

# Resultados de la exposición a la luz de arco de xenón:

## Comparación de los sistemas de montaje de muestras giratorios y estáticos

Patrick Brennan, Greg Fedor y Ronald Roberts, Q-Lab Corporation

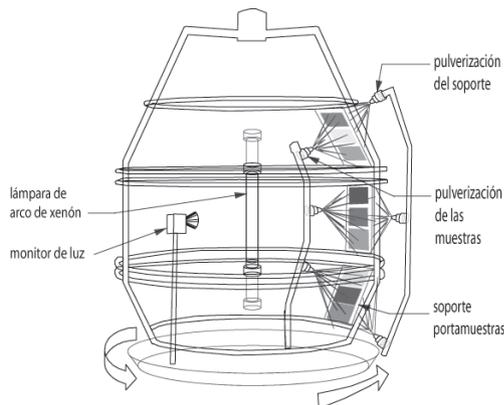
### Resumen

El propósito de este estudio es investigar si las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón con un conjunto de muestras planas puede dar resultados que sean funcionalmente equivalentes a aquellos de los modelos de cámaras de tambor giratorio antiguos. Finalmente, se evalúa la validez de las normas basadas en comportamiento en la práctica. Probamos nueve diferentes tipos de materiales abarcando numerosas categorías y modalidades de degradación de los materiales. La concordancia obtenida entre las exposiciones a la luz de arco de xenón en conjunto plano y en tambor giratorio fue extraordinariamente buena. Los resultados indican que el concepto de protocolos de ensayo basados en el comportamiento puede tener éxito, siempre que los sistemas de filtros y las condiciones de exposición comparativos se definan y utilicen de la forma correcta. Casi todas las diferencias en los resultados de la exposición se encuentran dentro del margen de variabilidad normal que se podría esperar de dos cámaras de ensayo cualquiera, independientemente del modelo o fabricante.

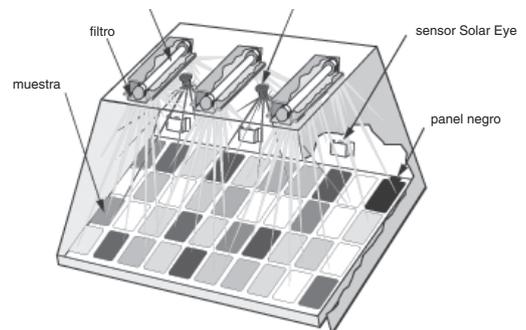
### Generalidades

Históricamente, la mayoría de las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón para envejecimiento artificial y estabilidad a la luz han sido diseñadas con una lámpara en el centro de la cámara y un portamuestras cilíndrico que hace girar las muestras alrededor de la fuente de luz como un carrusel. Este sistema de montaje de muestras frecuentemente se describe como un "tambor giratorio" y fue utilizado por primera vez con la cámara de ensayo de fotorresistencia con luz de arco de carbón, después de la Primera Guerra Mundial. Existen numerosos fabricantes y múltiples modelos y estilos de cámaras de ensayo de tambor giratorio. Algunos de los tambores tienen lados rectos y otros tienen varios escalones, inclinados en diversos ángulos hacia la fuente de luz, en un intento por mejorar la uniformidad de la irradiación. Los distintos fabricantes y modelos, citados en el Apéndice A.1, emplean diversos sistemas y métodos para controlar los parámetros de ensayo críticos de: la intensidad y uniformidad de la irradiación, temperatura del panel negro, temperatura del aire de la cámara, uniformidad de la temperatura, humedad relativa, flujo de aire, etc.

Más recientemente, se han puesto en servicio cámaras de ensayo con luz de arco de xenón y un sistema de montaje de muestras plano estático (véase el Apéndice A.2). Igual que las cámaras estilo tambor giratorio antiguas, estas cámaras planas utilizan diversos métodos para controlar el ambiente del ensayo.



**Sistema de montaje de muestras giratorio aceptado tradicionalmente en las especificaciones basadas en el equipo.**



**El sistema de montaje de muestras plano estático se ajusta a las especificaciones basadas en comportamiento.**

## Normas "basadas en el comportamiento"

Dado a la gran cantidad de modelos de cámaras de ensayo con luz de arco de xenón disponibles actualmente, las mayoría de las organizaciones técnicas, incluidas la ISO y ASTM, están incentivando el desarrollo de métodos y procedimientos de ensayo basados en el comportamiento. Estos métodos describen las condiciones del ensayo (por ejemplo, la irradiación el espectro, la temperatura, la humedad, etc.) y los rangos de rendimiento aceptables, sin exigir el uso de ninguna configuración de equipo o aparato en particular.

Estos nuevos documentos están sustituyendo los métodos de ensayo antiguos, los cuales estaban basados en las descripciones del equipo (por ejemplo, lámpara enfriada por agua versus lámpara enfriada por aire). El antiguo método basado en el equipo se remonta a la época cuando no contábamos con la tecnología práctica para medir y controlar con precisión las condiciones críticas del ensayo. Como no podíamos caracterizar adecuadamente el ambiente de exposición, escribíamos métodos que sencillamente describían el aparato. Este método estaba basado en la esperanza de que, mediante el uso de un equipo igual (o parecido), podríamos exponer las muestras a los mismos esfuerzos y obtener los mismos resultados. Desafortunadamente, esto no siempre da resultado.

Los viejos métodos de ensayo basados en el equipo también reprimían la innovación y las mejoras porque dejaban al usuario limitado a efectuar los ensayos de "la manera como siempre lo hemos hecho." La tecnología y el control mejorados quedan excluidos automáticamente. En algunos casos extremos, algunos métodos de ensayo basados en el equipo concretamente especifican modelos de equipo que están obsoletos e inexistentes en el mercado.

