

2003-08-26

**ATENUACIÓN DEL IMPACTO DE SISTEMAS DE
SUPERFICIES POR DEBAJO Y ALREDEDOR DE
EQUIPOS PARA PARQUES INFANTILES**



E: IMPACT ATTENUATION OF SYSTEMS UNDER AND
AROUND PLAYGROUND EQUIPMENT

CORRESPONDENCIA: esta norma es idéntica (IDT) por traducción a la norma ASTM F 1292-99, Standard Specification for Impact of Systems Under and Around Playground Equipment, Copyright ASTM International. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States.

DESCRIPTORES: sistemas de superficies; atenuación del impacto; parques infantiles.

I.C.S.: 97.200.40

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

ICONTEC es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 5176 fue ratificada por el Consejo Directivo del 2003-08-26.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que participaron en el estudio de esta norma a través del Comité Técnico 177 Seguridad de parques infantiles.

ADEPARQUES INSTITUTO DISTRIAL PARA LA RECREACIÓN Y EL DEPORTE JUEGOS Y PARQUES RECREATIVOS M´ASERCO LTDA.	MULTIJUEGOS PARQUES INFANTILES SECRETARIA DE EDUCACIÓN DEL DISTRITO UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
---	--

Además de las anteriores, en Consulta Pública el proyecto se puso a consideración de las siguientes empresas:

ANDIMALLAS Y ANDIMETALES S.A.
JUEGOS Y PARQUE SRECREATIVOS
MINISTERIO DE EDUCACIÓN
UNIVERSIDAD DE LA SABANA

ICONTEC cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

ATENUACIÓN DEL IMPACTO DE SISTEMAS DE SUPERFICIES POR DEBAJO Y ALREDEDOR DE EQUIPOS PARA PARQUES INFANTILES

INTRODUCCIÓN

La necesidad de establecer un medio de evaluación sistemático para los materiales de las superficies utilizadas en parques infantiles se ha demostrado ampliamente por la dificultad actual para evaluar las características de estas superficies debido a la diversidad de los métodos de ensayo, las prácticas en los laboratorios y la terminología. En consecuencia, el objetivo de esta norma es establecer una forma de medición uniforme para comparar características de los materiales, con el fin de brindar al comprador potencial un patrón con el cual medir los materiales disponibles para ser usados como superficie por debajo y alrededor de equipos para parques infantiles.

1. OBJETO

1.1 Esta norma presenta los requisitos mínimos para atenuación del impacto, cuando se realizan ensayos de acuerdo con la norma ASTM F 355, para sistemas de superficie que se van a usar debajo y alrededor de cualquier parte de un equipo para parque infantil, del cual pueda caer una persona. Esta norma se aplica a todos los tipos de materiales que se pueden usar como superficies para parques infantiles.

1.2 El uso de esta norma no implica que no pueda ocurrir una lesión aunque el sistema cumpla con los requisitos de esta norma.

1.3 Los valores establecidos en unidades SI se deben considerar como los normalizados. Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas adecuadas de salud y seguridad y determinar la aplicación de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS

2.1 NORMAS ASTM REFERENCIADAS

ASTM E 691, Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method.

ASTM F 355, Test Method for Shock-Attenuation Characteristics of Protective Headgear for Football.

ASTM F 429, Test Method for Shock-Attenuation Characteristics of Protective Headgear for Football.

2.2 NORMA SAE

SAE J 211, Recommended Practice for Instrumentation for Impact Tests.

3. TERMINOLOGÍA

3.1 DEFINICIONES DE LOS TÉRMINOS ESPECÍFICOS A ESTA NORMA

3.1.1

aceleración

la tasa de cambio de velocidad, en el tiempo.

3.1.2

alrededor de equipos para parques infantiles

el área bajo los equipos para parque infantil y alrededor de estos, establecida como protección contra caídas desde el equipo.

3.1.3

desaceleración

la tasa de reducción de velocidad, en el tiempo.

3.1.4

g

aceleración debida a la gravedad en la superficie de la tierra, al nivel del mar (9,8 m/s).

3.1.5

g-máx

el múltiplo de g que representa una desaceleración máxima experimentada durante un impacto inicial.

3.1.6

horma de la cabeza

en un aparato de ensayo, la parte que golpea.

3.1.7

criterio de lesión en la cabeza (CLC)

medida de la severidad del impacto, que considera el tiempo durante el cual persiste la sección más crítica del impulso de desaceleración, al igual que el nivel pico de esa desaceleración.

3.1.8

atenuación del impacto

capacidad de un sistema de superficie para reducir y disipar la energía de un cuerpo que hace impacto.

3.1.9

velocidad del impacto

la velocidad de un cuerpo que cae, en el momento del impacto.

3.1.10**sistema de relleno suelto**

sistema de superficie que consta de componentes pequeños, móviles e independientes; es decir, arena, grava, viruta de madera, etc.

3.1.11**sistema de relleno compacto**

sistema de superficie que consta de uno o más componentes aglutinados; es decir, compuestos de espuma, bloques de uretano, caucho, asfalto, etc.

3.1.12**sistema de superficie**

todos los materiales que contribuyen a la unidad que absorbe el impacto.

3.1.13**altura de caída teórica**

es igual a la velocidad medida de la horma de la cabeza en el momento del impacto, a una altura que generaría la misma velocidad si el ensayo se realizara a nivel del mar, y no hubiera fricción para retardar su caída a esa altura.

3.2 Para las definiciones de otros términos usados en esta norma, véanse las normas ASTM F 355 y ASTM F 429.

4. REQUISITOS DE DESEMPEÑO

4.1 Todos los sistema de superficie se deben ensayar de acuerdo con los requisitos de desempeño del numeral 4.2. Además, las superficies también se pueden ensayar de acuerdo con el numeral 4.3. El ensayo de acuerdo con los requisitos de desempeño del numeral 4.3 es opcional.

