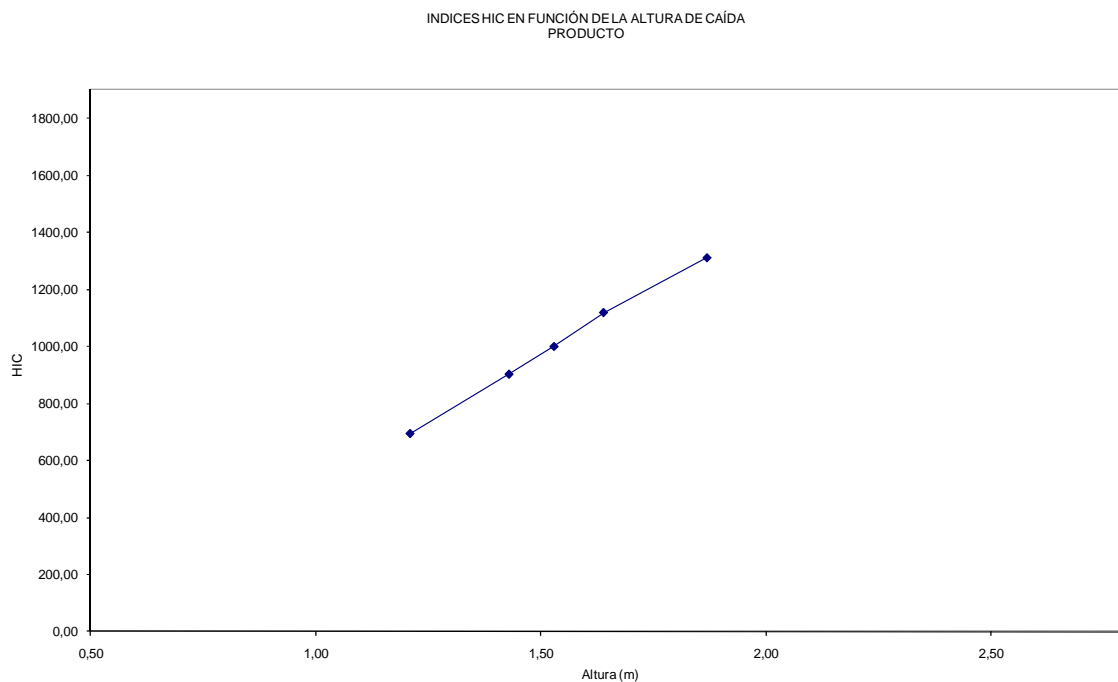
Muestra 5

Muestra 5		
PUNTO	ALTURA (m)	HIC
1	1,21	695
	1,43	903
	1,64	1119
	1,87	1311

La altura de caída crítica se obtiene por interpolación de los datos obtenidos en la caída del impactador para un nivel HIC=1000. El resultado obtenido para el punto de la muestra evaluada es:

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)
1,5 (1,53)

A continuación se representa gráficamente la curva que muestra los índices HIC en función de las alturas de caída.



Resistencia al deslizamiento

	RESULTADO DE LA MUESTRA	
	Dirección 1	Dirección 2
Valor del péndulo	45	46

	RESULTADO DE LA MUESTRA
USRV	46

Nota: Según el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico SU Seguridad de Utilización (marzo 2006), los suelos con valor de resistencia al deslizamiento $R_d > 45$ se clasifican como Clase 3.

Resistencia a la abrasión

Muestra	Peso inicial (g)	Peso tras el desgaste (g)	Pérdida de peso en g a los 1000 ciclos
5	183,608	181,618	1,990

Nota: Según la guía "Pavimentos continuos de caucho" desarrollada por AFAMOUR, cuando se determina de acuerdo con la Norma Europea EN ISO 5470-1, la pérdida de masa después de 1 000 ciclos no debe exceder de 3 g.

Envejecimiento por radiación UV y solidez de color

Muestra	Grado de solidez
5	4

ANTES DEL
ENVEJECIMIENTO

DESPUÉS DEL
ENVEJECIMIENTO



Figura 24. Muestras comparadas tras el envejecimiento

Nota: Según la guía "Pavimentos continuos de caucho" desarrollada por AFAMOUR, no deberá haber un cambio de color mayor de 3 (grado de solidez ≥ 3) cuando se evalúa de acuerdo con la norma UNE-EN 20105-A02

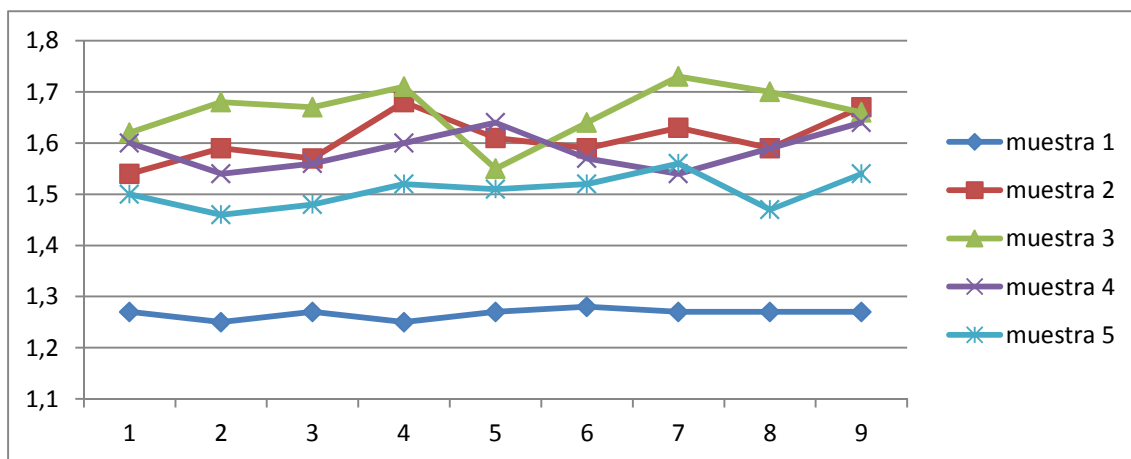
6.2.2 Ensayos a los 13 meses

La siguiente tabla presenta el resumen de los valores obtenidos en los nueve puntos de cada una de las muestras. Se incluye el valor medio de cada una de las muestras y la desviación típica y el mínimo valor de cada muestra señalado en amarillo.

Punto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	1,27	1,54	1,62	1,6	1,5
2	1,25	1,59	1,68	1,54	1,46
3	1,27	1,57	1,67	1,56	1,48
4	1,25	1,68	1,71	1,6	1,52
5	1,27	1,61	1,55	1,64	1,51
6	1,28	1,59	1,64	1,57	1,52
7	1,27	1,63	1,73	1,54	1,56
8	1,27	1,59	1,7	1,59	1,47
9	1,27	1,67	1,66	1,64	1,54

Media	1,27	1,61	1,66	1,59	1,51
Desviación típica	0,01	0,05	0,05	0,04	0,03

En la siguiente tabla se muestran los valores de cada una de las muestras.



A continuación se muestran los resultados completos con las alturas de ensayo y valor de HIC para cada una de las repeticiones de las 5 muestras.

Muestra 1

Muestra 1			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto?
1	0,50	232,78	1,27
	0,90	595,21	
	1,40	1123,01	
	1,60	1360,45	
2	0,90	594,95	1,25
	1,15	887,37	
	1,35	1115,53	
	1,40	1176,88	
3	1,00	669,83	1,27
	1,15	855,55	
	1,33	1066,93	
	1,40	1156,12	
4	1,00	666,93	1,25
	1,15	878,57	
	1,33	1106,89	
	1,40	1181,08	
5	1,00	665,59	1,27
	1,15	868,45	
	1,32	1076,94	
	1,42	1164,20	
6	1,00	657,73	1,28
	1,15	848,64	
	1,35	1087,15	
	1,45	1199,27	
7	0,90	538,37	1,27
	1,10	798,70	
	1,30	1062,12	
	1,40	1147,74	
8	1,00	663,96	1,27
	1,15	875,08	
	1,30	1040,19	
	1,37	1115,09	
9	1,00	677,19	1,26
	1,15	872,85	
	1,37	1149,91	
	1,45	1210,12	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,2

Muestra 2

Muestra 2			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	0,82	374,00	1,54
	1,19	666,00	
	1,57	1024,00	
	1,69	1141,00	
2	1,16	612,00	1,59
	1,43	821,00	
	1,69	1140,00	
	1,81	1165,00	
3	1,30	754,00	1,57
	1,50	886,00	
	1,64	1102,00	
	1,81	1238,00	
4	1,31	639,00	1,68
	1,50	818,00	
	1,67	1022,00	
	1,81	1115,00	
5	1,18	600,00	1,61
	1,35	790,00	
	1,63	1031,00	
	1,79	1148,00	
6	1,27	689,00	1,59
	1,44	845,00	
	1,67	1095,00	
	1,83	1212,00	
7	1,30	690,00	1,63
	1,47	874,00	
	1,64	1003,00	
	1,79	1148,00	
8	1,34	766,00	1,59
	1,49	858,00	
	1,69	1098,00	
	1,84	1262,00	
9	1,26	632,00	1,67
	1,47	814,00	
	1,76	1006,00	
	0,82	1222,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,5