Los nuevos métodos de ensayo basados en el comportamiento tienen ventajas significativas para el usuario. Definen las condiciones de exposición en detalle. Permiten hacer mejoras a la tecnología y el control. Finalmente, permiten la competencia, lo que a su vez hace bajar el costo para el usuario. Algunos ejemplos de este método basado en el comportamiento son las normas ISO 4892, ISO11341, ASTM G151 y ASTM G155.

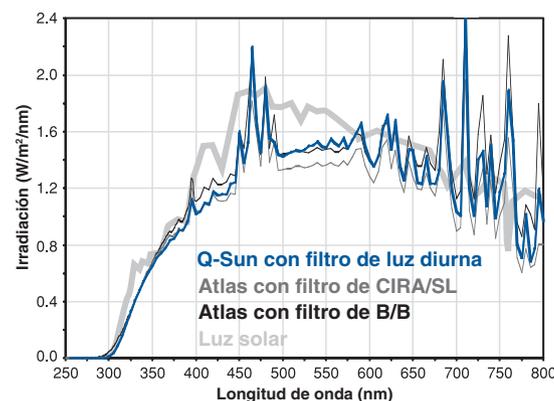
## Variabilidad inherente entre las cámaras de ensayo de envejecimiento artificial en laboratorio

Cuando comparamos los resultados de dos cámaras cualquiera, incluso si ellos provienen de modelos idénticos fabricados por un solo fabricante, e incluso si los ensayos se hacen en el mismo laboratorio por el mismo personal, tenemos que esperar cierto margen en los resultados de la exposición.

Esto puede ser decepcionante para el científico que, como es lógico, no desea ninguna variabilidad en los resultados. Sin embargo, esto es una limitación en la tecnología actual.

Estudios llevados a cabo por el Comité G03 de ASTM sobre el envejecimiento y durabilidad a la intemperie, compararon la consistencia de diversas cámaras de ensayo con luz de arco de xenón, todas fabricadas por un solo fabricante. El estudio encontró que había una excelente concordancia entre los resultados cuando los materiales fueron "evaluados en cuanto al comportamiento en comparación con otros materiales o con un control" (G151 de ASTM). Sin embargo, aunque todos los aparatos fueron fabricados por la misma empresa, "distintos laboratorios utilizando aparatos de ensayo y ciclos de exposición idénticos mostraron una variabilidad importante" en los valores absolutos obtenidos (citado de la declaración de precisión y error sistemático de G151 de ASTM). Para un examen en detalle de estos resultados, consúltese a Fischer, (1993) y Fischer & Ketola (1995).

## Luz solar comparada con el espectro de la luz de arco de xenón (utilizada en este estudio)



## Objetivo del estudio

Este estudio investiga si las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón con un conjunto de muestras planas puede dar resultados que sean funcionalmente equivalentes a aquellos de los modelos de cámaras de tambor giratorio antiguos. Finalmente, se evalúa la validez de las normas basadas en comportamiento en la práctica.

Para poder determinar la correlación entre las exposiciones a la luz de arco de xenón realizadas en sistemas de montaje de muestras de tambor giratorio versus los sistemas de montaje de muestras de conjunto plano, probamos nueve diferentes tipos de materiales.

Los tipos de materiales y las modalidades de degradación de las diversas exposiciones comparativas se encuentran indicadas en la tabla A.

En este documento presentaremos los resultados del ensayo de comparación como una serie de resúmenes. Se demostrará que los métodos basados en comportamiento pueden lograr satisfactoriamente los resultados apropiados, siempre que se controlen debidamente los parámetros críticos de exposición.

El estudio utilizó diversos modelos de cámaras de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun para los aparatos de conjunto plano y comparó los resultados con varios modelos de cámaras de tambor giratorio Atlas. Los resultados muestran que las cámaras Q-Sun produjeron esencialmente los mismo resultados que las cámaras Atlas, siempre que se utilicen sistemas de filtros y condiciones de exposición comparativos.

Tabla A

### Materiales y modalidades de degradación

Tipo de material:	Degradación:
Plásticos opacos	Amarilleo
Plásticos transparentes	Amarilleo
Lanas azules AATCC	Descoloración
Mat. ref. papel azul SDC	Cambio en el color
Mat. ref. chip azul	Transmisión
Mat. ref. poliestireno SAE	Amarilleo
Tintas de impresión	Cambio en el color
Película de vinilo	Pérdida del brillo
Materiales para arte	Cambio en el color

## Materiales de referencia de poliestireno SAE: Amarilleo

Como una verificación del comportamiento de las cámaras con luz de arco de xenón, ciertos métodos de ensayo de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) exigen que un material de referencia de poliestireno, fabricado por Test Fabrics, Inc., sea expuesto simultáneamente con el material sometido al ensayo. Periódicamente se mide el cambio en el color del material de referencia (amarilleo delta b). Si el cambio se encuentra dentro de las tolerancias predeterminadas, se supone que la cámara está funcionando correctamente. El laboratorio que está realizando el ensayo mantiene un registro del comportamiento del material de referencia y puede exigirse como parte del informe del ensayo.

Las tolerancias delta b para el material de referencia de poliestireno SAE las establece el Subcomité de materiales de referencia del Comité sobre textiles y plásticos flexibles. Este es un comité conjunto de la SAE y Asociación Internacional de Telas Industriales (IFAI). Las tolerancias se determinan mediante ensayos extensivos de cada lote nuevo en varias cámaras con luz de arco de xenón Atlas y aplican solamente a un lote de material de

referencia en particular. Históricamente, los datos han sido desarrollados en cámaras Atlas modelos Ci5000, Ci4000, Ci65A y Ci35A operados por OEM automotrices, Atlas y proveedores automotrice certificados.

**Exposiciones.** Para determinar si la Q-Sun podía producir el mismo cambio de color que las cámaras de tambor giratorio, se expuso el material de referencia de poliestireno SAE en cámaras de ensayo Q-Sun Xe-3-HS, provistas de filtros Q/B. Los ensayos de exposición se realizaron en dos laboratorios diferentes de acuerdo con las condiciones establecidas por la norma J1960 SAE (véase el anexo para una descripción de las condiciones de exposición).