4.2 Cuando el ensayo se realiza de acuerdo con la norma ASTM F 355 ó el método de caída libre del Anexo A.1, usando un promedio de las últimas dos de tres caídas, ningún valor debe exceder los 200 g-máx ó 1 000 CLC para ensayos en laboratorio a temperaturas de -1 °C, 23 °C y 49 °C respectivamente.

4.3 Cuando el ensayo se realiza en campo a temperatura ambiente, de acuerdo con la norma ASTM F355 ó el método de ensayo de caída libre del Anexo A.1, usando un promedio de las últimas dos de tres caídas, ningún valor debe exceder 200 g máx ó 1 000 CLC, a la altura especificada por el propietario/operador inicial antes de la compra de la superficie.

4.4 Una vez instalado el sistema de superficie y se ensaya de acuerdo con la norma ASTM F355 ó el método de caída libre del Anexo A.1, usando un promedio de las últimas dos de tres caídas en cada uno de los tres sitios de ensayo, y excede los 200 g-máximo ó los 1 000 CLC a temperatura ambiente, como se determina en el numeral 13, a la altura especificada por el propietario/operador antes de la compra de la superficie, el equipo para parque infantil sobre la superficie sólo debe usarse cuando esta cumpla con los requisitos establecidos en el numeral 4.2.

5. RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Los sistemas representativos de superficies para parques infantiles, o las muestras de materiales de superficies, o ambos, se ensayan de acuerdo con la norma ASTM F355, o el método de ensayo de caída libre descrito en el Anexo A.1. Los ensayos de laboratorio se realizan a varias alturas de caída y temperaturas de ensayo. Los ensayos en campo se realizan

a la altura de caída especificada, y a una temperatura ambiente del sitio dentro de un rango especificado. El método de ensayo en laboratorio determinará la altura máxima de caída a la cual g-máx no excede de 200 y CLC no excede de 1 000. El método de ensayo en campo determinará g-máx y CLC desde la altura de caída especificada por el propietario/operador a la temperatura ambiente del ensayo.

6. IMPORTANCIA Y USO

6.1 Los datos obtenidos en esta norma indican las características de atenuación de impacto relativas del sistema de la superficie para parques infantiles y se pueden usar solamente para comparaciones y para establecer los requisitos mínimos.

7. CALIFICACIÓN DEL OPERADOR

7.1 Si el operador no es empleado de un laboratorio acreditado o reconocido, debe estar entrenado y certificado por el proveedor del equipo, incluido un ensayo escrito y práctico, para determinar su competencia al realizar el ensayo apropiadamente como se describe en esta norma.

8. APARATO DE ENSAYO

8.1 La señal del transductor de aceleración se debe acondicionar con un filtro de paso bajo que cumpla con el Canal Clase 1 000 de la SAE J211 (véase la Figura 1).

8.2 El sistema de registro de aceleración debe tener capacidad de determinar con exactitud la desaceleración a un mínimo de ± 5 g de 0 g a 500 g.

8.3 El transductor de aceleración debe tener capacidad para soportar impactos de al menos 1 000 g sin sufrir daño.

8.4 Usar la horma de cabeza metálica C ANSI, de la norma ASTM F355 ó la horma en forma de cabeza hemisférica del método de ensayo de caída libre del anexo A.1.

8.4.1 La horma metálica en forma de cabeza C ANSI, de la norma ASTM F355, procedimiento C, debe estar conectada a las guías (tales como monorraíl, riel doble, o alambres de guía) usando un seguidor u otro mecanismo. Alternativamente, la horma en forma de cabeza hemisférica del método de caída libre en el Anexo A.1 se puede usar si está conectada a un sistema de guías. Se debe usar un acelerómetro uniaxial o triaxial. El sistema de guías debe permitir nivelar la horma en forma de cabeza antes y durante los ensayos de caída en la posición de la corona. El acelerómetro vertical debe estar alineado dentro de 5° del eje vertical. El acelerómetro debe ir colocado en el centro de la masa de la horma en forma de cabeza.

8.4.2 La horma en forma de cabeza hemisférica del método de ensayo de caída libre del Anexo A.1 se debe usar con un acelerómetro triaxial. El acelerómetro vertical se debe alinear dentro de 5° del eje vertical. El acelerómetro debe ir colocado en el centro de la masa de la horma en forma de cabeza.

