



Certificación envejecimiento de césped artificial

Informe

Marzo de 2017

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1. Ensayos.....	1
1.2. Metodología de evaluación.....	1
2. Test de envejecimiento por radiación solar.....	3
2.1. Metodología experimental.....	3
2.2. Equipos.....	3
2.3. Resultados.....	4
3. Test de desgaste por fricción en abrasímetro.....	5
3.1. Metodología experimental.....	5
3.2. Equipos.....	5
3.3. Resultados.....	6
4. Test de resistencia a la humedad y a la temperatura en cámara climática.....	7
4.1. Metodología experimental.....	7
4.2. Equipos.....	7
4.3. Resultados.....	8
5. Test de resistencia al cloro.....	10
5.1. Metodología experimental.....	10
5.2. Resultados.....	11
6. Test de envejecimiento acelerado por inmersión en agua caliente.....	13
6.1. Metodología experimental.....	13
6.2. Resultados.....	13
7. Test de cambios ambientales bruscos en cámara de choque térmico.....	15
7.1. Metodología experimental.....	15
7.2. Equipos.....	15
7.3. Resultados.....	16
8. Conclusiones finales.....	19
9. Referencias Bibliográficas.....	21

1. Introducción

El objetivo del proyecto consiste en conocer el estado del césped artificial tras el uso de unos 20 años aproximadamente. De esta forma se puede observar el envejecimiento sufrido por el mismo. Para ello nos basamos en una serie de ensayos que se han definido en la Tarea I. Definición de las condiciones de los ensayos. Se ha propuesto analizar diferentes muestras de césped modelo *Formigal*, del cual ARELUX nos ha proporcionado 1 m² del mismo.

1.1. Ensayos

Para simular el envejecimiento sufrido por el césped tras un uso de 20 años, se han propuesto una serie de ensayos que pretenden cubrir cada una de las tareas especificadas en la propuesta. Además, se han añadido dos ensayos más, ya que se han considerado oportunos para llevar a cabo un estudio más exhaustivo. A continuación, se listan todos los ensayos realizados:

- Test de envejecimiento por radiación solar (**tarea II**).
- Test de desgaste por fricción en abrasímetro (**tarea III**).
- Test de resistencia a la humedad y a la temperatura en cámara climática (**tarea IV**).
- Test de resistencia al cloro (**tarea V**).
- Test de envejecimiento acelerado por inmersión en agua caliente.
- Test de cambios ambientales bruscos en cámara de choque térmico.

Cada uno de los ensayos corresponde a un apartado del informe, en donde se explicará con detalle la metodología experimental que se llevado a cabo, se presentarán las características de los equipos utilizados y se analizarán todos los resultados obtenidos.

Tras la realización de los ensayos, será necesario valorar el estado del césped para obtener los resultados de cada uno de los test. Para ello, se ha desarrollado un método estandarizado que permite identificar defectos en las muestras tratadas y por tanto determinar si esa muestra ha pasado el test correctamente o no. Este método de evaluación se detalla en el siguiente apartado.

1.2. Metodología de evaluación

La metodología desarrollada para la evaluación de las muestras tras cada uno de los ensayos se basa en un estudio de la diferencia de color entre las muestras que han sido sometidas a ensayo y una referencia del mismo tamaño, que no ha recibido ningún tratamiento. El objetivo de este método de evaluación es determinar si el ojo humano sería capaz de apreciar el deterioro del césped tras cada uno de los ensayos.

El primer paso para llevar a cabo la evaluación del césped es tomar una foto de cada una de las muestras tras la realización del ensayo. Para asegurar una correcta evaluación, las fotos se tomarán en una cabina de luz, en donde es posible controlar la intensidad de luz, la temperatura y la distancia de foto. Así mismo, la calidad de la foto deberá ser siempre la misma. En la Figura 1 se muestra un esquema de la toma de fotos.

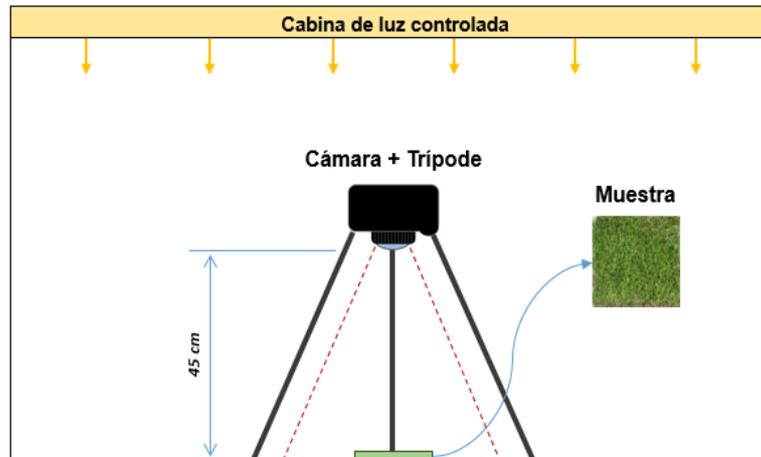


Figura 1. Toma de fotos estandarizada.