En cada uno de los ensayos, se colocaron cuatro muestras replicadas de poliestireno en la bandeja de exposición plana de una cámara Q-Sun, orientadas diagonalmente de la esquina delantera izquierda a la trasera derecha. Las muestras permanecieron en esta posición durante todo el período de exposición. (Debido a que los procedimientos de operación recomiendan cambiar periódicamente de posición las muestras, esto proporcionó un ensayo "en la condición más desfavorable" para destacar cualquier variabilidad potencial dentro de la cámara.) El color fue medido diariamente por una semana de acuerdo con las instrucciones de la norma J1960 SAE.

La exposición se repitió ocho veces, con lámparas de diferentes edades, para determinar si el envejecimiento de las lámparas de xenón tenía algún efecto.

Figura 1

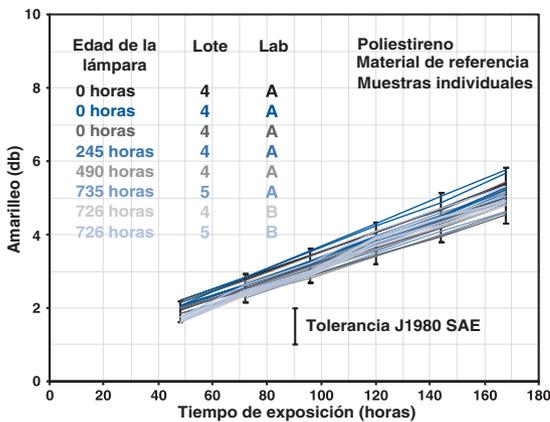
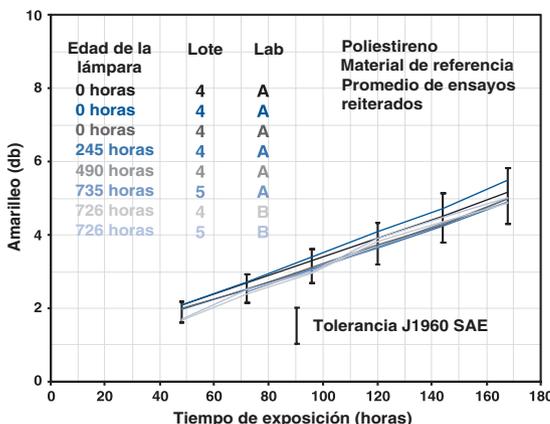


Figura 2



**Conclusiones.** Cuando se las comparó con las tolerancias predeterminadas, las cuatro réplicas, en las ocho exposiciones Q-Sun, realizadas en dos laboratorios diferentes, en cada intervalo de medición (224 mediciones total), estaban dentro del rango establecido por el comité de SAE. La primera cifra muestra el comportamiento medio de cada grupo de cuatro réplicas para cuantificar cualquier efecto del envejecimiento de la lámpara. Pareciera que el envejecimiento de la lámpara no afecta en nada el ensayo. La segunda cifra muestra el comportamiento de cada una de 32 placas de poliestireno individuales.

Para el material de referencia de poliestireno SAE, la cámara Q-Sun Xe-3-HS de conjunto plano dio los mismos resultados del ensayo que los modelos con luz de arco de xenón de tambor giratorio.

## Plásticos opacos: Amarilleo

Cuatro placas de plástico opaco fueron expuestas en una cámara Q-Sun de conjunto plano y en una cámara con luz de arco de xenón Atlas de tambor giratorio para evaluar la diferencia relativa en los resultados. Las descripciones de las muestras se encuentran en la tabla B.

Tabla B

### Muestras de plástico opaco

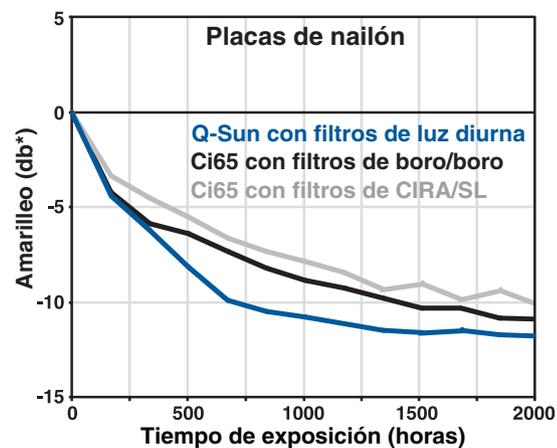
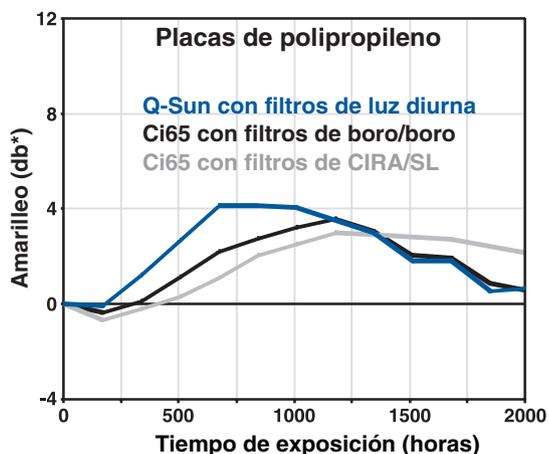
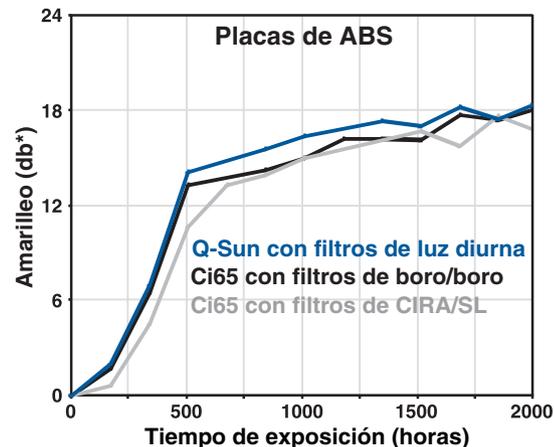
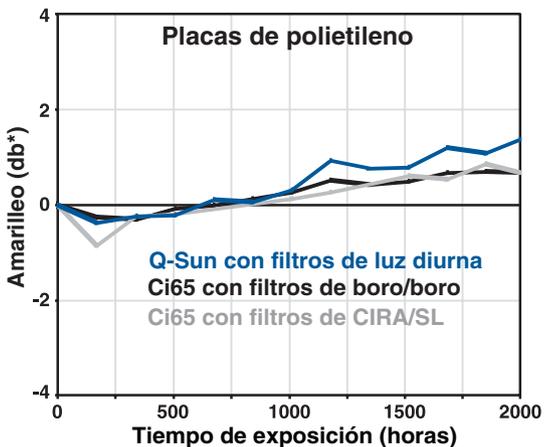
Muestra:	Color:	Grosor:	Notas:
Polietileno	Blanco	0.125"	Lámina comercial
ABS/1	Blanco	0.125"	Lámina comercial
Polipropileno	Blanco	0.1875"	Lámina comercial
Nailón	Natural	0.1875"	Lámina comercial 6/6