8.5 La tasa de muestreo mínima del sistema es 16 000 Hz ó 16 000 muestras/s.

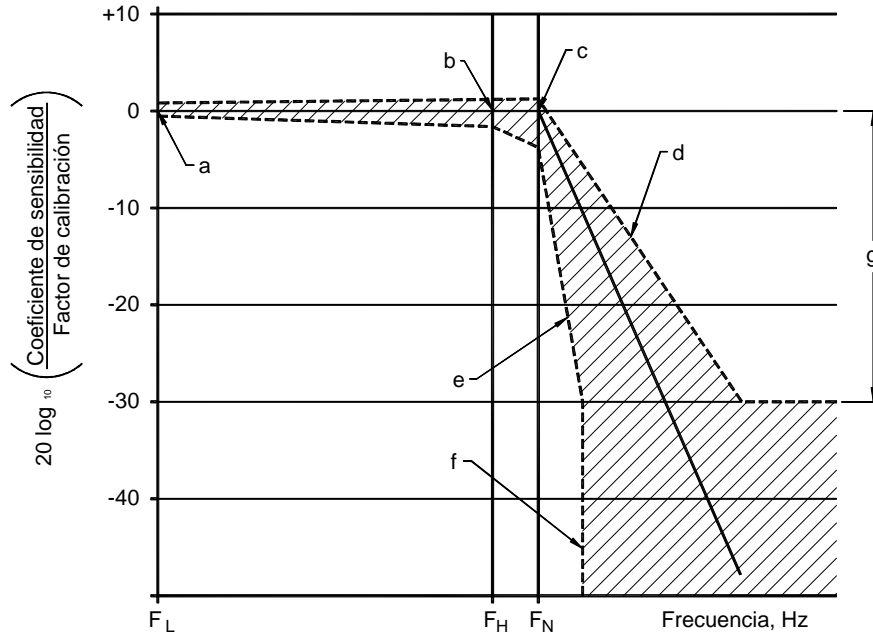


Figura 1. Exactitud dinámica del canal de datos

CFC	F_L Hz	F_H Hz	F_N Hz
1 000	<0,1	1 000	1 050
600	<0,1	600	1 000
180	<0,1	180	300
60	<0,1	60	100

Escala Logarítmica

<i>a</i>	±	0,5	dB
<i>b</i>	±	0,5 dB; -	1 dB
<i>c</i>	±	0,5 Db -	4 dB
<i>d</i>	-	8 dB/octava	
<i>e</i>	-	24 dB/octava	
<i>f</i>	-	∞	
<i>g</i>	-	30 dB	

8.6 El CLC se debe calcular con base en la siguiente expresión:

$$HIC = \left[(T_2 - T_1) \left(\frac{1}{(T_2 - T_1)} \int_{T_1}^{T_2} a dt \right)^{2,5} \right]_{m\acute{a}x} < 1\ 000 \quad (1)$$

El algoritmo especificado y los cálculos de verificación para CLC se incluyen como Apéndice X.2.

9. MUESTRA DE ENSAYO

9.1 Cada muestra de material de la superficie debe representar el sistema superficial para parques infantiles, como se prevé para su uso, incluidas las juntas, tabiques, esquinas y dispositivos de retención/anclajes u otras áreas que pueden dar como resultado características de impacto inferiores a las óptimas.

9.2 En el caso de sistemas de superficies para parques infantiles con relleno compacto, la muestra mínima debe medir 300 mm x 300 mm.

9.3 En el caso de sistemas de superficies para parques infantiles con relleno suelto, es conveniente construir, alrededor de la base del equipo de ensayo, una caja con una dimensión interior mínima de 450 mm x 450 mm y paredes laterales de altura suficiente para sostener el material de relleno, con el espesor del uso previsto, y mantener los materiales de relleno en su lugar. Los materiales de relleno sueltos se deben vaciar a una profundidad uniforme y la superficie se debe nivelar y dejar sin alterar durante todo el período de ensayo.

10. NÚMERO DE ESPECIMENES

10.1 Al menos nueve especímenes de un sistema de superficie para parques infantiles específica se deben someter a ensayo de laboratorio.

11. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS

11.1 Las muestras de laboratorio se deben preacondicionar a 50 % ± 10 % de humedad relativa y 23 °C ± 3 °C mínimo durante 24 h antes de comenzar el ensayo.

11.2 Las muestras ensayadas a diversas temperaturas, -1 °C, 23 °C, y 49 °C ± 1 °C, respectivamente se deben acondicionar durante 4 h como mínimo. El ensayo se debe comenzar en un lapso de 1 min después de haber sacado la muestra de la cámara ambiental, con un intervalo de tiempo entre caídas de 3 min ± 0,25 min. Si los intervalos de ensayo no se cumplen, será necesario un período de acondicionamiento inicial de 4 h.

12. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO (MÉTODO DE ENSAYO)

12.1 Ensayar todas las muestras del sistema de la superficie, de acuerdo con el método de ensayo seleccionado, ASTM F355, o el método de caída libre del Anexo A.1, con la horma en forma de cabeza haciendo impacto en la posición de la corona.

12.2 Realizar los ensayos de impacto considerando los siguientes criterios:

12.2.1 Llevar a cabo el ensayo de impacto a una altura máxima de caída en incrementos cada 30 cm, es decir, 30, 60, 90...n, lo que de una fuerza de desaceleración de 200-g máx y un CLC de 1 000 ó menos. También se deben hacer mediciones a intervalos de 30 cm por encima y por debajo de esta altura máxima de caída.

12.2.2 Un ensayo de impacto consiste en tres caídas en el mismo sitio de impacto, a cada altura. El sitio de impacto debe ser el lugar que presente las características de impacto menos óptimas (como se describen en 9.1). Calcular el promedio de la segunda y tercera caídas.

12.2.3 El ensayo de impacto usa una muestra diferente en todas las alturas, a las temperaturas dadas.

12.2.4 Las muestras del ensayo de impacto se deben ensayar a tres temperaturas específicas de -1 °C, 23 °C, y 49 °C después del acondicionamiento requerido.

12.2.5 Si por alguna razón, durante el ensayo, el dispositivo que sostiene la horma en forma de cabeza interfiere con el ensayo, registrar esto en el informe e interrumpir el ensayo. La información registrada se debe considerar inválida.

12.2.6 Cuando se usa la norma ASTM F355, medir y registrar la velocidad del impacto para cada caída. No puede variar más de $\pm 0,5$ pies/s de la velocidad de caída libre teórica a la altura de caída usada.

13. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO EN CAMPO (MÉTODO DE ENSAYO)

3.1 Ensayar al menos tres sitios de impacto diferentes de cada sistema de superficie en uso, de acuerdo con el método de ensayo seleccionado, ya sea la norma ASTM F355, ó el método de ensayo de caída libre del Anexo A.1, con la horma en forma de cabeza en la posición de la corona. Los sitios de impacto seleccionados deben incluir aquellas áreas que pueden presentar características de impacto inferiores a las óptimas. Estas pueden ser áreas de alto tráfico o áreas compactadas, al igual que áreas que contienen juntas, tabiques, esquinas y dispositivos de retención/anclajes.