Tras tomar la foto, se evaluará el color del césped en cada una de las muestras, obteniéndose los parámetros R, G y B, que determinan la cantidad de color rojo (Red), verde (Green) y Azul (Blue) del césped respectivamente. A continuación, a partir de estos parámetros se calcularán los parámetros correspondientes al espacio CIE Lab, que es el espacio de color más habitual para describir los colores percibidos por el ojo humano. Estos parámetros son:

- L* representa la luminosidad de color: desde 0 (negro) hasta 100 (blanco).
- a* representa la posición entre rojo y verde: a* > 0 (rojo), a* < 0 (verde).
- b* representa la posición entre amarillo y azul: b* > 0 (amarillo), b* < 0 (azul).

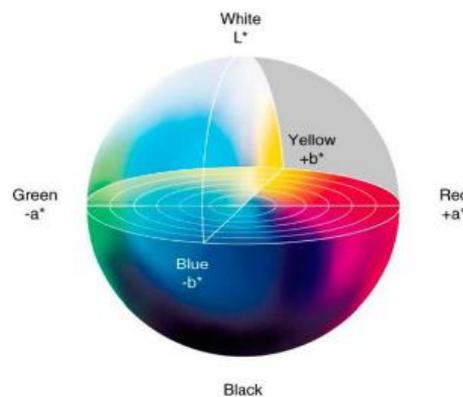


Figura 2. Espacio de color CIE Lab

Finalmente, con los tres parámetros del espacio CIE Lab, es posible calcular el parámetro ΔE^* , que evalúa la diferencia de color sufrida por una muestra. El cálculo de este parámetro se realiza con la siguiente ecuación, que tiene en cuenta la diferencia entre los parámetros de cada muestra y la referencia.

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

Conocido este parámetro, se podrá afirmar que una muestra no ha sufrido un cambio perceptible por el ojo humano si tiene un valor menor o igual a 3. En este caso, dicha muestra será considerada como apta.

2. Test de envejecimiento por radiación solar

2.1. Metodología experimental

El objetivo de este ensayo consiste en evaluar la influencia de la radiación solar sobre varias muestras de césped. Para ello, tres muestras de césped serán sometidas a unas condiciones de radiación ultravioleta determinadas, para observar la posible degradación de sus fibras. Es importante destacar que este ensayo se ha basado en la norma UNE-EN 14836 de septiembre de 2006, que describe un método estandarizado para someter superficies sintéticas para espacios deportivos de exterior a un envejecimiento artificial.

En dicha norma española, se establece el tiempo de exposición medido en kJ (kilojulios) de energía que deben recibir las muestras (igual a 4896 ± 125 kJ, que equivale aproximadamente a 18 semanas) y el procedimiento de radiación de las mismas. En esta norma se fijan también los equipos a utilizar: lámparas UV-A de 340 nm cuya irradiancia sea igual a $0.80 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{nm})$, la cámara de exposición necesaria y ciertos aparatos de medición. Para adaptar estos datos a los equipos utilizados en este ensayo, se han realizado una serie de operaciones que se especifican en el siguiente apartado, tras detallar las características de los equipos utilizados.

2.2. Equipos

Para la realización de este ensayo, se ha desarrollado un prototipo propio para realizar un ensayo más agresivo, de esta forma podemos acelerar el proceso y reducir el tiempo del ensayo a 24 días. En la Figura 3 se muestra el resultado del prototipo final con los fluorescentes UV instalados:



Figura 3. Prototipo propio UV.

En dicho prototipo se han utilizado 2 lámparas UV-A cuya irradiancia es $1.2 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{nm})$, y por tanto es mayor a la marcada por la norma. Además, se han instalado dos de estas lámparas en vez de una, por lo que los cálculos a realizar para ajustar la energía recibida por las 3 muestras (fijando que debe recibir 4900 kJ) reducen el tiempo del ensayo hasta los 24 días.

Para el montaje de los fluorescentes, han sido necesarios dos cebadores electrónicos capaces de crear el arco que ilumina dichas lámparas y, todo ello, se ha cableado para que sea posible conectarlo directamente a la toma de corriente tradicional de 230 V. Todo ello se ha

situado en el interior de la caja prototipo para evitar posible daño en los ojos debido a la luz ultravioleta.