**Exposiciones.** Se realizaron tres ensayos diferentes para determinar el efecto de los distintos tipos de cámaras y filtros. La exposición em-

pleó el ciclo 102/18 descrito en el anexo como "Ciclo A." El color se midió cada 168 horas de acuerdo con la norma D2244 ASTM. La exposición tuvo una duración de 2000 horas. Las configuraciones de cámara/filtro eran:

- 1.) Cámara de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun, modelo Xe-3-S, con filtros de luz diurna.
- 2.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de borosilicato S y externo de borosilicato S.
- 3.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de CIRA y externo de soda lima.

**Conclusiones.** Los resultados se muestran en los gráficos a continuación. La cámara Q-Sun dio resultados parecidos a las cámaras Atlas. Sin embargo, la degradación en la Q-Sun fue ligeramente más rápida. Aunque la causa exacta de la discrepancia se desconoce, quizás haya una diferencia en la calibración de la temperatura de los distintos tipos de cámaras de ensayo.



## Plásticos transparentes: Amarillo

Cuatro placas de plástico transparente fueron expuestas en cámaras de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun y Atlas para evaluar las diferencias relativas de los resultados. A continuación se encuentran las descripciones de las muestras:

Tabla C

### Muestras de plástico transparente

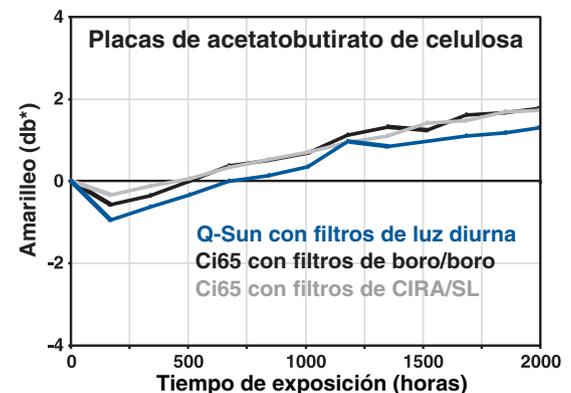
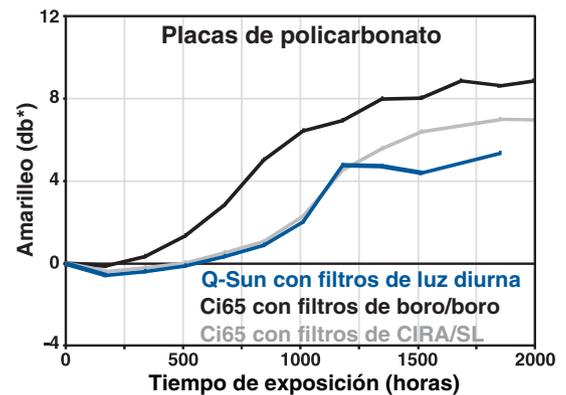
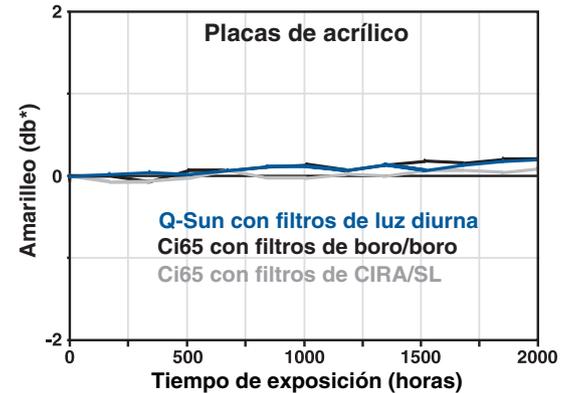
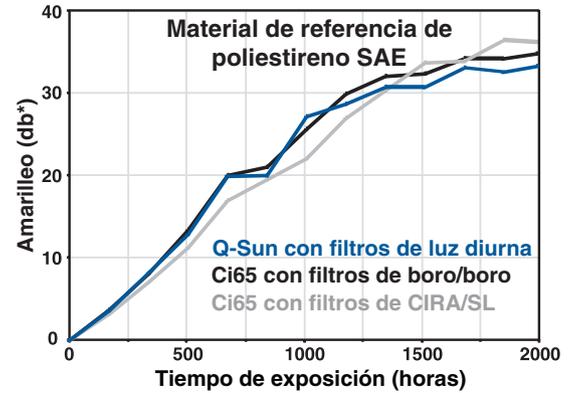
Muestra:	Color:	Grosor:	Notas:
Poliestireno	Transparente	0.110"	Mat. ref. SAE
CAB	Transparente	0.125"	Lámina comercial
Policarbonato	Transparente	0.125"	Lámina comercial
Acrílico	Transparente	0.125"	Lámina comercial

**Exposiciones.** Se realizaron tres exposiciones diferentes para determinar el efecto de los distintos tipos de cámaras y filtros. Las exposiciones utilizaron el ciclo 102/18 descrito en el anexo como "Ciclo A." El color se midió cada 168 horas de acuerdo con la norma D2244 ASTM. La exposición tuvo una duración de 2000 horas.