Muestra 3

Muestra 3			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,02	546,00	1,62
	1,23	683,00	
	1,73	1071,00	
	1,87	1213,00	
2	1,33	711,00	1,68
	1,60	900,00	
	1,74	1069,00	
	1,81	1103,00	
3	1,39	766,00	1,67
	1,60	901,00	
	1,83	1179,00	
	1,95	1256,00	
4	1,32	634,00	1,71
	1,60	880,00	
	1,77	1003,00	
	1,87	1189,00	
5	1,32	788,00	1,55
	1,51	967,00	
	1,66	1121,00	
	1,75	1153,00	
6	1,28	689,00	1,64
	1,56	845,00	
	1,74	1095,00	
	1,83	1212,00	
7	1,34	690,00	1,73
	1,61	874,00	
	1,75	1003,00	
	1,89	1148,00	
8	1,27	766,00	1,70
	1,60	858,00	
	1,89	1098,00	
	2,02	1262,00	
9	1,32	632,00	1,66
	1,61	814,00	
	1,66	1006,00	
	1,81	1222,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,5

Muestra 4

Muestra 4			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,28	700,00	1,60
	1,42	821,00	
	1,72	1079,00	
	1,91	1335,00	
2	1,28	750,00	1,54
	1,54	881,00	
	1,61	1096,00	
	1,70	1226,00	
3	1,31	767,00	1,56
	1,50	972,00	
	1,64	1076,00	
	1,73	1135,00	
4	1,38	805,00	1,60
	1,50	912,00	
	1,75	1112,00	
	1,81	1203,00	
5	1,39	796,00	1,64
	1,53	906,00	
	1,73	1061,00	
	1,86	1185,00	
6	1,31	739,00	1,57
	1,49	890,00	
	1,66	1099,00	
	1,80	1243,00	
7	1,32	758,00	1,54
	1,53	988,00	
	1,66	1105,00	
	1,76	1281,00	
8	1,34	752,00	1,59
	1,51	934,00	
	1,64	1056,00	
	1,78	1164,00	
9	1,26	678,00	1,64
	1,43	841,00	
	1,70	1065,00	
	1,83	1142,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,5

Muestra 5

Muestra 5			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,22	693,00	1,50
	1,43	882,00	
	1,59	1117,00	
	1,72	1253,00	
2	1,21	744,00	1,46
	1,44	984,00	
	1,59	1125,00	
	1,63	1193,00	
3	1,19	730,00	1,48
	1,44	932,00	
	1,56	1089,00	
	1,63	1157,00	
4	1,21	667,00	1,52
	1,39	813,00	
	1,54	1010,00	
	1,61	1121,00	
5	1,23	721,00	1,51
	1,43	932,00	
	1,51	1002,00	
	1,64	1120,00	
6	1,24	730,00	1,52
	1,39	856,00	
	1,53	1055,00	
	1,64	1080,00	
7	1,23	697,00	1,56
	1,42	849,00	
	1,57	1003,00	
	1,66	1110,00	
8	1,13	599,00	1,47
	1,36	851,00	
	1,51	1047,00	
	1,64	1219,00	
9	1,10	577,00	1,54
	1,23	759,00	
	1,53	1035,00	
	1,72	1121,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,4

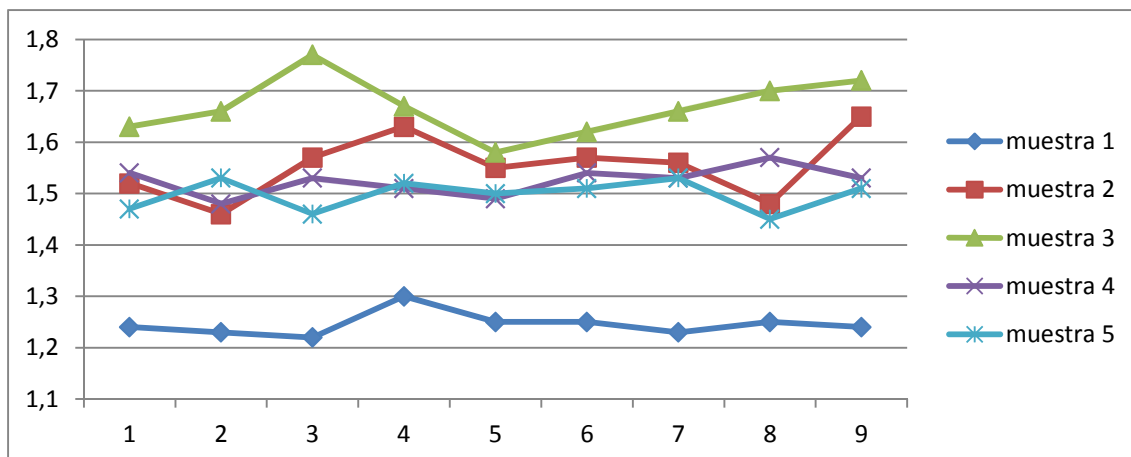
6.2.3 Ensayos a los 18 meses

La siguiente tabla presenta el resumen de los valores obtenidos en los nueve puntos de cada una de las muestras. Se incluye el valor medio de cada una de las muestras y la desviación típica y el mínimo valor de cada muestra señalado en amarillo.

Punto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	1,24	1,52	1,63	1,54	1,47
2	1,23	1,46	1,66	1,48	1,53
3	1,22	1,57	1,77	1,53	1,46
4	1,3	1,63	1,67	1,51	1,52
5	1,25	1,55	1,58	1,49	1,5
6	1,25	1,57	1,62	1,54	1,51
7	1,23	1,56	1,66	1,53	1,53
8	1,25	1,48	1,7	1,57	1,45
9	1,24	1,65	1,72	1,53	1,51

Media	1,25	1,55	1,67	1,52	1,50
Desviación típica	0,02	0,06	0,06	0,03	0,03

En la siguiente gráfica se muestran los valores de cada una de las muestras.



A continuación se muestran los resultados completos con las alturas de ensayo y valor de HIC para cada una de las repeticiones de las 5 muestras.

Muestra 1

Muestra 1			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	0,88	584,00	1,24
	1,11	853,00	
	1,32	1113,00	
	1,44	1224,00	
2	1,04	756,00	1,23
	1,13	896,00	
	1,27	1033,00	
	1,38	1179,00	
3	0,90	691,00	1,22
	1,16	916,00	
	1,23	1010,00	
	1,31	1114,00	
4	0,97	684,00	1,30
	1,18	862,00	
	1,30	1002,00	
	1,39	1098,00	
5	1,01	703,00	1,25
	1,17	886,00	
	1,34	1097,00	
	1,40	1207,00	
6	0,91	633,00	1,25
	1,10	842,00	
	1,31	1035,00	
	1,39	1183,00	
7	1,01	757,00	1,23
	1,10	828,00	
	1,24	1010,00	
	1,36	1151,00	
8	0,96	626,00	1,25
	1,14	894,00	
	1,27	1051,00	
	1,38	1114,00	
9	0,90	626,00	1,24
	1,13	880,00	
	1,27	1020,00	
	1,36	1140,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,2

Muestra 2

Muestra 2			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,12	610,00	1,52
	1,42	911,00	
	1,59	1019,00	
	1,72	1221,00	
2	1,16	648,00	1,46
	1,34	852,00	
	1,59	1140,00	
	1,73	1324,00	
3	1,07	557,00	1,57
	1,28	755,00	
	1,56	1015,00	
	1,72	1107,00	
4	1,30	709,00	1,63
	1,59	947,00	
	1,73	1105,00	
	1,84	1190,00	
5	1,07	579,00	1,55
	1,38	849,00	
	1,69	1131,00	
	1,83	1236,00	
6	1,12	578,00	1,57
	1,40	725,00	
	1,69	1128,00	
	1,81	1285,00	
7	1,19	624,00	1,56
	1,36	784,00	
	1,67	1110,00	
	1,79	1247,00	
8	1,21	699,00	1,48
	1,46	947,00	
	1,64	1223,00	
	1,72	1271,00	
9	1,46	826,00	1,65
	1,66	980,00	
	1,81	1158,00	
	1,97	1329,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,4