2.3. Resultados

Los resultados obtenidos tras finalizar el test de envejecimiento por radiación solar se han obtenido mediante la comparación de las tres muestras de césped ensayadas y una referencia del mismo tamaño. En la Figura 4 se muestran dichas muestras.



Figura 4: Muestras ensayo radiación solar.

A simple vista las muestras sometidas al ensayo no presentan ninguna diferencia visual con respecto a la referencia. Además, la textura de dichas muestras tampoco se ve afectada. Para más información, se ha utilizado el método de evaluación fotográfico explicado en el apartado anterior. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Resultados ΔE tras ensayo de radiación.

Parámetro	Muestra			
	Referencia	1	2	3
L	37,68	36,34	37,00	36,81
a	-18,64	-18,18	-18,09	-19,22
B	30,51	29,92	30,03	30,65
ΔE mean	-	1,54	0,99	1,05

En la Tabla 1 se observa que ninguna de las sometidas a radiación posee un valor de ΔE superior a tres, por lo que se puede concluir que no han sufrido un cambio perceptible por el ojo humano tras el ensayo.

3. Test de desgaste por fricción en abrasímetro

3.1. Metodología experimental

El objetivo de este ensayo consiste en evaluar el desgaste sufrido por el césped artificial a la fricción. Es importante destacar que este ensayo se ha basado en la norma UNE-EN 15306 de 2014, que describe un método estandarizado para someter superficies deportivas de exterior a ensayos de exposición de la hierba artificial al uso simulado.

En dicha norma española, se establece la velocidad y las condiciones necesarias para simular correctamente una fricción acelerada al uso. En este caso, se simulará un envejecimiento de 20 años, por lo que el tiempo de ensayo se establece en 7500 ciclos, 3 veces lo establecido en la norma. Puesto que la norma está diseñada para su aplicación en césped artificial deportivo y la metodología del ensayo requería de herramientas específicas, se ha rediseñado basándonos en un método más agresivo, por fricción por desplazamiento en vez de fricción con un rodillo.

Para la realización de este ensayo se utiliza una única muestra preparada para situarla en el abrasímetro. La velocidad lineal marcada por la norma UNE-EN 15306 es de 0.25 m/s. Para adaptar dicha velocidad al equipo que se describirá en el apartado siguiente, es necesario convertir sus unidades a ciclos por minuto. Se fijará la distancia de un ciclo (ida y vuelta del carro de desplazamiento) en 600 mm, por tanto, la superficie de abrasión recorrerá 60 cm por ciclo. Puesto que se cumplen las siguientes ecuaciones:

$$0.25 \left[\frac{m}{s} \right] = 1500 \left[\frac{cm}{min} \right] \rightarrow \frac{1500 \left[\frac{cm}{min} \right]}{60 \left[\frac{cm}{ciclo} \right]} = 25 \left[\frac{ciclos}{min} \right]$$

Podemos deducir que la velocidad a introducir al equipo es 25. El tiempo total del ensayo conocidos los valores de la velocidad y el número de ciclos es igual a 5 horas.

3.2. Equipos

Para la realización de este ensayo se ha utilizado el medidor de abrasión Elcometer 1720, cuya principal función es poner a prueba la resistencia de cualquier material ante un esfuerzo de abrasión controlado. En la Figura 5 se muestra una imagen del equipo.



Figura 5: Elcometer 1720

El Elcometer 1720 cuenta con una amplia gama de herramientas, las cuales le permiten realizar pruebas conforme a varias normas (ASTM, DIN, ISO y EN). El uso de estas herramientas, combinado con la posibilidad de ajustar la longitud de abrasión y la velocidad de cada uno de los ciclos, este equipo es capaz de evaluar infinidad de situaciones de abrasión. Además, todas las pruebas se pueden llevar a cabo en condiciones húmedas y secas, ya que el equipo cuenta con bombas para la dosificación de diferentes líquidos.

3.3. Resultados

Una vez finalizado el ensayo de abrasión, se ha tomado una foto de la muestra para evaluar su estado. El objetivo de esta foto es observar si existe alguna diferencia apreciable entre dicha muestra y una referencia, que no ha sido sometida a ningún ensayo. En la Figura 6 se muestra una imagen del césped sometido al test de abrasión controlada. En este caso, resulta interesante destacar que el tamaño de la muestra para este ensayo será mayor que en el resto de ensayos, ya que se pretende evaluar toda la superficie de abrasión que permite el equipo.



Figura 6: Muestra ensayo abrasión.