Las configuraciones de cámara/filtro eran:

- 1.) Cámara de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun, modelo Xe-3-S, con filtros de luz diurna
- 2.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de borosilicato S y externo de borosilicato S
- 3.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de CIRA y externo de soda lima.

**Conclusiones.** Los resultados se muestran en los gráficos a continuación. Prácticamente no hubo ninguna diferencia en los resultados de la exposición del poliestireno, CAB y acrílico. Las dos cámaras y todos los tipos de filtros dieron esencialmente resultados idénticos. En cuanto al policarbonato, hubo una buena concordancia entre los resultados de los filtros de luz diurna de la Q-Sun y los filtros CIRA/SL de la Ci65 Atlas. Sin embargo, los filtros de boro/boro proporcionaron una exposición más severa. Es de suponer que esto se debe al espectro de UV de longitud de onda más corta que lo permitido por este filtro.



## Normas de AATCC relativas a la lana azul Descoloración

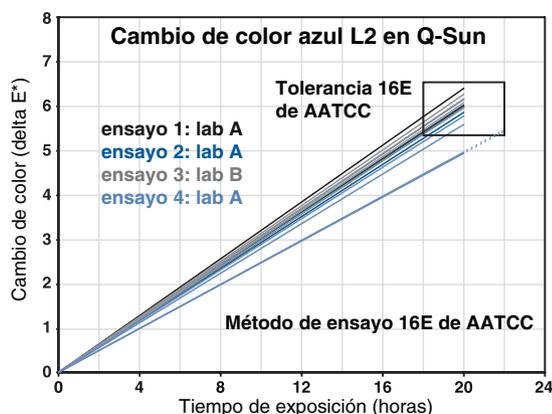
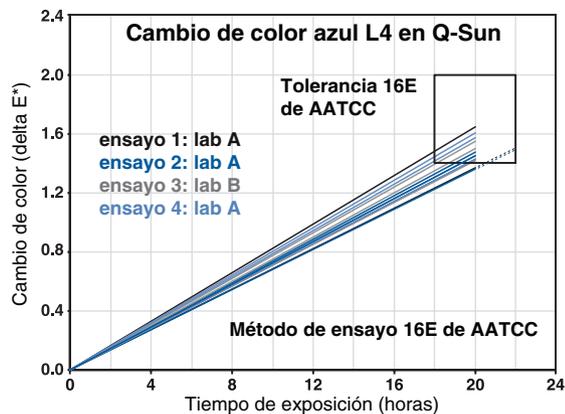
El método de ensayo 16 de la Asociación Americana de Químicos y Coloristas Textiles (AATCC), estabilidad del color a la luz, exige que el operador calibre la cámara con luz de arco de xenón mediante el uso de las normas de fotorresistencia de la lana azul de AATCC antes de realizar un ensayo de exposición. La AATCC ofrece 8 lanas azules de variados niveles de estabilidad a la luz, variando de L2 (muy fugaz) a L9 (muy sólido a la luz). Las normas más comúnmente empleadas son la L2 y L4. Las lanas azules son expuestas a luz continua por 20 +/- 2 horas a la temperatura, humedad, etc correspondiente. Después de la exposición, la descoloración del material se evalúa ya sea por procedimientos visuales o instrumentales.

Cada lote nuevo de producción de lana azul es sometida a un ensayo extensivo por el Comité RA50 de AATCC para comprobar la estabilidad del color a la luz en varias cámaras de ensayo con luz de arco de xenón estilo tambor giratorio. Históricamente, los ensayos de exposición se han realizado en cámaras Atlas modelos Ci35, Ci65, Ci5000, Ci4000 y Ci3000 operadas por el laboratorio de AATCC, Atlas y miembros del Comité RA50. Solamente después que se determina que un nuevo lote se comporta adecuadamente es lanzado al mercado textil.

**Exposiciones.** Para poder determinar si una Q-Sun de conjunto plano puede producir el mismo cambio de color que las cámaras de tambor giratorio, se llevó a cabo una serie de exposiciones de lana azul L2 y L4 en una cámara de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun, modelo X3-3-HS. Se hizo funcionar la Q-Sun en las condiciones de ensayo del método 16E durante 22 horas (véase el anexo para una descripción completa de las condiciones 16E). Después de la exposición, se midió el color de acuerdo con el procedimiento de evaluación 6 de la AATCC.

Para cada uno de los ensayos, se colocaron cuatro muestras replicadas de las normas de estabilidad del color a la luz de la lana azul de AATCC en la bandeja de exposición plana de la cámara Q-Sun, orientadas diagonalmente de la esquina delantera izquierda a la trasera derecha. Las muestras permanecieron en esta posición durante todo el período de exposición.

La exposición fue repetida cuatro veces con L2 y cuatro veces con L4.



**Conclusiones.** Cuando se las comparó con las tolerancias predeterminadas, las cuatro réplicas, en las ocho exposiciones (un total de 32), se encontraban dentro del rango establecido por el método de ensayo 16 de AATCC. En el método de ensayo 16 de AATCC, la cámara Q-Sun Xe-3-HS de conjunto plano dio el mismo resultado de ensayo que las cámaras de tambor giratorio en las normas de estabilidad del color a la luz de la lana azul L2 y L4 de AATCC.