13.2 Realizar el ensayo de impacto de acuerdo con los siguientes criterios:

13.2.1 Realizar los ensayos de impacto a la altura de caída, como lo especifica el propietario/operador inicial.

13.2.2 El ensayo de impacto debe tener tres caídas en cada uno de los sitios de impacto, para un total de nueve impactos. Reportar el promedio de la segunda y tercera caídas para valores g-máx y CLC.

13.2.3 Insertar un dispositivo de medición de temperatura en el sistema de la superficie (dentro de 6 pulgadas (152 mm) del sitio del impacto) en el momento del ensayo de impacto, para medir la temperatura del sistema de la superficie, a 1/2 pulgada (12,5 mm) de profundidad, o no más de la mitad de la profundidad del sistema de la superficie.

13.2.4 Medir y registrar la velocidad de impacto para cada caída. La velocidad del impacto no puede variar más de $\pm 0,5$ pies/s de la velocidad de caída libre teórica a la altura de caída usada.

14. INFORME

14.1 Reportar la siguiente información:

14.1.1 Identificación de la muestra, incluido el tipo, fuente, tamaño y espesor.

14.1.2 El procedimiento de ensayo usado y la descripción del proyectil, incluida la masa, la geometría y la orientación.

14.1.3 Las condiciones del ensayo, incluidas las temperaturas de las muestras y las alturas de caída empleadas.

14.1.4 Los valores de las caídas individuales y el promedio del segundo y tercer valor de caída para g-máx y CLC.

14.1.5 Las alturas de caída teóricas usadas.

14.1.6 La tasa de desaceleración/tiempo, en intervalos de 0,5 ms.

NOTA 1 El método preferido de presentación de datos sería en un gráfico (véanse las Figuras 2 y 3).

15. PRECISIÓN

15.1 Las fuentes potenciales de error o desviaciones son:

15.1.1 Las variaciones en el tiempo necesarias para el ensayo dan como resultado niveles variables de recuperación del material durante los ensayos a temperatura ambiente. Esta variación se acentúa en ensayos no realizados a temperatura ambiente, mediante la adición de condiciones de temperatura cambiantes dentro de la muestra, a la variable de recuperación del material.

15.1.2 Las variaciones en la velocidad de impacto producidas mediante cambios en la altura de caída o fricción en el mecanismo de guías de la caída.

15.1.3 El uso de proyectiles diferentes de los referenciados en esta norma puede causar variaciones sustanciales en los resultados.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5176

Identificación de la muestra _____

Dimensiones de la muestra

Procedimiento de ensayo ASTM F 355, Procedimiento C

Proyectil: horma en forma de cabeza Masa _____ libras (_____ kg)

Orientación de la horma de cabeza _____

TEMPERATURA	30 °F (-1 °C)	72 °F (23 °C)	120 °F (49 °C)
	Prom 2 y 3	Prom 2 y 3	Prom 2 y 3
	1 2 3 g max (CLC)	1 2 3 g (max) (CLC)	1 2 3 g (max) (CLC)

Número de la muestra	1	2	3
----------------------	---	---	---

Altura de caída
Pies (m)
Velocidad
Pies/s (m/s)

Número de muestras	4	5	6
--------------------	---	---	---

Altura de caída
Pies (m)
Velocidad
Pies/s (m/s)

Número de muestras	7	8	9
--------------------	---	---	---

Altura de caída
Pies (m)
Velocidad
Pies/s (m/s)

Figura 2. Formato sugerido para informe de ensayo de laboratorio

REPORTE

Reportar la siguiente información:

Identificación de la muestra _____

Dimensiones de la muestra _____

Procedimiento de ensayo ASTM F355, Procedimiento C

Proyectil Horma en forma de cabeza Masa _____ libras (kg.)

Orientación de la horma en forma de cabeza _____

Temperatura de la superficie
para parques infantiles

	Prom 2 y 3 1 2 3 g max (CLC)	Prom 2 y 3 1 2 3 g (max (CLC)	Prom 2 y 3 1 2 3 g (max) (CLC)
Número de Impactos en el sitio	1	2	3
Altura de caída Pies (m) Velocidad Pies/s (/s)			

Figura 3. Formato sugerido para el reporte de ensayo en campo

Tabla 1. Estadísticas de precisión para g-máx, norma ASTM F 355, Procedimiento C

Material	Promedio	Desviación estándar de repetibilidad (S _r)	Desviación estándar de reproducibilidad (S _R)	Límite de repetibilidad (r)	Límite de reproducibilidad (R)
D	52,4	2,0	7,8	5,6	21,8
E	62,9	9,1	11,4	25,5	31,9
H	107,2	3,8	7,9	10,6	25,8
A	125,0	2,6	9,5	7,3	26,6
C	143,8	1,9	7,7	5,3	21,6
G	193,2	15,2	17,1	42,6	47,9
B	202,0	2,6	14,6	7,3	40,9
F	234,3	3,2	12,0	9,0	33,6

Tabla 2. Estadísticas de precisión para g-máx, ensayo de caída libre

Material	Promedio	Desviación estándar de repetibilidad (S _r)	Desviación estándar de reproducibilidad (S _R)	Límite de repetibilidad (r)	Límite de reproducibilidad (R)
D	54,4	7,6	9,4	21,3	26,3
E	51,1	11,0	11,0	30,8	30,8
H	100,9	3,9	3,9	10,9	19,3
A	118,0	2,1	2,1	5,9	17,4
C	148,9	5,6	5,6	15,7	28,0
G	180,6	5,7	5,7	16,0	25,5
B	213,0	7,9	7,9	22,1	45,6
F	247,1	10,9	10,9	30,5	56,6