Como se puede observar en la Figura 6, a simple vista no se aprecian cambios significativos en la muestra sometida al ensayo de abrasión. Para evaluar dicha muestra se han tenido en cuenta tres zonas, ya que el efecto de abrasión puede ser más agresivo en la zona central. Los resultados visuales se han comprobado mediante el cálculo del parámetro ΔE , que compara la diferencia de color de la muestra tratada con una referencia no tratada. Dichos resultados, para cada una de las tres zonas, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados ΔE tras ensayo de abrasión.

Parámetro	Muestra			
	Referencia	Izquierda	Centro	Derecha
L	48,38	48,59	46,45	49,13
a	-23,44	-23,06	-22,98	-23,93
B	37,80	37,66	35,54	37,82
ΔE mean	-	0,45	3,01	0,90

En la Tabla 2 se observa que la variación de color más importante se produce en la zona central de la muestra, donde el efecto de abrasión es mayor. A pesar de ello, en esta zona se obtiene un parámetro de ΔE muy cercano a 3, que sería el límite de detección del ojo humano. Por lo que se podría concluir que en el peor de los casos sería difícil de apreciar diferencia a simple vista. Además, en las otras dos zonas (derecha e izquierda) la variación de color es inferior a 1.

4. Test de resistencia a la humedad y a la temperatura en cámara climática

4.1. Metodología experimental

El objetivo de este ensayo consiste en evaluar la influencia de la humedad y la temperatura sobre varias muestras de césped. Para ello, tres muestras de césped serán sometidas a unas condiciones extremas durante un tiempo determinado, todo ello con la finalidad de evaluar su estado al finalizar el ensayo. Es importante destacar que este ensayo se ha basado en la norma EN 13817 de 2004, que describe un método estandarizado para someter muestras deportivas a ensayos de envejecimiento acelerado por exposición a aire caliente.

En dicha norma europea, se establece el tiempo y las condiciones necesarias para simular correctamente un envejecimiento acelerado de 8 años, que correspondería a 336 horas de exposición a aire caliente. En este caso, se pretende simular un envejecimiento de 20 años, por lo que el tiempo de ensayo deberá ser modificado a 840 horas (35 días). Además, para asegurar una correcta simulación del envejecimiento sufrido durante 20 años, el ensayo se llevará a cabo a una temperatura de 60°C y una humedad relativa del 95% aproximadamente, todo ello con el fin de lograr un test representativo.

Para la realización de este ensayo se han utilizado 3 muestras de césped de 20x20 cm, las cuales han sido introducidas en la cámara climática durante 3 tiempos diferentes. Los tiempos de ensayo han sido 15, 30 y 45 días respectivamente, de tal forma que será posible evaluar la influencia del tiempo sobre el envejecimiento de las muestras.

Una vez finalizado el ensayo, se evaluará el estado de las muestras mediante el método descrito en el apartado 1.2, con el objetivo comprobar si dichas muestras son capaces de soportar las condiciones de este ensayo sin sufrir daños apreciables por el ojo humano, es decir obtener un valor de ΔE menor de 3.

4.2. Equipos

Para llevar a cabo este ensayo se ha utilizado una cámara climática Weiss-WVC (Serie 200). Este equipo permite simular unas condiciones determinadas de humedad y temperatura durante un tiempo determinado, todo ello con el objetivo de evaluar la influencia de dichas condiciones sobre una muestra. A continuación, en la Figura 7, se muestra una imagen de la cámara climática.



Figura 7: Cámara climática.

Esta cámara climática permite evaluar rangos de temperatura que van desde -40°C hasta 180°C . Por otro lado, para el control de la humedad relativa dentro de la cámara, esta dispone de un sistema psicrométrico patentado que calcula la cantidad necesaria de agua que debe de suministrar el baño de rocío de forma automática. Con todo ello, este equipo permite trabajar en un amplio margen de condiciones de humedad y temperatura, por lo que será posible evaluar un gran número de situaciones.

4.3. Resultados

Tras la realización del test de resistencia a la humedad y la temperatura, se dispone de 3 muestras diferentes, correspondientes a los tres tiempos de ensayo dentro de la cámara climática. Por este motivo, la diferencia de tiempo entre las tres muestras ensayadas será una variable a tener en cuenta para la evaluación de color entre cada una de ellas y la muestra referencia. En la Figura 8 se presentan las imágenes de cada muestra.



Figura 8: Muestras test de resistencia a la humedad y a la temperatura.

A simple vista, en la Figura 8, no se observa ninguna diferencia notable entre las muestras que han estado dentro de la cámara climática y la referencia. Además, tampoco se aprecia ningún cambio en la textura de las mismas. A pesar de ello, esta apreciación visual se ha comprobado con el parámetro ΔE , siguiendo la metodología explicada en el apartado 1.2 de este informe. Los resultados obtenidos tras la evaluación de color de cada una de las muestras se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados ΔE . Test de resistencia a la temperatura y la humedad.