## Material de referencia de papel azul SDC: Cambio de color

La Sociedad de Tintoreros y Coloristas (SDC) suministró muestras de papeles pigmentados de color azul de variados niveles de estabilidad a la luz (normas de estabilidad del color a la luz 1-8) para un estudio. Estos papeles experimentales están diseñados para ser utilizados igual que las lanas azules de ISO como material de referencia. Las normas de fotorresistencia de SCS varían en las formulaciones de pigmentos y en la sensibilidad a la luz ultravioleta.

**Exposiciones.** Los papeles SDC fueron expuestos en una cámara Q-Sun y en una Atlas Ci35 de acuerdo con los métodos de ensayo normales D4303 de ASTM para la evaluación de la fotorresistencia de los pigmentos para arte, método C (véase el anexo para una descripción de las condiciones de exposición). Se realizaron mediciones del color con instrumentos antes y después de la exposición de acuerdo con las normas E 1349 y D 2244 de ASTM.

Las configuraciones de cámara/filtro eran:

- 1.) Cámara de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun con filtros de cristal de ventana.
- 2.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de borosilicato S y externo de soda lima.

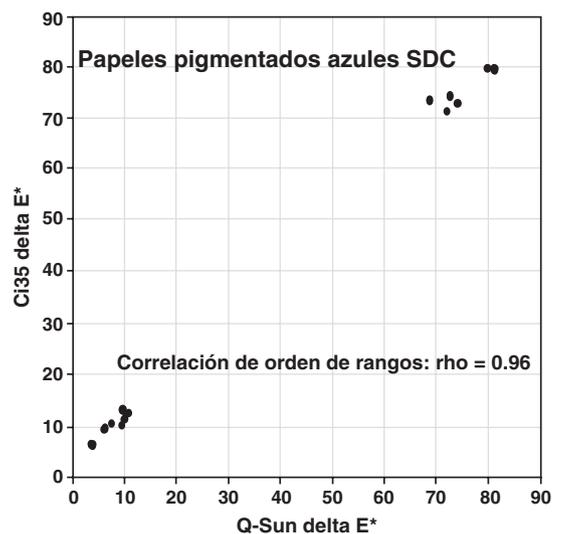
**Resultados.** El cambio de color se informa en unidades de diferencia de color total (delta E). A continuación se encuentran los datos indicados en la Tabla D y el gráfico más abajo.

**Conclusiones.** Aunque hubo algunas pequeñas discrepancias en los valores absolutos del cambio de color, como se muestra en la figura acompañante, la correlación de orden de rangos Spearman entre las dos exposiciones fue un excelente 0.96. Los rangos de 0.90 y más altos indican una correlación muy próxima. Si hay una concordancia perfecta en los rangos, el coeficiente rho Spearman tendrá un valor de 1.0. Las dos cámaras de ensayo diferentes dieron los mismos resultados de cambio de color.

Tabla D

### Papeles azules SDC - delta E

Muestra:	Q-Sun Xenón:	Ci35 Xenón:
SDC-1	68.3	72.8
SDC-1	72.4	73.7
SDC-2	71.6	70.8
SDC-2	73.7	72.2
SDC-3	80.8	79.0
SDC-3	79.6	79.2
SDC-4	9.6	11.0
SDC-4	9.3	9.9
SDC-5	10.4	12.4
SDC-5	9.5	12.8
SDC-6	7.2	10.3
SDC-6	7.2	10.2
SDC-7	6.1	9.4
SDC-7	5.9	9.1
SDC-8	3.6	5.9
SDC-8	3.3	6.3
Promedio:	32.4	34.1



## Material de referencia de chip azul: Transmisión

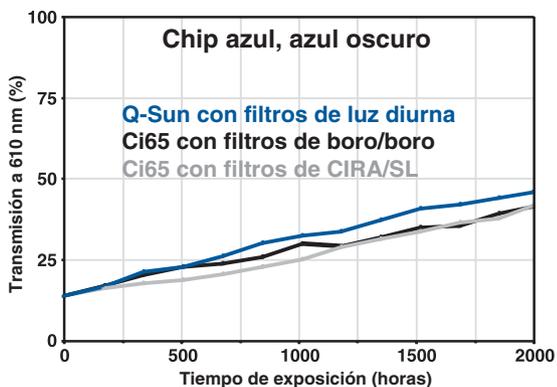
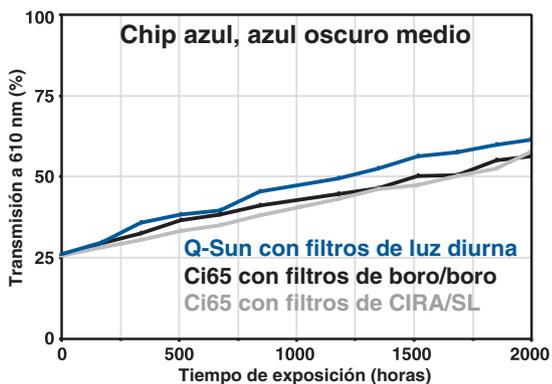
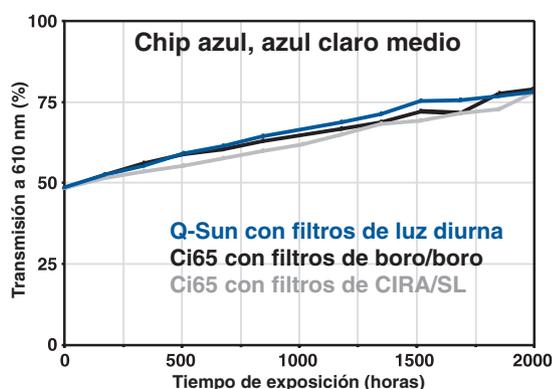
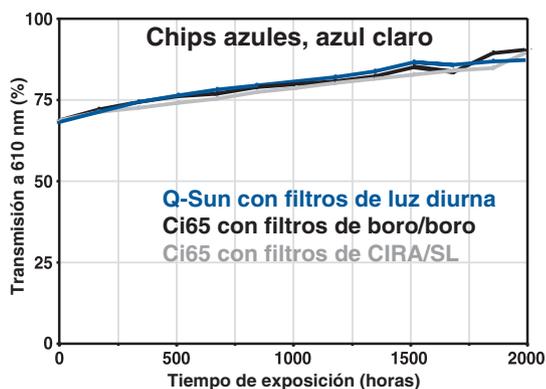
En los estudios realizados por los comités técnicos de la Asociación Americana de Químicos y Coloristas Textiles (AATCC) y la Organización Internacional de Normalización (ISO), se utilizó una serie de placas de plástico azul translúcidas elaboradas por Textile Innovators, Inc., como materiales de referencia potenciales para su utilización en estudios de envejecimiento artificial y fotorresistencia. Los efectos de la exposición se determinan midiendo el cambio ya sea en la reflectancia o la transmisión a 610 nm. El propósito fue utilizar estos "chips azules" en los ensayos de envejecimiento artificial. Los chips azules podrían así complementar las lanas azules de AATCC proporcionando un material de referencia que podría soportar la pulverización de agua. Los chips azules tienen 0.125 pulgadas de grosor.