Muestra 3

Muestra 3			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,22	643,00	1,63
	1,42	797,00	
	1,73	1078,00	
	1,87	1238,00	
2	1,38	716,00	1,66
	1,63	962,00	
	1,72	1073,00	
	1,80	1120,00	
3	1,27	627,00	1,77
	1,54	824,00	
	1,81	1005,00	
	1,85	1088,00	
4	1,16	598,00	1,67
	1,51	846,00	
	1,78	1055,00	
	1,94	1268,00	
5	1,21	704,00	1,58
	1,43	898,00	
	1,66	1039,00	
	1,76	1149,00	
6	1,31	759,00	1,62
	1,61	831,00	
	1,90	1255,00	
	1,93	1286,00	
7	1,39	713,00	1,66
	1,48	880,00	
	1,69	1005,00	
	1,83	1154,00	
8	1,30	663,00	1,70
	1,51	851,00	
	1,76	1008,00	
	1,82	1122,00	
9	1,35	671,00	1,72
	1,61	963,00	
	1,83	1066,00	
	1,87	1112,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,5

Muestra 4

Muestra 4			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,17	904,00	1,54
	1,44	1008,00	
	1,60	1163,00	
	1,66	758,00	
2	1,10	811,00	1,48
	1,34	1001,00	
	1,51	1142,00	
	1,61	652,00	
3	1,13	884,00	1,53
	1,42	1006,00	
	1,51	1066,00	
	1,61	513,00	
4	1,05	913,00	1,51
	1,42	1077,00	
	1,57	1151,00	
	1,66	698,00	
5	1,18	968,00	1,49
	1,46	1082,00	
	1,57	1162,00	
	1,67	500,00	
6	1,13	828,00	1,54
	1,39	1013,00	
	1,54	1097,00	
	1,64	683,00	
7	1,19	834,00	1,53
	1,42	1017,00	
	1,57	1155,00	
	1,64	649,00	
8	1,16	868,00	1,57
	1,39	1026,00	
	1,59	1092,00	
	1,69	669,00	
9	1,18	887,00	1,53
	1,42	1068,00	
	1,59	1123,00	
	1,66	904,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,4

Muestra 5

Muestra 5			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,21	710,00	1,47
	1,50	995,00	
	1,60	1163,00	
	1,66	1256,00	
2	1,13	611,00	1,53
	1,43	863,00	
	1,61	1077,00	
	1,72	1213,00	
3	1,18	693,00	1,46
	1,39	885,00	
	1,47	1024,00	
	1,64	1203,00	
4	1,16	620,00	1,52
	1,46	987,00	
	1,59	1029,00	
	1,66	1132,00	
5	1,19	672,00	1,50
	1,50	963,00	
	1,60	1098,00	
	1,66	1211,00	
6	1,17	664,00	1,51
	1,44	961,00	
	1,60	1115,00	
	1,70	1141,00	
7	1,21	686,00	1,53
	1,40	888,00	
	1,66	1098,00	
	1,70	1168,00	
8	1,13	617,00	1,45
	1,30	822,00	
	1,51	1113,00	
	1,61	1150,00	
9	1,19	674,00	1,51
	1,43	910,00	
	1,61	1126,00	
	1,72	1187,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,4

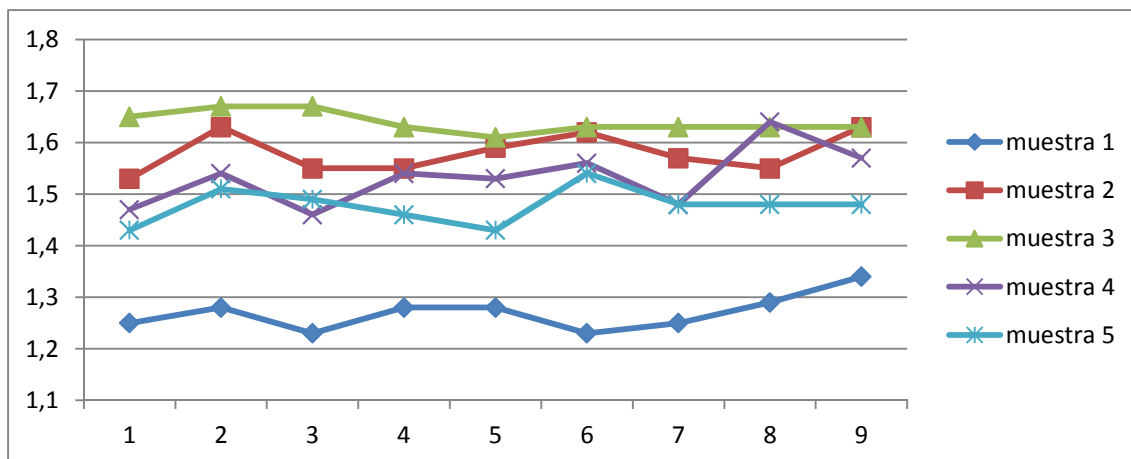
6.2.4 Ensayos a los 24 meses

La siguiente tabla presenta el resumen de los valores obtenidos en los nueve puntos de cada una de las muestras. Se incluye el valor medio de cada una de las muestras y la desviación típica y el mínimo valor de cada muestra señalado en amarillo.

Punto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	1,25	1,53	1,65	1,47	1,43
2	1,28	1,63	1,67	1,54	1,51
3	1,23	1,55	1,67	1,46	1,49
4	1,28	1,55	1,63	1,54	1,46
5	1,28	1,59	1,61	1,53	1,43
6	1,23	1,62	1,63	1,56	1,54
7	1,25	1,57	1,63	1,48	1,48
8	1,29	1,55	1,63	1,64	1,48
9	1,34	1,63	1,63	1,57	1,48

Media	1,27	1,58	1,64	1,53	1,48
Desviación típica	0,03	0,04	0,02	0,06	0,04

En la siguiente gráfica se muestran los valores de cada una de las muestras.



A continuación se muestran los resultados completos con las alturas de ensayo y valor de HIC para cada una de las repeticiones de las 5 muestras.

Muestra 1

Muestra 1			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,18	877,00	1,25
	1,23	990,00	
	1,28	1080,00	
	1,44	1246,00	
2	0,99	711,00	1,28
	1,21	962,00	
	1,31	1015,00	
	1,40	1106,00	
3	1,01	732,00	1,23
	1,21	928,00	
	1,28	1136,00	
	1,38	1167,00	
4	1,16	891,00	1,28
	1,26	980,00	
	1,32	1012,00	
	1,47	1200,00	
5	1,10	818,00	1,28
	1,28	900,00	
	1,44	1215,00	
	1,57	1458,00	
6	1,02	733,00	1,23
	1,19	924,00	
	1,32	1164,00	
	1,39	1199,00	
7	1,11	826,00	1,25
	1,21	942,00	
	1,32	1154,00	
	1,42	1161,00	
8	1,06	795,00	1,29
	1,23	950,00	
	1,31	1044,00	
	1,62	1248,00	
9	1,08	753,00	1,34
	1,21	877,00	
	1,43	1074,00	
	1,51	1158,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,2

Muestra 2

Muestra 2			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,07	486,00	1,53
	1,35	767,00	
	1,59	1065,00	
	1,69	1197,00	
2	1,19	600,00	1,63
	1,47	823,00	
	1,67	1023,00	
	1,75	1125,00	
3	1,16	529,00	1,55
	1,46	910,00	
	1,66	1095,00	
	1,71	1215,00	
4	1,21	655,00	1,55
	1,47	996,00	
	1,67	1096,00	
	1,84	1226,00	
5	1,24	629,00	1,59
	1,49	861,00	
	1,72	1071,00	
	1,86	1394,00	
6	1,21	606,00	1,62
	1,51	886,00	
	1,70	1051,00	
	1,84	1242,00	
7	1,18	599,00	1,57
	1,49	908,00	
	1,69	1150,00	
	1,83	1251,00	
8	1,16	620,00	1,55
	1,35	756,00	
	1,63	1086,00	
	1,81	1264,00	
9	1,18	574,00	1,63
	1,47	862,00	
	1,72	1062,00	
	1,84	1219,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,5

Muestra 3

Muestra 3			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,18	561,00	1,65
	1,46	807,00	
	1,72	1003,00	
	1,84	1222,00	
2	1,19	623,00	1,67
	1,50	826,00	
	1,75	1076,00	
	1,89	1183,00	
3	1,21	564,00	1,67
	1,51	874,00	
	1,73	1019,00	
	1,90	1230,00	
4	1,21	578,00	1,63
	1,46	849,00	
	1,69	1093,00	
	1,86	1195,00	
5	1,19	639,00	1,61
	1,50	843,00	
	1,72	1152,00	
	1,86	1213,00	
6	1,21	616,00	1,63
	1,50	854,00	
	1,75	1114,00	
	1,84	1220,00	
7	1,22	630,00	1,63
	1,51	882,00	
	1,78	1176,00	
	1,92	1243,00	
8	1,22	641,00	1,63
	1,49	828,00	
	1,72	1029,00	
	1,92	1326,00	
9	1,19	585,00	1,63
	1,49	903,00	
	1,66	1044,00	
	1,76	1090,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,6