Parámetro	Muestra			
	Referencia	1	2	3
L	48,38	48,75	47,46	47,00
a	-23,44	-24,20	-23,55	-23,51
B	37,80	38,71	37,99	37,24
ΔE mean	-	1,24	0,95	1,50

Los resultados de la Tabla 3 demuestran que las apreciaciones visuales son correctas, ya que en ninguna de las tres muestras se obtiene un valor de ΔE superior a 3. Por este motivo, se podrá afirmar que el ojo humano será incapaz de apreciar diferencias entre la muestra referencia y el resto. Además, con estos resultados se confirma que el tiempo de ensayo no afecta al envejecimiento de la muestra.

5. Test de resistencia al cloro

5.1. Metodología experimental

El cloro, en su forma de hipoclorito de sodio, es un compuesto químico blanqueador con un gran efecto corrosivo sobre muchos tejidos y plásticos. Por este motivo, una de las afecciones más importantes que puede sufrir el césped es la decoloración debida al cloro de las piscinas. Con el fin de estudiar este deterioro, el objetivo de este ensayo será evaluar la resistencia del césped ante una concentración determinada de cloro en agua.

Las características de este ensayo se han fundamentado en la norma DIN EN ISO 105-E03, que evalúa la decoloración de una muestra por acción de cloro activo. Es importante destacar, que dicha norma está preparada para evaluar el desgaste sufrido durante 8 años, por lo que será necesario modificar el tiempo de ensayo si se quiere lograr una correcta simulación de los 20 años de envejecimiento, que es el principal objetivo de este trabajo.

En primer lugar, la norma establece que para llevar a cabo el ensayo de resistencia al cloro será necesario sumergir la muestra en una disolución con una concentración determinada de este compuesto. Sin embargo, la concentración a utilizar depende del uso final del material, siendo necesaria una concentración mayor para aquellos materiales que vayan a estar en contacto continuo con el agua. En este caso, la concentración de cloro necesaria para simular el envejecimiento del césped durante 8 años será 20 mg/l, ya que durante su uso cotidiano no se encontrará en contacto continuo con el agua de las piscinas. Por otro lado, el tiempo necesario para simular los 20 años de envejecimiento será de 2,5 horas.

Para la realización de este ensayo se ha utilizado un producto típico para el tratamiento de piscinas, de tal forma que el ensayo se asemeje lo máximo posible a la realidad. Químicamente, este producto es diclorocianurato sódico, que al contacto con el agua libera cloro activo. Por ello, teniendo en cuenta las características del producto, será necesario disolver una cantidad de 0,075 gramos en un litro de agua para alcanzar la concentración deseada de cloro liberado (20 mg/l).

Finalmente, con el objetivo de evaluar diferentes tiempos de envejecimiento, se ha realizado el ensayo con cuatro muestras diferentes, que han sido sumergidas durante 1, 2.5, 4 y 20 horas respectivamente, cada una de ellas correspondiente a un envejecimiento acelerado de 8, 20, 32 y 160 años.



Figura 9: Test de resistencia al cloro (Disolución con 20 mg/l).

5.2. Resultados

Al finalizar el test de resistencia al cloro se han evaluado las cuatro muestras con el fin de determinar si existe algún deterioro apreciable. Para una correcta evaluación, se ha medido la diferencia de color con respecto a una referencia del mismo tamaño. En la Figura 10 se muestran las cuatro muestras del ensayo y la referencia utilizada para la evaluación de las mismas.

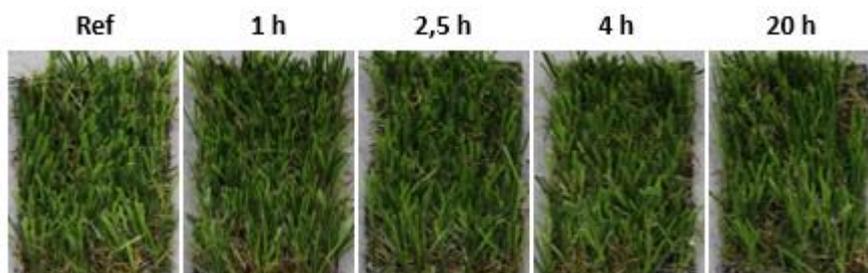


Figura 10: Muestras test de resistencia a la humedad y a la temperatura.

Como se puede apreciar en la Figura 10, no se observa ningún deterioro en las muestras sumergidas en la disolución de cloro. Además, la textura y el brillo de las muestras permanece inalterable tras el ensayo. Como en el resto de los ensayos, se ha utilizado la metodología explicada al principio del informe para evaluar objetivamente las posibles diferencias entre las muestras tratadas y la referencia. En la Tabla 4 se presentan los resultados de dicha evaluación.