**Exposiciones.** Se expusieron cuatro chips diferentes, diseñados para proporcionar diversos niveles de fotorresistencia, en una cámara con luz de arco de xenón Q-Sun y una Atlas para evaluar las diferencias relativas en los resultados. Se realizaron tres exposiciones diferentes para determinar el efecto de los distintos tipos de cámaras y filtros. Las exposiciones utilizaron el ciclo 102/18 descrito en el anexo como "Ciclo A." La degradación se monitorizó midiendo la transmisión a 610 nm cada 168 horas de acuerdo con la norma D2244 ASTM. La exposición tuvo una duración de 2000 horas.

Las configuraciones de cámara/filtro eran:

- 1.) Cámara de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun, modelo Xe-3-S, con filtros de luz diurna
- 2.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de borosilicato S y externo de borosilicata S
- 3.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de CIRA y externo de soda lima.

**Conclusiones.** Tal como se muestra en las figuras de más abajo, el cambio fue lineal para todos los chips, independientemente de la cámara de ensayo utilizada. Las diferencias en los espectros de la luz de arco de xenón de los distintos filtros utilizados en las dos exposiciones Ci65 parecían no tener ningún efecto importante en los resultados de la exposición de los chips azules. No hubo ninguna diferencia significativa en los resultados entre las cámaras de ensayo de tambor giratorio versus la cámara Q-Sun Xe-3-S de conjunto plano.



## Materiales para arte: Cambio de color

El subcomité D01.57 de ASTM sobre Materiales para arte realizó un estudio para determinar la correlación entre los diversos métodos de exposición en una serie de 15 lápices de colores para arte. Aunque el estudio también incluyó exposiciones a la intemperie debajo de vidrio, para el presente estudio solamente vamos a concentrarnos en una comparación de los resultados de una Q-Sun y una Atlas Ci35. (Para un examen completo de los datos, incluyendo la correlación a la intemperie, véase a Brennan & Everett, 2000).

En este estudio participaron tres fabricantes. Cada uno preparó dos muestras en réplica de cinco diferentes tipos de lápices de colores. A un sustrato de papel en réplica se le aplicó cada uno de los tipos de papel. Para proporcionar un margen representativo en los datos, las muestras suministradas por los fabricantes eran de diversos colores y niveles de durabilidad, variando de muy buenas o muy malas.

**Exposiciones.** Las muestras fueron expuestas en una Q-Sun y en una Atlas Ci35 de acuerdo con los métodos de ensayo normales D4303 de ASTM para la evaluación de la fotorresistencia de pigmentos para arte, método C (véase el apéndice para una descripción de las condiciones de exposición). Se realizaron mediciones del color con instrumentos antes y después de la exposición de acuerdo con las normas E 1349 y D 2244 de ASTM.

Las configuraciones de cámara/filtro eran:

- 1.) Cámara de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun con filtros de cristal de ventana
- 2.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de borosilicato S y externo de soda lima.

**Resultados.** El cambio de color fue reportado en unidades de diferencia de color total (delta E). Se encontró un amplio rango de durabilidad en las muestras. Los resultados de la exposición se encuentran en la Tabla E.

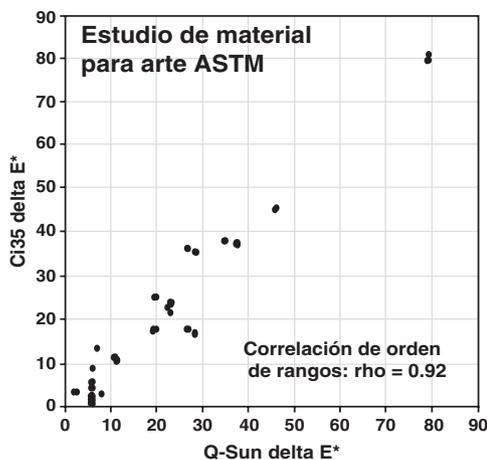


Tabla E

### Datos de los colores de materiales para arte - delta E

Muestra:	Q-Sun Xenón:	Ci35 Xenón:
ROJO-1	5.7	1.2
ROJO-1	5.7	2.3
ROJO-2	26.7	36.5
ROJO-2	28.5	35.4
NARANJA-1	79.7	80.6
NARANJA-1	79.3	79.3
NARANJA-2	37.3	37.3
NARANJA-2	34.8	37.8
CARNE	19.7	24.9
CARNE	19.7	25.0
AMARILLO	45.6	45.0
AMARILLO	45.9	45.3
VERDE-1	6.1	9.2
VERDE-1	7.0	13.7
VERDE-2	5.8	1.4
VERDE-2	7.9	3.1
VERDE-3	19.3	17.7
VERDE-3	19.9	17.9
AGUA	5.8	5.7
AGUA	5.7	4.4
AZUL-1	10.9	11.5
AZUL-1	11.2	11.1
AZUL-2	26.8	18.0
AZUL-2	28.2	16.6
MORADO-1	23.0	21.4
MORADO-1	22.3	22.6
MORADO-2	23.1	23.8
MORADO-2	22.9	23.6
NEGRO	2.7	3.2
NEGRO	2.1	3.2
Promedio:	22.6	22.6