Muestra 4

Muestra 4			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,19	658,00	1,47
	1,46	935,00	
	1,59	1165,00	
	1,64	1239,00	
2	1,18	619,00	1,54
	1,42	845,00	
	1,57	1004,00	
	1,68	1175,00	
3	1,16	649,00	1,46
	1,40	930,00	
	1,57	1113,00	
	1,66	1235,00	
4	1,19	688,00	1,54
	1,43	843,00	
	1,61	1087,00	
	1,73	1176,00	
5	1,27	720,00	1,53
	1,43	934,00	
	1,60	1050,00	
	1,72	1201,00	
6	1,18	609,00	1,56
	1,43	899,00	
	1,55	1036,00	
	1,72	1108,00	
7	1,19	706,00	1,48
	1,50	996,00	
	1,57	1142,00	
	1,64	1154,00	
8	1,18	624,00	1,64
	1,46	830,00	
	1,61	1003,00	
	1,72	1060,00	
9	1,08	579,00	1,57
	1,39	824,00	
	1,59	1001,00	
	1,64	1092,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,4

Muestra 5

Muestra 5			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,18	696,00	1,43
	1,32	891,00	
	1,50	1088,00	
	1,56	1125,00	
2	1,18	676,00	1,51
	1,39	817,00	
	1,53	1026,00	
	1,67	1178,00	
3	1,16	649,00	1,49
	1,40	890,00	
	1,57	1099,00	
	1,64	1146,00	
4	1,19	669,00	1,46
	1,40	895,00	
	1,49	1016,00	
	1,61	1207,00	
5	1,21	730,00	1,43
	1,40	979,00	
	1,50	1100,00	
	1,57	1164,00	
6	1,21	677,00	1,54
	1,51	981,00	
	1,57	1024,00	
	1,63	1095,00	
7	1,19	661,00	1,48
	1,32	813,00	
	1,50	1016,00	
	1,61	1164,00	
8	1,21	644,00	1,48
	1,38	890,00	
	1,59	1130,00	
	1,67	1241,00	
9	1,10	554,00	1,48
	1,32	835,00	
	1,50	1000,00	
	1,61	1146,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,4

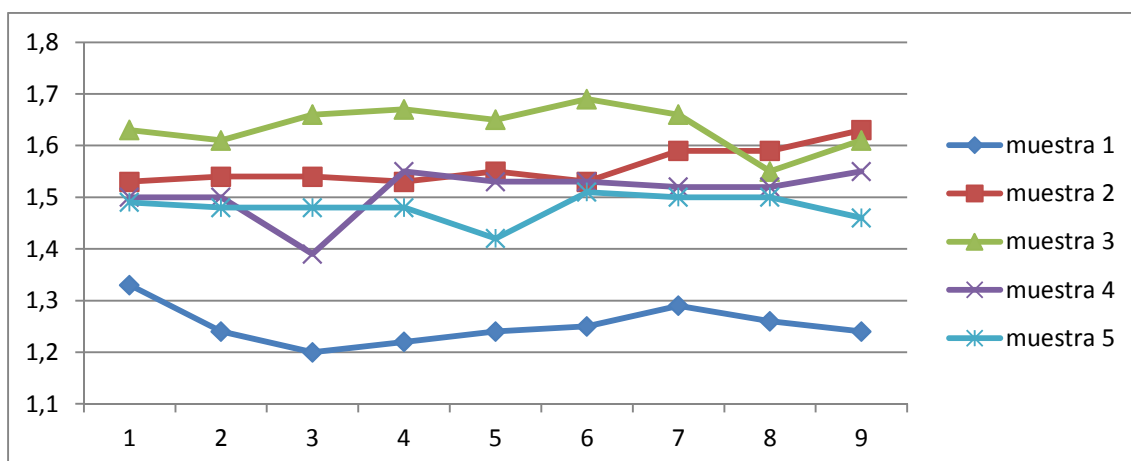
6.2.5 Ensayos a los 30 meses

La siguiente tabla presenta el resumen de los valores obtenidos en los nueve puntos de cada una de las muestras. Se incluye el valor medio de cada una de las muestras y la desviación típica y el mínimo valor de cada muestra señalado en amarillo.

Punto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	1,33	1,53	1,63	1,5	1,49
2	1,24	1,54	1,61	1,5	1,48
3	1,2	1,54	1,66	1,39	1,48
4	1,22	1,53	1,67	1,55	1,48
5	1,24	1,55	1,65	1,53	1,42
6	1,25	1,53	1,69	1,53	1,51
7	1,29	1,59	1,66	1,52	1,5
8	1,26	1,59	1,55	1,52	1,5
9	1,24	1,63	1,61	1,55	1,46

Media	1,25	1,56	1,64	1,51	1,48
Desviación típica	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03

En la siguiente gráfica se muestran los valores de cada una de las muestras.



A continuación se muestran los resultados completos con las alturas de ensayo y valor de HIC para cada una de las repeticiones de las 5 muestras.

Muestra 1

Muestra 1			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,07	724,00	1,33
	1,27	936,00	
	1,37	1036,00	
	1,47	1144,00	
2	1,16	894,00	1,24
	1,23	970,00	
	1,35	1163,00	
	1,53	1346,00	
3	1,06	744,00	1,20
	1,14	950,00	
	1,28	1105,00	
	1,34	1207,00	
4	1,08	783,00	1,22
	1,19	891,00	
	1,25	1072,00	
	1,33	1189,00	
5	0,96	621,00	1,24
	1,16	895,00	
	1,26	1012,00	
	1,40	1230,00	
6	1,01	720,00	1,25
	1,14	857,00	
	1,26	1038,00	
	1,43	1193,00	
7	1,07	770,00	1,29
	1,21	912,00	
	1,44	1159,00	
	1,56	1266,00	
8	1,02	763,00	1,26
	1,18	906,00	
	1,35	1105,00	
	1,42	1172,00	
9	1,06	750,00	1,24
	1,22	972,00	
	1,31	1106,00	
	1,42	1219,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,2

Muestra 2

Muestra 2			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,30	825,00	1,53
	1,40	894,00	
	1,60	1015,00	
	1,66	1144,00	
2	1,14	594,00	1,54
	1,31	820,00	
	1,54	1010,00	
	1,74	1179,00	
3	1,13	635,00	1,54
	1,36	835,00	
	1,57	1068,00	
	1,78	1185,00	
4	1,16	598,00	1,53
	1,40	859,00	
	1,62	1083,00	
	1,68	1173,00	
5	1,14	575,00	1,55
	1,43	828,00	
	1,64	1100,00	
	1,74	1210,00	
6	1,43	855,00	1,53
	1,50	934,00	
	1,59	1086,00	
	1,63	1140,00	
7	1,13	554,00	1,59
	1,31	781,00	
	1,64	1043,00	
	1,80	1181,00	
8	1,49	848,00	1,59
	1,52	960,00	
	1,65	1080,00	
	1,70	1137,00	
9	1,13	603,00	1,63
	1,38	732,00	
	1,67	1005,00	
	1,72	1115,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,5

Muestra 3

Muestra 3			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura de punto
1	1,22	597,00	1,63
	1,47	810,00	
	1,65	1038,00	
	1,72	1091,00	
2	1,39	732,00	1,61
	1,47	859,00	
	1,63	1038,00	
	1,81	1210,00	
3	1,26	613,00	1,66
	1,43	792,00	
	1,72	1071,00	
	1,83	1153,00	
4	1,20	676,00	1,67
	1,42	824,00	
	1,74	1050,00	
	1,94	1195,00	
5	1,32	679,00	1,65
	1,38	790,00	
	1,68	1010,00	
	1,80	1131,00	
6	1,20	601,00	1,69
	1,50	889,00	
	1,73	1043,00	
	1,93	1155,00	
7	1,49	784,00	1,66
	1,59	888,00	
	1,68	1010,00	
	1,79	1213,00	
8	1,31	633,00	1,55
	1,54	898,00	
	1,60	1090,00	
	1,63	1154,00	
9	1,28	626,00	1,61
	1,53	834,00	
	1,61	1083,00	
	1,84	1225,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,5

Muestra 4

Muestra 4			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,19	670,00	1,50
	1,27	742,00	
	1,57	1050,00	
	1,69	1243,00	
2	1,07	569,00	1,50
	1,31	787,00	
	1,56	1056,00	
	1,70	1210,00	
3	1,31	831,00	1,39
	1,35	941,00	
	1,42	1090,00	
	1,54	1207,00	
4	1,16	604,00	1,55
	1,40	894,00	
	1,56	1013,00	
	1,75	1165,00	
5	1,16	630,00	1,53
	1,38	869,00	
	1,57	1005,00	
	1,68	1178,00	
6	1,27	730,00	1,53
	1,44	950,00	
	1,62	1068,00	
	1,75	1227,00	
7	1,27	683,00	1,52
	1,40	849,00	
	1,50	1010,00	
	1,68	1187,00	
8	1,21	603,00	1,52
	1,36	832,00	
	1,54	1037,00	
	1,69	1198,00	
9	1,30	695,00	1,55
	1,46	925,00	
	1,54	1026,00	
	1,73	1180,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,3