Tabla 3. Estadísticas de precisión para CLC, norma ASTM F 355, Procedimiento C

Material	Promedio	Desviación estándar de repetibilidad (S _r)	Desviación estándar de reproducibilidad (S _R)	Límite de repetibilidad (r)	Límite de reproducibilidad (R)
D	145,0	12,0	30,5	33,6	85,4
E	211,9	47,4	79,4	132,7	222,3
H	600,0	14,4	103,2	40,3	289,0
A	628,7	130,0	166,0	364,0	464,8
C	731,0	13,0	103,4	36,4	289,5
G	1 162,0	31,9	177,0	89,3	495,6
B	1 433,0	148,3	220,4	415,2	617,1
F	1 849,0	17,3	188,2	48,4	527,0

Tabla 4. Estadísticas de precisión para CLC, ensayo de caída libre

Material	Promedio	Desviación estándar de repetibilidad (S _r)	Desviación estándar de reproducibilidad (S _R)	Límite de repetibilidad (r)	Límite de reproducibilidad (R)
D	144,4	26,1	35,7	73,1	100,0
E	120,0	45,7	47,8	128,0	133,8
H	585,3	34,1	87,4	95,5	244,7
A	557,0	31,2	81,3	87,4	227,6
C	767,0	44,6	110,9	124,9	310,5
G	1 262,0	87,8	194,8	245,8	545,4
B	1 330,0	71,8	162,4	201,0	454,7
F	1 849,0	295,9	398,7	828,5	1 116,4

Tabla 5. Resultados combinados – Materiales de relleno sueltos y compactados

Uniaxial: Pico G (F 355, Procedimiento C)	± 24 %
Caída libre: Pico G	± 20 %
Uniaxial: Pico G (F 355, Procedimiento C)	± 54 %
Caída libre: CLC	± 40 %

Tabla 6. Materiales de relleno sueltos solamente

Uniaxial: Pico G (F 355, Procedimiento C)	± 21 %
Caída libre: Pico G	± 11 %
Uniaxial: Pico G (F 355, Procedimiento C)	± 31 %
Caída libre: CLC	± 24 %

15.2 Entre 1996-1997 se realizó un estudio interlaboratorio durante el desarrollo de este método de ensayo. Siete laboratorios corrieron pares de ensayos en ocho materiales de superficie, usando la norma ASTM F355, Procedimiento C. Los mismos laboratorios también corrieron pares de ensayos en los mismos materiales de superficie usando el método de ensayo de caída libre. En ambas series de ensayos, se determinaron los valores para *g*-máx y CLC. De los resultados de los ensayos se calcularon estadísticas de precisión, de conformidad con la norma ASTM E691.

15.2.1 Los resultados de la precisión se resumieron en las Tablas 1-4.

15.2.2 No es posible hacer una declaración sobre sesgo, debido a que no había una superficie de referencia disponible.

15.2.3 En 1989 se llevó a cabo un ensayo interlaboratorio. La técnica usada para analizar los datos del estudio dio como resultado una cifra \pm , generada para la precisión del método de ensayo. Al aplicar este método al estudio de 1996-7, se obtuvieron los datos descritos en las Tablas 5 y 6.

NOTA 2 El método usado para generar las Tablas 5 y 6 no es tan exacto estadísticamente como el análisis usado en el numeral 15.2.1. Se presenta solamente para propósitos informativos.

16. PALABRAS CLAVE

16.1 Atenuación del impacto; parque infantil; sistema de superficie.

ANEXO
(Normativo)**A.1 MÉTODO DE ENSAYO DE CAÍDA LIBRE**

A.1.1 Se puede usar una horma en forma de cabeza no guiada para el ensayo de impacto de sistemas de superficies para parques infantiles o muestras de materiales de superficie.

A.1.2 Terminología

A.1.2.1 Definición de un término específico de este anexo:

A.1.2.1.1 Caída libre: la trayectoria de la horma en forma de cabeza no está limitada por rieles, alambres, o un mecanismo o estructura de cualquier tipo.

A.1.3 Aparatos

A.1.3.1 Diseño de la horma en forma de cabeza: horma en forma de cabeza que funciona como un proyectil hemisférico de 10,1 lb \pm 0,1 lb (4,6 kg \pm 0,05 kg) y de 6,3 pulgadas \pm 0,2 pulgadas (160 mm \pm 5 mm). Se puede colocar una manija adicional a la horma, siempre y cuando el peso total del conjunto horma y manija no exceda 10,1 lb \pm 0,1 lb (4,6 kg \pm 0,05 kg).

A.1.3.2 Acelerómetro, unido rígidamente al centro de la masa de la horma.

A.1.3.2.1 Un eje del acelerómetro debe ir montado paralelo dentro de 5° al eje primario de impacto de la horma. Este eje del acelerómetro debe tener una señal de salida lineal de 0 g a 500 g.

A.1.3.2.2 Los dos ejes restantes del acelerómetro deben definir un plano normal al eje primario. Ambos ejes deben tener una señal de salida lineal de 0 g \pm 500 g.

A.1.3.2.3 Todos los ejes del acelerómetro deben estar en capacidad de soportar impactos de 1 000 g sin sufrir daño.