Tabla 4: Resultados ΔE . Test de resistencia al cloro.

Parámetro	Muestra				
	Referencia	1 h	2,5 h	4 h	20 h
L	25,89	25,21	24,92	25,86	25,06
a	-15,92	-15,18	-15,39	-15,78	-15,05
B	23,67	23,18	23,05	24,00	23,11
ΔE mean	-	1,11	1,26	0,35	1,32

Tras calcular el parámetro ΔE de las cuatro muestras sometidas al test de resistencia al cloro, se puede confirmar que no existe ninguna diferencia apreciable por el ojo humano en las muestras tratadas. En las cuatro situaciones se obtiene un valor inferior a 3, por lo que se confirma que el césped soporta bien el envejecimiento acelerado debido al cloro.

6. Test de envejecimiento acelerado por inmersión en agua caliente

6.1. Metodología experimental

Siguiendo el objetivo principal del trabajo, este ensayo pretende someter al césped a un envejecimiento acelerado mediante la inmersión de varias muestras de dicho césped en agua caliente. Para una correcta realización del test, se ha seguido el mismo procedimiento de la norma española UNE-EN 13744, que describe un método estandarizado para someter probetas de superficies deportivas a ensayos de envejecimiento acelerado por inmersión en agua caliente.

En primer lugar, las muestras de césped se sumergen en agua caliente. Para ello, cada una de las muestras se introduce en un vaso de precipitados de 0,5 L, de esta forma se evita la migración de contaminantes entre ellas y permite retirar cada muestra en un tiempo de ensayo determinado. A continuación, estos vasos se introducen en el interior de un baño termostático lleno de silicona, que permite mantener las muestras a una temperatura de 70°C durante varios días. En la Figura 11 se observa una imagen del baño termostático con las 3 muestras evaluadas.



Figura 11: Test de envejecimiento acelerado por inmersión en agua caliente.

En la norma UNE-EN 13744 se establecen 14 días de inmersión para la simulación de 8 años de envejecimiento. En este caso, debido a la necesidad de simular 20 años, el test de inmersión se prolongará hasta los 35 días. Además, se han ensayado dos muestras más durante 70 y 105 días, que corresponden a la simulación de 40 y 60 años respectivamente.

Tras cada uno de los ensayos, las muestras se han dejado reposar durante 1 día y se ha evaluado su estado de forma visual y con la metodología explicada en el apartado 1.2 del informe. Los resultados obtenidos durante este análisis se presentan en el siguiente apartado.

6.2. Resultados

Al finalizar el test de envejecimiento por inmersión, cada una de las muestras ha sido evaluada con respecto a una referencia que no ha sufrido envejecimiento alguno. El objetivo de esta evaluación es apreciar alguna diferencia significativa entre las muestras ensayadas y dicha referencia. En la Figura 12 se presentan las imágenes de cada una de ellas.

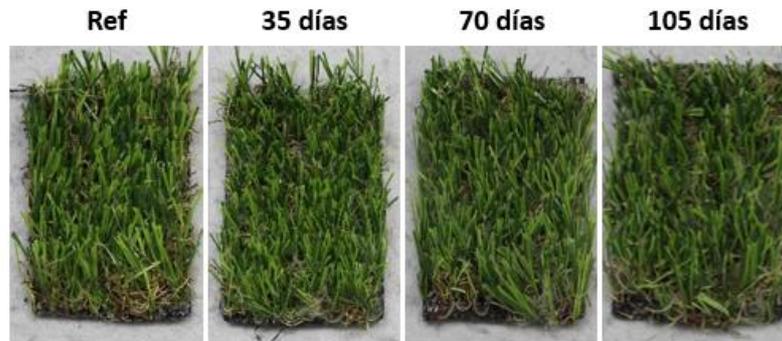


Figura 12: Muestras del test de envejecimiento por inmersión.

Como se puede apreciar en la Figura 12, resulta complicado apreciar una gran diferencia entre las muestras tratadas y la referencia, sin embargo, en la parte inferior de cada una de ellas se observa una leve decoloración de las fibras (Figura 13). Además, dicha decoloración se acentúa al aumentar el tiempo de ensayo. Por otro lado, la textura del césped no se ve afectada en el ensayo de 35 días, pero si en el de 70 y 105, en donde las fibras se deterioran ligeramente.