Muestra 5

Muestra 5			
PUNTO	ALTURA (m)	HIC	Altura del punto
1	1,13	572,00	1,49
	1,32	764,00	
	1,57	1058,00	
	1,67	1251,00	
2	1,10	562,00	1,57
	1,44	917,00	
	1,60	1015,00	
	1,69	1101,00	
3	1,17	665,00	1,53
	1,38	906,00	
	1,64	1084,00	
	1,72	1160,00	
4	1,10	611,00	1,48
	1,36	829,00	
	1,56	1101,00	
	1,63	1158,00	
5	1,11	701,00	1,42
	1,35	899,00	
	1,51	1099,00	
	1,56	1157,00	
6	1,21	679,00	1,51
	1,36	789,00	
	1,57	1090,00	
	1,64	1145,00	
7	1,23	726,00	1,50
	1,35	851,00	
	1,51	1057,00	
	1,61	1070,00	
8	1,17	653,00	1,50
	1,46	918,00	
	1,57	1036,00	
	1,69	1250,00	
9	1,10	624,00	1,46
	1,34	813,00	
	1,53	1091,00	
	1,61	1162,00	

ALTURA DE CAÍDA CRÍTICA (m)

1,4



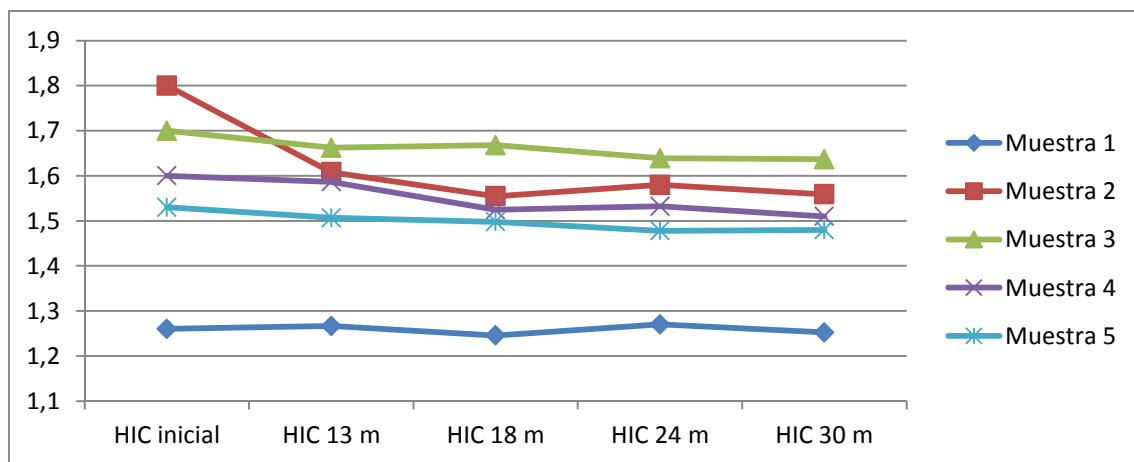
7. Discusión

Para la discusión de resultados, al tratarse de gran cantidad de pruebas y puntos el análisis, se ha realizado diferenciando tres bloques. En primer lugar se ha realizado un análisis descriptivo de cada muestra, en segundo lugar el análisis del conjunto de puntos y por último el análisis del HIC por tipología de punto. El análisis de tipología de punto se plantea ya que de los nueve puntos ensayados en cada muestra existen tres tipologías claramente diferenciadas (a priori) que son las siguientes:

- Puntos "esquina" Correspondientes a los puntos 1, 3, 7 y 9. Son los puntos recayentes más cercanos a cada una de las esquinas de la muestra.
- Punto "central" Correspondiente al punto 5. Punto centrado sobre la muestra.
- Puntos laterales, Correspondientes a los puntos 2, 4, 6 y 8. Puntos restantes.

7.1 Análisis de HIC por muestra

En la siguiente gráfica se puede observar la evolución de los **valores medios de HIC** obtenidos en cada muestra en las pruebas realizadas.

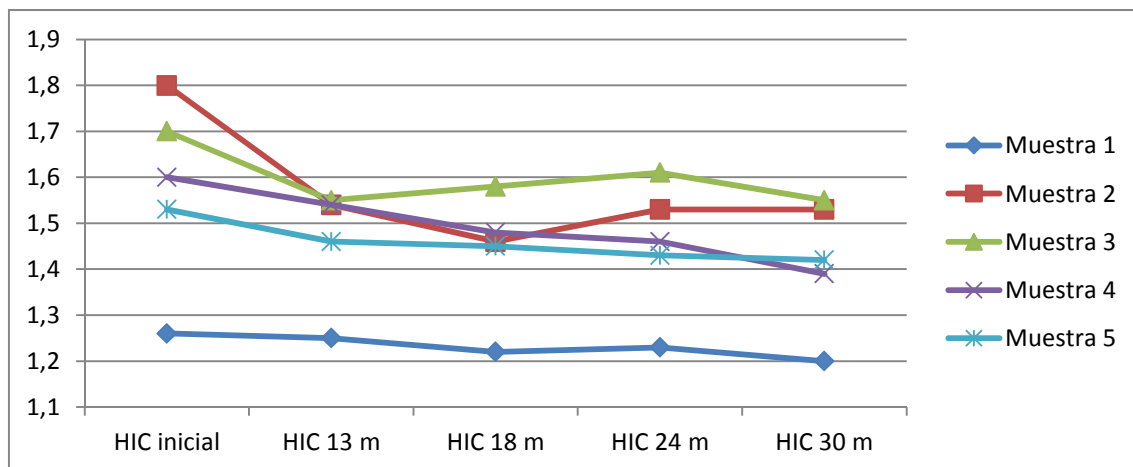


Como se puede observar la tendencia de los valores medios ha sido de reducción. Dicha reducción resulta más acusada en aquellas muestras que contaban con un mayor valor de HIC inicial, especialmente en la muestra 2 y 3. La muestra 1, de menor valor de HIC inicial es la que menor variación ha tenido a lo largo de los 30 meses

En la siguiente tabla se incluyen los valores de cada una de las muestras.

Muestra	HIC inicial	HIC 13 m	HIC 18 m	HIC 24 m	HIC 30 m
1	1,26	1,27	1,25	1,27	1,25
2	1,80	1,61	1,55	1,58	1,56
3	1,70	1,66	1,67	1,64	1,64
4	1,60	1,59	1,52	1,53	1,51
5	1,53	1,51	1,50	1,48	1,48

En la siguiente gráfica se puede observar la evolución de los **valores mínimos de HIC** obtenidos en cada muestra en las pruebas realizadas.



En este gráfico se puede observar cómo la tendencia ya observada en la gráfica de valores medios se mantiene incluso se acentúa. Las muestras de mayor HIC inicial son las de mayor pérdida. Si bien hay un aspecto curioso y es que en tres de las cinco muestras en la prueba realizada a los 24 meses el valor mínimo era superior respecto al valor mínimo de la prueba anterior.

En la siguiente tabla se incluyen los valores de cada una de las muestras.

Muestra	HIC inicial	HIC 13 m	HIC 18 m	HIC 24 m	HIC 30 m
1	1,26	1,25	1,22	1,23	1,20
2	1,80	1,54	1,46	1,53	1,53
3	1,70	1,55	1,58	1,61	1,55
4	1,60	1,54	1,48	1,46	1,39
5	1,53	1,46	1,45	1,43	1,42

A continuación se pasa a hacer un análisis más detallado de los resultados de cada una de las muestras para poder conocer el comportamiento que han tenido a lo largo de las distintas pruebas.

Muestra 1

Como puede observarse en la siguiente tabla, la muestra 1 ha tenido un comportamiento homogéneo a lo largo de las distintas pruebas, presentando pequeñas subidas y bajadas medias (primera fila) en torno al 1%. Respecto a los valores mínimos sí que se han producido una tendencia claramente descendente, produciéndose en la prueba de los 30 meses una pérdida de HIC respecto al inicial de un 4,76%.

Muestra	Valor	Hic inicial	Hic 13m	% dif a origen	Hic18	% dif al anterior	% dif a origen	Hic24	% dif al anterior	% dif a origen	Hic30	% dif al anterior	% a origen
1	Medio	1,26	1,27	0,53	1,25	-1,67	-1,15	1,27	1,96	0,79	1,25	-1,40	-0,62
	Mín		1,25	-0,79	1,22	-3,68	-3,17	1,23	-1,25	-2,38	1,20	-5,51	-4,76

Muestra 2

Como puede observarse en la siguiente tabla, la muestra 2 ha presentado grandes pérdidas especialmente en el primer periodo entre ensayos donde se han perdido un 10,68% de media (primera fila) y un 14,44% de valor máximo. La máxima diferencia se produce en la prueba de los 18 meses donde se aproxima al 19%.