A.1.3.2.4 Se conecta la señal de salida del acelerómetro al dispositivo de registro mediante un cable conductor flexible múltiple. El cable debe ser lo suficientemente flexible para no influir sobre la trayectoria de la horma, antes o durante el ensayo de impacto. La longitud del cable completamente extendido debe ser al menos el doble de la altura de caída especificada por el propietario/operador inicial. El cable debe ser de autoenrollado. El cable se debe colocar a la horma y al dispositivo de registro mediante un conector eléctrico sencillo de contacto múltiple con acción de bloqueo integral.

A.1.3.2.5 El eje nominalmente perpendicular a la superficie de impacto se denota como Z. Los ejes que forman el plano nominalmente paralelo a la superficie de impacto se deben denotar como X y Y. Este sistema de coordenadas cumple con el sistema de coordenadas hacia la derecha, Orientación 2, de la SAE J211.

A.1.3.3 Equipo de registro: el equipo de registro debe cumplir los siguientes criterios:

A.1.3.3.1 Tiempo de aceleración: el equipo para registrar el tiempo de aceleración debe tener tres canales de entrada, cada uno conectado a los niveles de señal de salida del acelerómetro triaxial. Cada par de canal de entrada y acelerómetro debe tener una respuesta de frecuencia adecuada para medir la aceleración pico con una exactitud de $\pm 5\%$ del valor real. El sistema total, acelerómetros y registradores, deben estar en capacidad de medir impulsos de hasta 500 g a frecuencias desde 2, con una exactitud de $\pm 5\%$. La tasa de muestreo del sistema mínima requerida es 20 000 Hz por canal de entrada/s por canales de entrada. El dispositivo de registro debe estar en capacidad de realizar el muestreo simultáneo de cada uno de los tres canales de entrada a la tasa de muestreo especificada. Son aceptables tres convertidores analógico a digital o un convertidor analógico a digital, independientes, con tres pistas y amplificadores de espera. Cada canal de datos de aceleración debería cumplir con la SAE J211. Un filtro de paso bajo con una función de transferencia Butterworth de 4 polos y una frecuencia de 1 650 Hz cumple este requisito. La resolución del convertidor analógico a digital debe ser mínimo de 12 bits.

A.1.3.3.2 Desplazamiento – Tiempo: se debe contar con medios para registrar el tiempo, en segundos, desde que se suelta la horma en forma de cabeza, hasta el momento del impacto inicial. La velocidad en el impacto se calculará multiplicando el tiempo de caída por la aceleración debida a la gravedad (32,2 pies/s/s) para obtener la velocidad en pies por segundo. La función de medición del tiempo será parte del dispositivo de registro y no requerirá intervención del operador para comenzar y detener la medición.

A.1.3.3.3 Integridad del sistema: el equipo de registro portátil debe brindar monitoreo continuo del voltaje de las baterías. Si este voltaje desciende por debajo del nivel requerido para la operación apropiada del equipo, la función de registro se debe detener, y se debe alertar a la persona que realiza el ensayo, mediante una lámpara indicadora o un mensaje en la pantalla de cristal líquido del dispositivo de registro. Para restaurar la tensión de la batería al nivel de operación aceptable, se pueden usar convertidores de tensión de batería de automóviles o cargadores conectados a un tomacorriente. Los ensayos de impacto se pueden realizar con el dispositivo de registro conectado a la fuente de potencia auxiliar. Antes de usarlos, se debe verificar la operación apropiada del equipo de registro y la horma en forma de cabeza, mediante el ensayo de impacto sobre un material de muestra de la superficie de referencia. La muestra la debe suministrar el fabricante del dispositivo de registro, junto con los datos del ensayo de impacto de referencia, incluido el número de serie de la muestra, la altura de caída, la temperatura ambiente, la condición debajo de la superficie, g-máx, y CLC. Se promedian los resultados de dos de las tres últimas caídas, y se comparan con g-máx y CLC. El fabricante de la horma en forma de cabeza triaxial debe proporcionar los criterios para el requisito de recalibración de la horma, el registrador, y el relleno de referencia. El ensayo de impacto sobre la muestra de referencia no se considerará como una calibración del instrumento, que sólo se puede realizar en un laboratorio de metrología equipado apropiadamente.

A.1.3.3.4 Calibración: se verifica anualmente el equipo de registro, la horma y la muestra del material de superficie de referencia para determinar su calibración apropiada, enviándolo al laboratorio de calibración del fabricante o taller de reparación calificado por el fabricante.

A.1.3.3.5 Visualización de los datos de impactos y forma de la onda: el dispositivo de registro debe contar con un medio de visualización gráfica con capacidad para indicar g-máx, CLC y forma de onda del impacto.

A.1.3.3 Medición de la altura de caída y altura de caída de control: estas mediciones se deben hacer desde la parte superior de la superficie que se va a ensayar, a la superficie de la horma que se espera que haga impacto inicialmente sobre la superficie. La medición se debe hacer con una regla o cinta de acero. Se usa una estructura de soporte o trípode para asegurar una altura y un lugar de caída repetibles. La estructura de soporte o trípode debe ser lo suficientemente rígida para soportar, con una deflexión mínima, el peso de la horma. Esta

estructura o trípode debe permitir ensayar la superficie en cualquier lugar dentro del espacio de juego, y debe tener un mecanismo de liberación rápida, para conectar el mecanismo de liberación al brazo de soporte. La operación de este mecanismo de liberación no debe influir en la trayectoria de la horma durante la caída libre. La estructura de soporte o trípode se deben montar de manera que se impida que la horma entre en contacto con alguna parte de estos antes del impacto con la superficie que se ensaya.