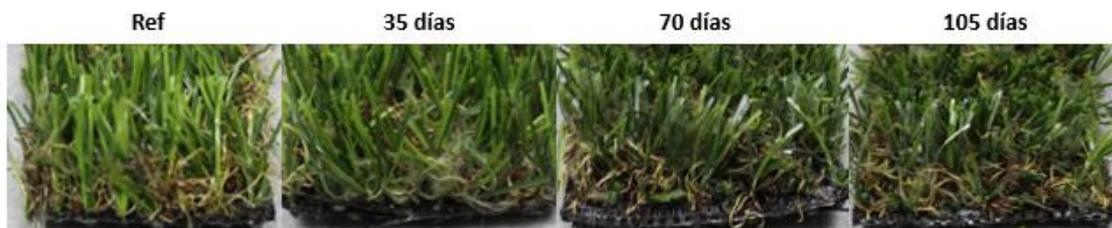


Figura 13: Decoloración del césped en la zona inferior de las muestras.

Por último, con el objetivo de confirmar las apreciaciones visuales comentadas anteriormente, las muestras han sido evaluadas con la metodología descrita al principio del informe. Los resultados obtenidos tras la evaluación se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Resultados ΔE . Test de envejecimiento por inmersión.

Parámetro	Muestra			
	Referencia	35 días	70 días	105 días
L	30,19	29,61	29,49	27,52
a	-19,68	-16,84	-15,94	-14,61
B	26,07	25,51	23,76	22,36
ΔE mean	-	2,96	4,46	6,83

Como se puede apreciar en la Tabla 5, los resultados obtenidos tras la evaluación fotográfica coinciden con la apreciación visual de las muestras. En este caso, la muestra sumergida durante 35 días (20 años de envejecimiento) es la única muestra con un valor del parámetro ΔE inferior a 3, es decir, la única muestra que el ojo humano sería incapaz de apreciar diferencias con respecto a la referencia. En el caso de otras dos, el valor de ΔE aumenta al aumentar los días de ensayo, por lo que se puede concluir que existe un deterioro progresivo.

7. Test de cambios ambientales bruscos en cámara de choque térmico

7.1. Metodología experimental

El objetivo de este experimento es someter a las muestras de césped a cambios bruscos ambientales como pueden darse, por ejemplo, en el desierto. Para ello se han fijado las temperaturas del ensayo de +60°C de máxima y -20°C de mínima, temperaturas críticas dadas en el desierto del Sahara (temperaturas exactas de +59°C y -21°C) debido a los bruscos cambios de la noche al día. Puesto que el cambio sucede una vez al día, esto supone 365 cambios de temperaturas al año. En este caso, se quiere ensayar las muestras para 20 años de vida, lo que supone 7300 cambios, sin embargo, es importante destacar que estos cambios de temperatura tan bruscos no se darán todos los días del año. Por este motivo se ha supuesto que los cambios de temperatura suceden 1/3 de los días de año, por lo que las muestras han sido sometidas 2430 ciclos (unas 288 horas totales de ensayo aproximadamente).

Un ciclo completo comprende el paso de “día” a “noche” hasta la vuelta de nuevo a “día”. Las muestras están 5 minutos en cada situación, por lo que el ciclo comprende una duración aproximada de 10 minutos. Cabe añadir que este tiempo se incrementa, debido a que comienzan a contabilizar los 5 minutos una vez la cabina alcanza la temperatura de consigna (+60°C y -20°C). Por tanto, el tiempo de un ciclo es de 10 minutos, más los tiempos de rampa necesarios para que la cabina alcance las temperaturas de consigna, más el tiempo de subida y bajada de la cabina, de unos pocos segundos.

Para la realización de este ensayo se han preparado 3 muestras de césped de 20x20 cm, que han sido introducidas en la cámara de choque térmico de en nuestros laboratorios. Las características de esta cabina se detallan en el próximo apartado.

Una vez finalizado el ensayo, se evaluará la diferencia de color, con el método descrito en el apartado 1, entre las muestras sometidas al ensayo de choque térmico y la referencia. El objetivo de esta evaluación es comprobar si dichas muestras son capaces de soportar los 2430 ciclos sin sufrir daños apreciables por el ojo humano ($\Delta E \leq 3$).

7.2. Equipos

La cámara de choque térmico (Figura 14) es un equipo que permite evaluar el comportamiento de una pieza ante cambios bruscos de temperatura. Dispone de una cámara fría (de -80°C a +70°C) y otra caliente (de +50°C a +220°C) con un “ascensor” que realiza el cambio de la pieza de ensayo de una cámara a la otra. En la

Figura se puede observar una imagen del equipo.

Entre sus usos más comunes se encuentran los siguientes:

- Estudiar la vida útil de ciertos materiales.
- Realizar ciclos de estrés para ver el comportamiento de los materiales ante cambios bruscos de temperatura.
- Realizar test estándar según normas UNE, ISO, DIN, ...