Muestra	Valor	Hic inicial	Hic 13m	% dif a origen	Hic18	% dif al anterior	% dif a origen	Hic24	% dif al anterior	% dif a origen	Hic30	% dif al anterior	% a origen
2	Medio	1,8	1,61	-10,68	1,55	-3,32	-13,6	1,58	1,64	-12,2	1,56	-1,34	-13,4
	Mín		1,54	-14,44	1,46	-9,19	-18,9	1,53	-1,57	-15,0	1,53	-3,16	-15,0

Muestra 3

En la siguiente tabla se observa el comportamiento de la muestra 3. La muestra ha tenido un comportamiento homogéneo a lo largo de las distintas pruebas, presentando pequeñas subidas y bajadas medias llegando a una pérdida final en valor medio del 3,73%. Respecto a los valores mínimos sí que se han producido una tendencia claramente descendente, produciéndose en la prueba de los 30 meses una pérdida de HIC respecto al inicial de un 8,82%.

Muestra	Valor	Hic inicial	Hic 13m	% dif a origen	Hic18	% dif al anterior	% dif a origen	Hic24	% dif al anterior	% dif a origen	Hic30	% dif al anterior	% a origen
3	Medio	1,7	1,66	-2,22	1,67	0,33	-1,90	1,64	-1,73	-3,59	1,64	-0,14	-3,73
	Mín		1,55	-8,82	1,58	-4,95	-7,06	1,61	-3,46	-5,29	1,55	-5,42	-8,82

Muestra 4

En la siguiente tabla se recoge el comportamiento de la muestra 4. La muestra ha tenido un comportamiento claro a lo largo de las distintas pruebas, presentando pequeñas bajadas medias llegando a una pérdida final en valor medio del 5,63%. Respecto a los valores mínimos sí que se han producido una tendencia mayor descendente, produciéndose en la prueba de los 30 meses una pérdida de HIC respecto al inicial de un 13,13%.

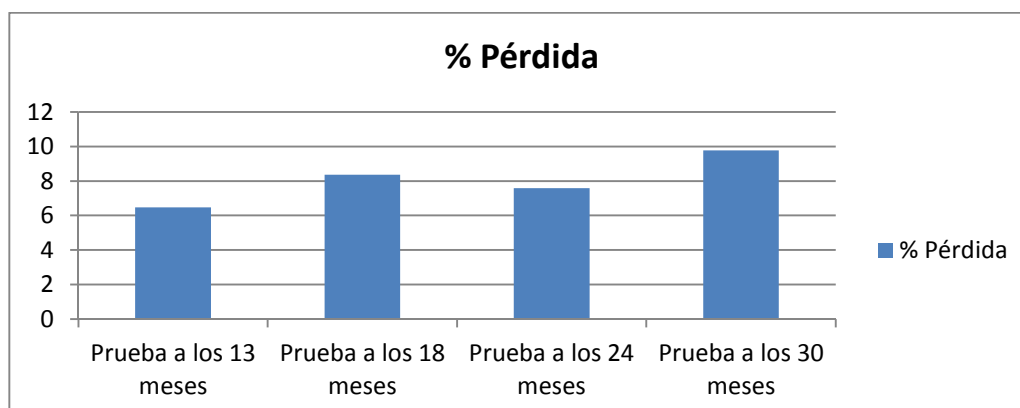
Muestra	Valor	Hic inicial	Hic 13m	% dif a origen	Hic18	% dif al anterior	% dif a origen	Hic24	% dif al anterior	% dif a origen	Hic30	% dif al anterior	% a origen
4	Medio	1,6	1,59	-0,83	1,52	-3,92	-4,72	1,53	0,51	-4,24	1,51	-1,45	-5,63
	Mín		1,54	-3,75	1,48	-6,72	-7,50	1,46	-4,23	-8,75	1,39	-9,28	-13,13

Muestra 5

En la siguiente tabla se recoge el comportamiento de la muestra 5. La muestra ha tenido un comportamiento a lo largo de las distintas pruebas marcado por las pequeñas variaciones descendentes, llegando a una pérdida final en valor medio del 3,27%. Respecto a los valores mínimos sí que se han producido una tendencia mayor descendente, produciéndose en la prueba de los 30 meses una pérdida de HIC respecto al inicial de un 7,19%.

Muestra	Valor	Hic inicial	Hic 13m	% dif a origen	Hic18	% dif al anterior	% dif a origen	Hic24	% dif al anterior	% dif a origen	Hic30	% dif al anterior	% a origen
5	Medio	1,53	1,51	-1,53	1,50	-0,59	-2,11	1,48	-1,34	-3,41	1,48	0,15	-3,27
	Mín		1,46	-4,58	1,45	-3,76	-5,23	1,43	-4,53	-6,54	1,42	-3,91	-7,19

A modo de resumen la siguiente tabla muestra la pérdida media de los máximos de las 5 muestras para cada una de las pruebas.



7.2 Análisis de HIC Global

La visión global de los resultados, en lo que al conjunto de muestras se refiere, sugería que el comportamiento de conjunto de las mismas presentaba una tendencia similar. Se ha realizado, para comprobar el mismo, la agrupación de muestras en sus valores medios para cada una de las pruebas realizadas. En el siguiente diagrama de cajas y bigotes se puede apreciar los valores medios y los percentiles 25 y 75 y la densidad de distribución de puntos en cada una de las pruebas realizadas.

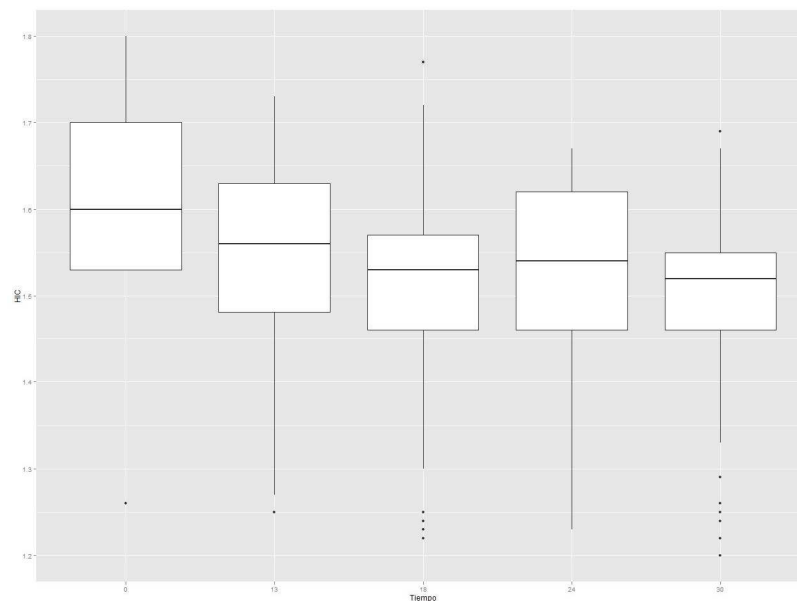


Figura 25. Diagrama de cajas y bigotes del valor de HIC del conjunto de muestras

Una primera comprobación que se ha realizado es el análisis de la relación existente entre el valor del HIC global del conjunto, el momento de realización de cada ensayo y cada una de las muestras. Para ello se ha realizado un análisis de varianza (ANOVA) considerando como factores principales el tiempo (momento de cada ensayo, 0, 13, 18, 24 y 30) y cada una de las muestras empleadas, obteniéndose que existen diferencias significativas en los dos factores, tanto entre distintos tiempos de ensayo como entre distintas muestras:

Factor	Sum sq	Df	F value	Pr(>F)
Tiempo	0.07858	4	7.6192	0.001232**
Muestra	0.42074	4	40.7935	3.3e-08***
Residuals	0.04126	16		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Para el valor de los HIC's globales se han sacado los intervalos de confianza para la media para un 95% (IC 95%), obteniéndose los siguientes valores para cada uno de los tiempos de ensayo.

Tiempo	0	13	18	24	30
Límite superior	1.626141	1.516141	1.486141	1.500141	1.466141
Media	1.578	1.468	1.438	1.452	1.418
Límite inferior	1.529859	1.419859	1.389859	1.403859	1.369859

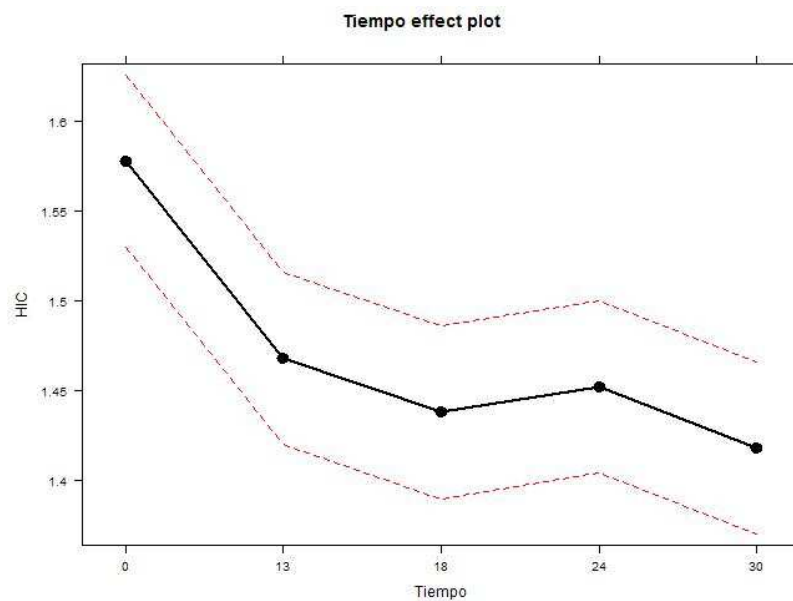


Figura 26. Intervalos de confianza para las medias de HIC global en cada uno de los ensayos

En la tabla de la ANOVA se han identificado diferencias significativas entre los factores considerados, tiempo y muestra. Para analizar en qué momentos existen diferencias se realiza una comparación múltiple de medias empleando el Contraste de Tukey (Tukey Contrast).