A.1.3.4 Cálculo

A.1.3.4.1 Suma de componentes de aceleración triaxial: los vectores componentes de la aceleración en cada uno de los tres ejes se deben sumar para obtener la aceleración compuesta de la horma. La adición de vectores se realiza en cada grupo de tres muestras, para determinar la aceleración compuesta para el período de muestra requerido. La adición de vectores se debe basar en la siguiente expresión matemática:

$$a_{[n]} = \left(a_{z[n]}^2 + a_{y[n]}^2 + a_{x[n]}^2 \right)^{0,5} \quad (\text{A.1.1})$$

en donde

$a_{[n]}$	=	aceleración compuesta en el punto de muestra [n]
$a_{z[n]}$	=	valor de la aceleración del eje Z en el punto de la muestra [n]
$a_{y[n]}$	=	valor de la aceleración del eje Y en el punto de la muestra [n], y
$a_{x[n]}$	=	valor de la aceleración del eje X en el punto de la muestra [n].

A.1.3.4.2 g-máx e CLC. Los valores g-máx e CLC se deben determinar a partir de los valores de aceleración compuestos. El algoritmo especificado y los cálculos de verificación para CLC se incluyeron como Apéndice X.2.

A.1.4 PROCEDIMIENTO

A.1.4.1 Para dispositivos de registro portátiles, verificar el nivel de voltaje de la batería según lo recomendado por el fabricante.

A.1.4.2 Realizar el ensayo de impacto a la integridad del sistema usando la muestra de superficie suministrada por el fabricante del equipo de ensayo. Verificar que los resultados estén de acuerdo con los citados y suministrados por el fabricante del equipo de ensayo.

A.1.4.3 Instalar la estructura de soporte o trípode sobre la superficie del terreno de juego. La posición del mecanismo de liberación debería permitir que la horma en forma de cabeza haga impacto repetidamente en el punto deseado sobre la superficie, desde la altura y en el lugar de caída especificados por el propietario/operador inicial.

A.1.4.4 Liberación de la horma:

A.1.4.5 Observar en la pantalla del dispositivo de registro la forma de onda del impacto, y confirmar que contiene solamente un evento de impacto. La forma de onda del impacto debe comenzar en 0 g, aumentar a g-máx de la caída, y regresar a 0 g. Se debe descartar cualquier forma de onda de impacto que no tenga esta forma. Las porciones de incremento y reducción de la forma de onda pueden ser uniformes o desiguales, dependiendo del material sobre el que se haga impacto.

A.1.4.6 Registrar y reportar de la siguiente información:

A.1.4.6.1 La identificación de la superficie de ensayo, indicando el tipo, fuente, tamaño y espesor.

A.1.4.6.2 El procedimiento de ensayo usado y la descripción de la horma, incluida la masa, la geometría y la orientación.

A.1.4.6.3 Las condiciones de ensayo, incluidas las temperaturas de la muestra y las alturas de caída empleadas.

A.1.4.6.4 Los valores de las caídas individuales y el promedio de la segunda y tercera caídas para valores g-máx e CLC.

A.1.4.6.5 Las alturas de caída especificadas por el propietario/operador inicial.

NOTA A.1.1 El método preferido de presentación de datos sería en forma de gráfico (véase la Figura 1).

A.1.4.6.7 Realizar tres caídas consecutivas a intervalos de 3 min \pm 0,25 min, a menos que se especifique algo diferente.

A.1.5 REPORTE

A.1.5.1 Se debe elaborar un reporte detallado para documentar el resultado de los ensayos de caída. Para este reporte, en la Figura A.1.1 se sugiere un formato.

Reporte de ensayo Identificación de la superficie _____ Dimensiones de la superficie _____ Procedimiento de ensayo NTC 5176. Ensayo de caída libre Horma en forma de cabeza Masa de la horma triaxial hemisférica _____ libras _____ (kg) Orientación de la horma _____ Temperatura de la superficie del terreno de juego _____ °F _____ °C Valor del relleno de referencia: _____ g-max, _____ CLC			
CAÍDA	PICO	CLC	VELOCIDAD
1	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____
PROMEDIO 2 y 3	_____	_____	_____

Figura A.1.1. Formato de reporte de campo sugerido

A.2 REQUISITOS DE INSTRUMENTOS

A.2.1 Para realizar adecuadamente los ensayos de impacto sobre la superficie que cumplan con esta norma, los instrumentos empleados deben cumplir los requisitos mínimos para resolución, exactitud, precisión y calibración.

A.2.2 Acelerómetros

A.2.2.1 En sistemas con horma en forma de cabeza con guías, se puede emplear un acelerómetro de un solo eje o triaxial. El eje activo del acelerómetro se debe colocar rígidamente a la horma y dentro de $\pm 5^\circ$ del eje de impacto de la horma.

A.2.2.2 En sistemas con horma en forma de cabeza, para caída libre, se requiere un acelerómetro triaxial. Un eje del acelerómetro debe estar colocado rígidamente en la horma y dentro de $\pm 5^\circ$ del eje primario de impacto. Los dos ejes restantes formarán un plano paralelo a la superficie de impacto dentro de $\pm 5^\circ$.

A.2.2.3 El acelerómetro orientado paralelo al eje de impacto debe tener un rango de salida de 0 g a 500 g mínimo. Los ejes secundarios en un acelerómetro triaxial deben tener un rango de salida de 0 g a ± 500 g mínimo. Todos los ejes deben estar en capacidad de soportar un choque máximo de 1 000 g.

A.2.2.4 La respuesta de frecuencia de todos los acelerómetros deben cubrir el rango completo de 2 Hz a 2 000 Hz.

A.2.2.5 La salida nominal del acelerómetro será de 10,0 mV/g.

A.2.3 Dispositivo de registro

A.2.3.1 Se usará un registrador electrónico digital para capturar la forma de las ondas de impacto. El registrador puede tener la forma de un osciloscopio de almacenamiento digital o convertidor analógico a digital de forma de onda dedicada. No son aceptables los osciloscopios análogos.