Figura 14. Cámara de choque térmico

7.3. Resultados

Una vez retiradas las muestras de la cámara de choque térmico, se procede a realizar una inspección visual de las mismas. A continuación, en la Figura 3 se muestra las imágenes de cada una de las 3 muestras sometidas al ensayo de choque térmico junto con la referencia, que no ha sido sometida a ningún ensayo.



Figura 4. Muestras choque térmico

Como se puede observar en la Figura 4, no se aprecia ninguna diferencia significativa ni en el color del césped, ni en su brillo, ni en su textura. Las juntas del mismo no se han visto afectadas y el baking no ha sufrido ningún cambio. Por otro lado, es interesante destacar que los huecos de césped de las muestras 1,2 y 3 se deben a cortes que se han realizado en esa zona.

Como se explica en la metodología experimental, a pesar de no observar ninguna diferencia en las muestras, se ha evaluado la diferencia de color entre ellas de forma analítica. En la Tabla 6, se presentan los resultados de todos los parámetros obtenidos en cada una de las muestras. Además, como las tres han sido sometidas al mismo número de ciclos, se ha calculado el valor medio del parámetro ΔE .

Tabla 6: Parámetros Lab tras el ensayo de choque térmico

Parámetro	Muestra				
	Referencia	1	2	3	Media
L	48,05	49,51	47,71	47,16	48,05
a	-23,13	-23,62	-23,81	-25,09	-24,44
B	36,95	37,94	37,23	37,96	37,88
ΔE mean	-	1,83	0,81	2,38	1,11

En la Tabla 6 se observa que en la diferencia de color media de las tres muestras sometidas al ensayo (Evaluada mediante el parámetro ΔE) es inferior a 3. Además, en ninguno de ellas se ha superado el valor límite de 3, por lo que se puede afirmar con certeza que el ojo humano es incapaz de apreciar dicha diferencia de color.

8. Conclusiones finales

En este apartado se presentan las principales conclusiones obtenidas durante la realización de los ensayos que comprenden el informe.

- **El césped modelo *Formigal* ha superado con éxito todos los ensayos de envejecimiento acelerado de 20 años.**
- **Tras los ensayos, se puede afirmar que el césped *Formigal* no sufriría un cambio apreciable por el ojo humano tras un uso normal durante 20 años.**
- La metodología de evaluación fotográfica es capaz de detectar las apreciaciones visuales de forma objetiva.
- En el ensayo de envejecimiento por radiación solar, el color de las fibras no se ve afectado por los rayos ultravioleta.
- En el ensayo de abrasión, la zona central de la muestra se ve más afectada que los extremos. A pesar de ello, en dicha zona se obtiene un parámetro de ΔE igual a 3, por lo que estaría en el límite de detección del ojo humano.
- Tras el test de resistencia a la temperatura y la humedad, las muestras de césped no sufren ningún cambio apreciable por el ojo humano. Además, al aumentar el tiempo de ensayo no se observa un mayor deterioro de las muestras.
- En el ensayo de resistencia al cloro se observa que el césped soporta perfectamente la acción de este compuesto. Además, en este caso tampoco se observa un mayor deterioro al alargar el ensayo.
- Durante el test de envejecimiento acelerado por inmersión del césped en agua caliente se observa un leve deterioro al simular 20 años de envejecimiento. A pesar de ello, la metodología de evaluación confirma que dicho deterioro no sería perceptible por el ojo humano.
- Al aumentar el tiempo del test de envejecimiento acelerado por inmersión en agua caliente se produce un aumento progresivo del deterioro de las muestras.
- Tras el ensayo en la cámara de choque térmico se puede concluir que el césped no sufre un deterioro apreciable por el ojo humano. Por este motivo se puede afirmar que soporta bien los cambios bruscos de temperatura.

9. Referencias Bibliográficas

- [1] UNE-EN ISO 105-A05. Textiles. Ensayos de solidez de color. Parte A05: Evaluación instrumental de la degradación del índice de la escala de grises. Marzo 1998.
- [2] UNE-EN 14836. Superficies sintéticas para espacios deportivos de exterior. Envejecimiento artificial. Septiembre 2006.
- [3] UNE-EN 15306. Superficies deportivas de exterior. Exposición de la hierba artificial al uso simulado. Diciembre 2014.
- [4] UNE-EN 13817. Superficies deportivas. Método de envejecimiento acelerado por exposición al aire caliente. Febrero 2006.
- [5] DIN EN ISO 105-E03. Textiles. Test for colour fastness. Colour fastness to chlorinated water (swimming-pool water)(ISO 105-E03:2010). August 2010.
- [6] UNE-EN 13744. Superficies deportivas. Método de envejecimiento acelerado por inmersión en agua caliente. Febrero 2006.