Tiempo	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
13 - 0	-0.11000	0.03212	-3.425	0.003471 **
18 - 0	-0.14000	0.03212	-4.359	0.000487 ***
24 - 0	-0.12600	0.03212	-3.923	0.001213 **
30 - 0	-0.16000	0.03212	-4.982	0.000136 ***
18 - 13	-0.03000	0.03212	-0.934	0.364121
24 - 13	-0.01600	0.03212	-0.498	0.625119
30 - 13	-0.05000	0.03212	-1.557	0.139055
24 - 18	0.01400	0.03212	0.436	0.668714
30 - 18	-0.02000	0.03212	-0.623	0.542221
30 - 24	-0.03400	0.03212	-1.059	0.305467

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 (Univariate p values reported)

Se han obtenido diferencias significativas entre los valores de HIC obtenidos en la prueba inicial y los obtenidos en el resto de ensayos realizados.

7.3 Análisis de HIC por tipología de punto

De los puntos analizados en cada ensayo en las muestras hay 3 tipologías de punto de ensayo claramente diferenciado y que pueden tener comportamientos distintos que hayan afectado a los resultados globales y a la interpretación que se hace de los mismos. Las diferencias entre puntos de diferente tipología se basa en la disposición relativa dentro de la muestra, más centrada, más cercana a las esquinas o más cercana a un único lateral.

Para comprobar si existe esa afección se han agrupado los puntos de cada tipología cogiendo los valores medios de cada tipología y muestra. En la siguiente gráfica se puede apreciar los valores medios y los percentiles 25 y 75% y la distribución de puntos en cada una de las pruebas realizadas. En magenta se han graficado los puntos de tipo esquina, en verde los puntos de tipo centro y en azul los de tipo lateral.

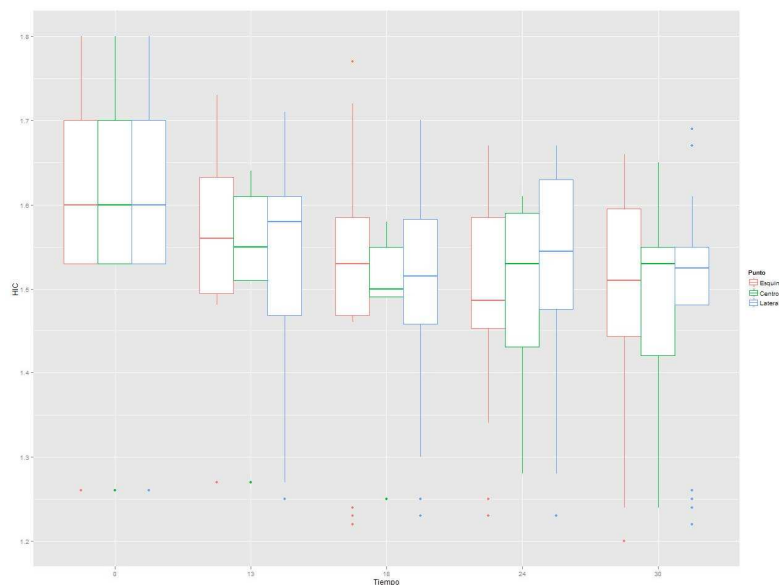


Figura 27. Diagrama de cajas y bigotes de valor de HIC por tipología de punto

Se ha realizado el análisis para obtener si existen diferencias en el valor del HIC global del conjunto, en cada momento de ensayo y las tipologías de los puntos de las muestras. Para ello se ha realizado un análisis de varianza (ANOVA) empleando como factores el tiempo (momento de cada ensayo, 0, 13, 18, 24 y 30) las muestras empleadas y las tipologías de puntos de ensayo, obteniéndose que existen diferencias significativas en el valor de HIC para los distintos momentos de ensayo y entre las muestras, no así con la tipología de punto de ensayo:

Factor	Sum sq	Df	F value	Pr(>F)
Tiempo	0.08685	4	12.0442	2.341e-07 ***
Muestra	1.45052	4	201.1462	< 2.2e-16 ***
Tipo punto	0.00261	2	0.7243	0.4886
Residuals	0.04126	64		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Para el valor de los HIC's por tipología de punto se han sacado los intervalos de confianza para la media para un 95% (IC 95%), obteniéndose los siguientes valores para cada uno de los tiempos de ensayo.

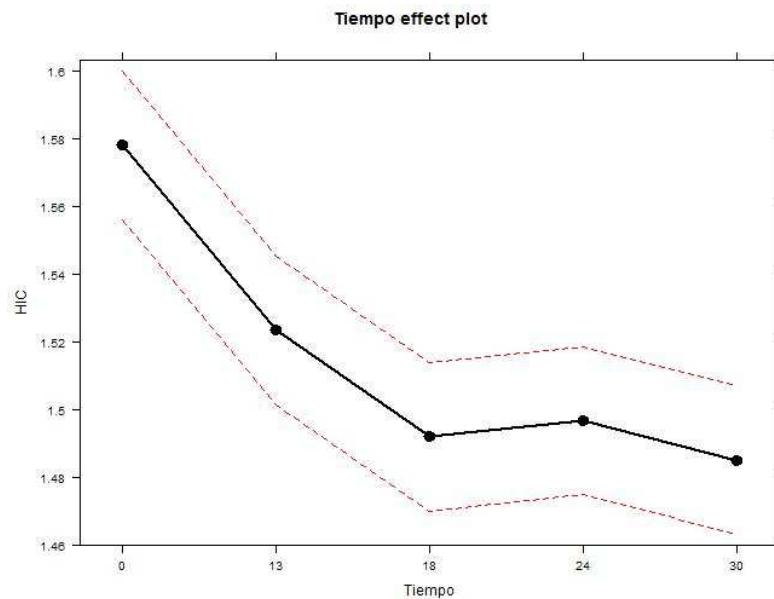


Figura 28. Intervalos de confianza para el HIC por tipología de punto

Tiempo	0	13	18	24	30
Límite superior	1.599901	1.545401	1.513901	1.518735	1.507068
Media	1.578000	1.523500	1.492000	1.496833	1.485167
Límite inferior	1.556099	1.501599	1.470099	1.474932	1.463265

En la tabla de la ANOVA se han identificado diferencias significativas entre los valores de HIC por tipología de punto en los factores, tiempo y muestra. Para analizar en qué momentos existen diferencias se realiza una comparación múltiple de medias empleando el Contraste de Tukey (Tukey Contrast)

Multiple Comparisons of Means: Tukey Contrasts

Tiempo	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
13 - 0	-0.054500	0.015504	-3.515	0.000813 ***
18 - 0	-0.086000	0.015504	-5.547	5.93e-07 ***
24 - 0	-0.081167	0.015504	-5.235	1.95e-06 ***
30 - 0	-0.092833	0.015504	-5.988	1.06e-07 ***
18 - 13	-0.031500	0.015504	-2.032	0.046338 *
24 - 13	-0.026667	0.015504	-1.720	0.090269 .
30 - 13	-0.038333	0.015504	-2.472	0.016086 *
24 - 18	0.004833	0.015504	0.312	0.756247
30 - 18	-0.006833	0.015504	-0.441	0.660883
30 - 24	-0.011667	0.015504	-0.752	0.454515

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Se han obtenido diferencias significativas entre la prueba inicial y el resto de pruebas y entre la prueba de los 13 meses con el resto.

8. Conclusiones

A pesar de las limitaciones propias del estudio realizado, ha quedado demostrado que las muestras de pavimentos de seguridad de caucho reciclado destinadas a la absorción de impactos en parques infantiles, presentan una pérdida de dicha propiedad por el simple hecho del paso del tiempo y estar expuestas a la intemperie. No se ha cuantificado la participación de cada aspecto en dicha pérdida.

Las pérdidas por la exposición se encuentran entre un 5 y 15% en valor de HIC a los 2 años y medio. Presentando ya a los trece meses valores de pérdida en algunos casos que superan el 14%.

Éstas pérdidas han de considerarse las pérdidas mínimas que se van a producir en los pavimentos por el paso del tiempo, a las que habrá que sumar aquellas asociadas al uso.