A.2.3.2 Cada entrada del convertidor analógico a digital tendrá una resolución mínima de 20 bits que abarcan todo el rango de salida del respectivo acelerómetro.

A.2.3.3 La tasa de muestreo mínima del convertidor analógico a digital será 20,0 kHz. En sistemas de horma de cabeza triaxial se usarán tres convertidores individuales analógico a digital (uno por eje), cada uno con una tasa de muestreo de 20,0 kHz. Como alternativa, se puede usar un solo convertidor analógico a digital de 60,0 kHz si se usan simultáneamente pistas y amplificadores de espera para cada eje del acelerómetro.

A.2.3.4 La longitud de la memoria mínima del convertidor analógico a digital deberá permitir registrar un mínimo de 20 m de la forma de onda del impacto.

A.2.3.5 Se usará un filtrado análogo en todos los canales de entrada del acelerómetro, para evitar la distorsión de las señales digitales. El filtro tendrá una frecuencia de corte de 1,0 kHz, con un mínimo de atenuación progresiva de dos polos.

A.2.3.6 Se contará con medios para medir la velocidad de la horma en el momento del impacto.

A.2.3.6.1 Se puede usar un dispositivo de puerta de luz, para medir el tiempo en que una pantalla opaca interrumpe un sensor de luz. La puerta de luz estará ubicada de manera que sea activada con la horma a máximo 25 mm del impacto con la superficie que se ensaya. La velocidad de la horma se debe calcular dividiendo la longitud de la pantalla opaca (mm), por el tiempo en que fue activado el sensor de luz (segundos), a una velocidad de pulgadas por segundo. La conversión a unidades de pies por segundo se puede obtener dividiendo el valor de las pulgadas por segundo, por 12,0.

A.2.3.6.2 Para hormas de caída libre, también se puede registrar el tiempo desde el momento en que se suelta la horma, hasta el momento en que comienza la señal de salida del acelerómetro. La velocidad de la horma se debe calcular multiplicando el tiempo de vuelo (segundos) por 32,2 pies/s/s (aceleración debida a la gravedad), para obtener la velocidad de la horma en pies por segundos.

A.2.3.6.3 Cualquiera de las mediciones de velocidad se debe hacer con una resolución mínima del temporizador de 1,0 m.

A.2.3.6.4 La velocidad real de la horma no se desviará de la velocidad teórica en más de $\pm 0,5$ pies/s. La velocidad teórica se debe determinar a partir de la conservación de energía, es decir, la energía cinética en el impacto debe ser igual a la energía potencial antes de la liberación.

$$m g h = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{A.2.1})$$

en donde

m	=	peso de la horma (libra)
g	=	aceleración debida a la gravedad (32,2 pies/s/s),
h	=	altura de caída real (pies), y
v	=	velocidad del impacto (pies/s)

Al resolver la velocidad, la ecuación A.2.1 será:

$$v = \sqrt{(2 gh)} \quad (\text{A.2.2})$$

Así, una horma que se deja caer desde una altura de 10,0 pies, lo hará a una velocidad de:

$$v = \sqrt{((2) \times (32,2) \times (10,0))}$$
$$v = 25,4 \text{ ft} / \text{s}$$

A.2.4 Calibraciones

A.2.4.1 Los acelerómetros se calibrarán mediante comparación con el patrón trazable del NIST. Tanto el acelerómetro de referencia como el de ensayo se excitarán en una mesa vibrante, a las frecuencias y amplitudes adecuadas, determinadas por el fabricante del acelerómetro. El intervalo de recalibración máximo será un (1) año, o como lo recomiende el fabricante.

A.2.4.2 Los dispositivos de registro se calibrarán reemplazando la(s) señal(es) de salida del acelerómetro por una forma de onda de forma, período y amplitud conocidos. Las Tablas A.2.1 y A.2.2 presentan los valores de CLC calculados para formas de onda semisinuosoidales aplicadas a un convertidor analógico a digital de 12 bits, 20,0 kHz.

A.2.5 Cálculo de valores pico e CLC

A.2.5.1 El pico g de una forma de onda de impacto se debe determinar como el valor g con la mayor amplitud posible. El dispositivo de registro tendrá la capacidad de escanear secuencialmente todos los datos digitalizados de la forma de la onda de impacto, y se reporta el mayor valor registrado.

A.2.5.2 El valor CLC de una forma de onda de impacto se calculará de acuerdo con el numeral 8.6 de la norma ASTM F1292. El término dt debe ser un entero múltiplo de la tasa de muestreo y en ningún caso será mayor de 0,1 ms. El dispositivo de registro tendrá capacidad para calcular todas las combinaciones posibles de t_1 y t_2 (intervalo de integración de CLC) y reportar el mayor valor de IIC calculado. No se permitirá la selección manual de los intervalos t_1 y t_2 .

Tabla A.2.1. Valores CLC para semisinuoides de 10 ms

NOTA 1 El dispositivo de registro no producirá valores CLC mayores $\pm 5\%$ de estos valores.

Pico G	CLC	T1 (segundos)	T2 (segundos)
50	73	0,0017	0,0084
100	413	0,0017	0,0084
150	1 140	0,0017	0,0084
200	2 341	0,0017	0,0084

Tabla A.2.2. Valores CLC para semisinuoides de 20 ms

NOTA 1 El dispositivo de registro no producirá valores CLC mayores $\pm 5\%$ de estos valores.

Pico G	CLC	T1 (segundos)	T2 (segundos)
50	146	0,0033	0,0167
100	827	0,0033	0,0167
150	2 281	0,0033	0,0167
200	4 684	0,0033	0,0167