Se ha valorado el nivel de HIC en condiciones controladas de temperatura y de exposición climática por lo que los resultados, más sabiendo el modo en que afectan las condiciones de temperatura y humedad, son poco extrapolables a condiciones de exposición climática diferente, donde la evolución será distinta.

Se ha evidenciado la necesidad de realizar una verificación de las propiedades de amortiguación de impactos de los pavimentos para garantizar que aportan el grado de seguridad suficiente ante la demanda de su lugar de ubicación y garantizarla holgadamente. De no ser así corremos el riesgo de que, al poco tiempo de la instalación de un pavimento éste no aporte la seguridad necesaria para el nivel establecido, que no debemos olvidar, aún así no garantiza una seguridad absoluta ante riesgos fatales.



9. Trabajos futuros

De los resultados y la discusión se aprecian distintas líneas de trabajo futuras condicionadas por la situación de partida de los ensayos y la aplicabilidad de los resultados a otros pavimentos o situaciones.

- El estudio se ha desarrollado a lo largo de dos años y medio, es deseo del autor continuar con los ensayos para seguir analizando la evolución de la propiedad de absorción de impactos en las muestras durante el mayor tiempo posible.
- Los ensayos se han desarrollado en un clima marcadamente mediterráneo de inviernos muy suaves y veranos medios, resultaría interesante evaluar la propiedad (y más, conocida la afección que tiene en la absorción de impactos) en entornos extremos opuestos, pudiendo introducir otras variables en el análisis. Se deberían plantear la posibilidad de realizar los estudios en climas muy cálidos todo el año y ubicaciones con clima más frío.
- Como variante de la línea anterior se podría repetir el ensayo pero simulando al menos las condiciones extremas a través de aclimatación en cámara climática y ensayo posterior en tres partes. Se ensayaría en las tres condiciones para poder comparar si la evolución de la amortiguación resulta distinta a distintas temperaturas.
- Resulta interesante realizar un estudio similar donde las muestras no estén sometidas a intemperie y se evalúe la pérdida de amortiguación exclusivamente asociada al tiempo. Este estudio ayudaría a conocer la amortiguación residual de un producto desde su fabricación así como para determinar la vida útil de productos que vayan a ser almacenados o mantenidos en stock. Sería especialmente interesante para productos presentados en forma de losetas prefabricadas que no se realicen in situ.
- Una ventaja de este estudio ha sido que las muestras no se han visto sometidas al uso con la dificultad de cuantificación que esto supone si se quiere objetivar. Una línea de trabajo interesante sería la comparación de la evolución de la propiedad de absorción de impactos entre muestras iguales unas con uso y otras sin el. Con esta línea se podría llegar a establecer líneas de previsión en base a envejecimientos naturales que dieran una estimación de la pérdida de amortiguación en uso.
- En línea con el punto anterior sería muy interesante el desarrollo de un método de ensayo de simulación de uso acelerado que cruzado con los ensayos del punto anterior se pudiera validar y permitir hacer estimaciones rápidas de la evolución de un pavimento en cuanto al uso. Dicho método de ensayo se podría plantear con muestras normalizadas de 50x50 cm y la aplicación de fuerzas a fatiga y el análisis de la pérdida de absorción tra un número determinado de ciclos con aplicador.
- Se abre a su vez la posibilidad de seleccionar y analizar en mayor profundidad qué aspectos del diseño permiten prever la pérdida de propiedades del material de manera que se pueda llegar a establecer tablas de la duración estimada y éstas se pudieran incluir en los pliegos de prescripción y normas de referencia.



10. Bibliografía

Para el desarrollo del presente trabajo se ha empleado la siguiente bibliografía:

- **ASTM F 1292-04** Standard specification for: IMPACT ATTENUATION OF surfacing materials within the use zone of playground equipment.
- **ASTM F 355** Standard specification for: Test method for shock-absorbing properties of playing surface systems and materials.
- **ASTM F 1951** Standard specification for: specification for determination of accessibility of surface systems under and around playground equipment
- **ASTM F 2075** Standard specification for: Specification for engineered wood fiber for use as a playground safety surface under and around playground equipment.
- **Ayto. València, 2013.** Dades estadístiques de la ciutat de València. Número 1 2013.
- **Collantes, Margarita,** Evaluation of the Importance of Using Head Injury Criterion (HIC) to Estimate the Likelihood of Head Impact Injury as a Result of a Fall Onto Playground Surface Materials; U.S. Consumer Product Safety Commission, Washington, D.C. 20207, October 1990.
- **Decreto 127/2001,** de 5 de junio, sobre medidas de seguridad en los parques infantiles En Andalucía.
- **Decreto 245/2003,** de 24 de abril, por el que se establecen las normas de seguridad en los parques infantiles de Galicia.
- **Gärling, T.:** «Children's environments, accidents and accident prevention: A conceptual analysis». Children's Environments Quarterly, 2(4), 4-8. (1986).
- **Guraya, T.,** Estudio y desarrollo de productos de caucho obtenido de neumáticos reciclados: Informe final. Programa Universidad-Empresa (UE/2000) del Gobierno Vasco (2000).
- **Hans-Wolfgang Henn** Crash Tests and the Head Injury Criterion. Teaching mathematics and its applications Volume 17, No. 4, 1998
<http://www.health.uottawa.ca/biomech/courses/apa6903/CrashTests%20and%20the%20HIC.pdf>
- **Jenkins, Nick.** Research Review: Promoting Safe Play and "Hanging Out". Research and Influencing Unit. Barnardos. 2002.
- **Jiménez Morago, J.:** «Prevención de riesgos domésticos y accidentes infantiles». Curso Hispano-Luso de Prevención de las Deficiencias. Huelva, 2000.
- **Klassen T,** Mackay M, Moher D, Walker A, Jones A. Community - Based Injury Prevention (The future of children). Unintentional Injuries in Childhood, 2000; 10:83-110.
- **Martyn R.** Shorten, Ph.D. Impact Attenuation of Playground Surfaces BioMechanica, LLC
- **Mick G. Mack,** Donna Thompson & Susan Hudson. (2007). An Analysis of Playground Surface Injuries. Research Quarterly for Exercise and Sport. Volume 68, Issue 4, (pages 368-372) 1997.

- **MSC/CE, 2000.** Prioridades para la seguridad infantil en la unión europea. Plan de acción. (2000).
<http://www.msc.es/profesionales/saludPublica/prevPromocion/docs/seguridadInfantilUE.pdf>
- **ISO 6487:2002** Vehículos de carretera. Técnicas de medición durante los ensayos de choques. Instrumentación.
- **Revista Consumer.** Seguridad en los parques infantiles. nº141. Abril 2010.
http://revista.consumer.es/web/es/20100401/actualidad/tema_de_portada/
- **Revista Consumer.** Seguridad en los parques infantiles. nº87. Abril 2005.
- **Tierney, John (2011)** ¿Can a Playground Be Too Safe? The new York times 2011/11/10
- **UNE-EN 1177:2009** Revestimientos de las superficies de las áreas de juego absorbentes de impactos. Determinación de la altura crítica de caída.
- **UNE-EN 1176-1:2009** Equipamiento de las áreas de juego y superficies. Parte 1.: Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo.
- **UNE-EN 5470-1:1999** Tejidos recubiertos de plástico o caucho. Determinación de la resistencia a la abrasión. Parte 1: aparato de ensayo de abrasión Taber.
- **UNE-ENV 12633:2003** método de la determinación del valor de resistencia al deslizamiento/resbalamiento de los pavimentos pulidos y sin pulir.
- **UNE-EN 14836:2006.** Superficies sintéticas para espacios deportivos de exterior – Envejecimiento artificial.
- **UNE-EN 20105-A02: 1998.** Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte A02: escala de grises para evaluar la degradación.
- **U.S. Consumer Product Safety Commission.** Special Study: Injuries and Deaths Involving Children Under Age 2 Associated with Playground Equipment. Octubre 2009.
Página web: <http://www.cpsc.gov/PageFiles/102235/playground2.pdf>
- **U.S. Consumer Product Safety Commission.** Special study: injuries and deaths associated with children's playground equipment.
<http://www.cpsc.gov//PageFiles/108601/playgrnd.pdf>
- **U.S. Consumer Product Safety Commission.** Injuries and investigated deaths associated with playground equipment. 2001-2008.
<http://www.cpsc.gov//PageFiles/108596/playground.pdf>

Páginas web

Se han consultado las siguientes páginas Web:

- www.ibv.org Instituto de biomecánica de Valencia
- www.afamour.es Asociación española de fabricantes de mobiliario urbano y parques infantiles.
- www.aenor.es Asociación española de normalización y certificación
- www.cen.eu European Committee for Standardization.
- www.astm.org Astm develop standarts.
- www.safercar.gov Base de datos de comportamiento de vehículos con sus niveles de HIC ante impactos.
- <http://www.triax2000.com/index2.html> Empresa Triax.