**Conclusiones.** Aunque hubo algunas pequeñas discrepancias en los valores absolutos del cambio de color, la correlación de orden de rangos Spearman entre las dos exposiciones fue un excelente 0.92.

## Tintas de impresión: Cambio de color

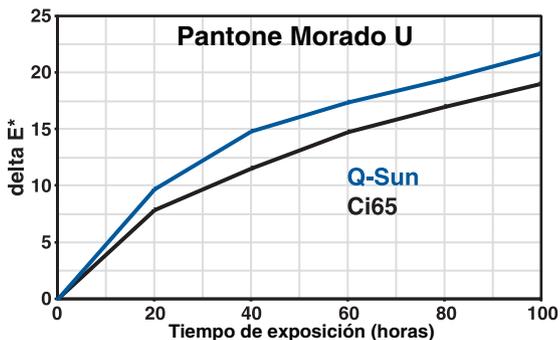
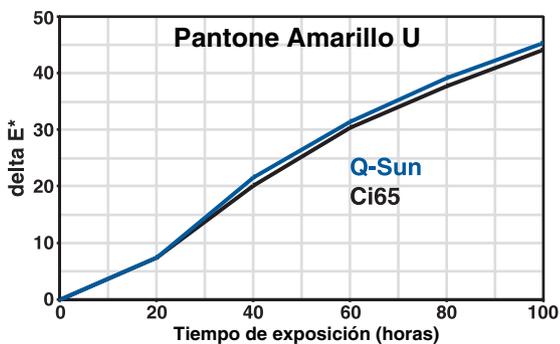
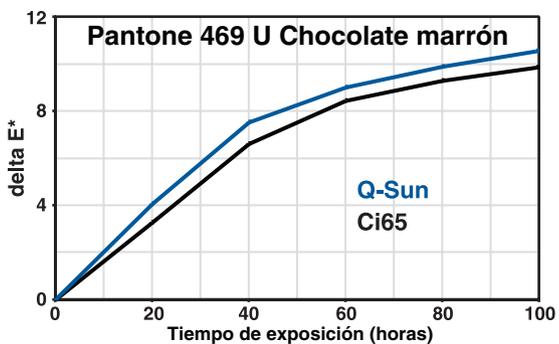
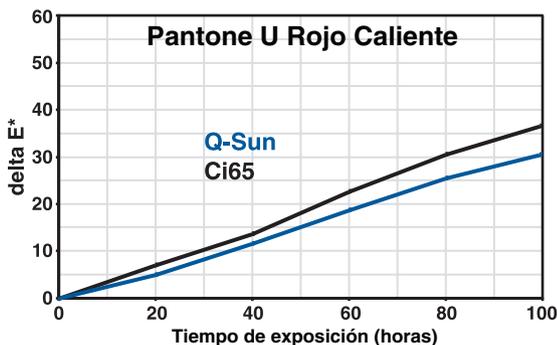
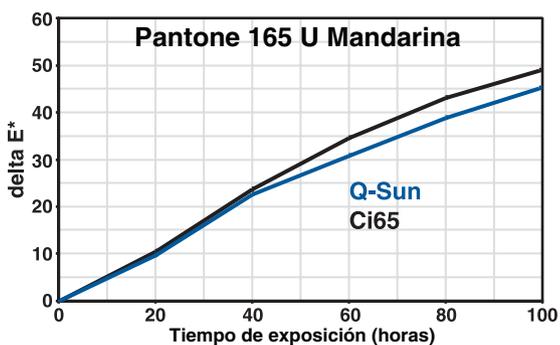
Históricamente, las luces de arco de carbón se usaban para probar la fotorresistencia de las tintas de impresión. Sin embargo, durante los últimos 15 años, la mayoría de los laboratorios ha cambiado a luz de arco de xenón debido a que su espectro permite un ensayo de exposición más realista.

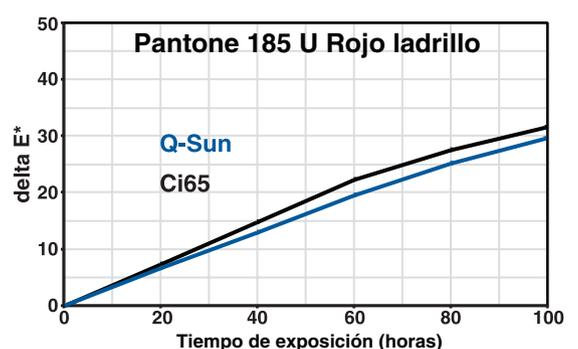
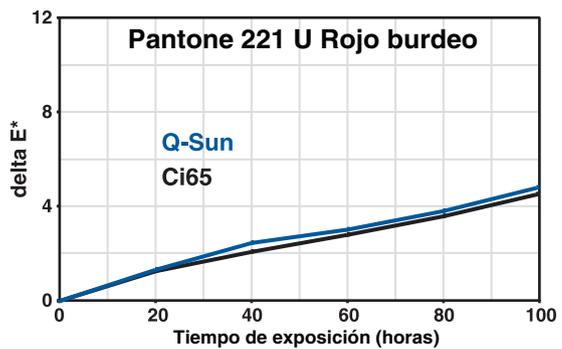
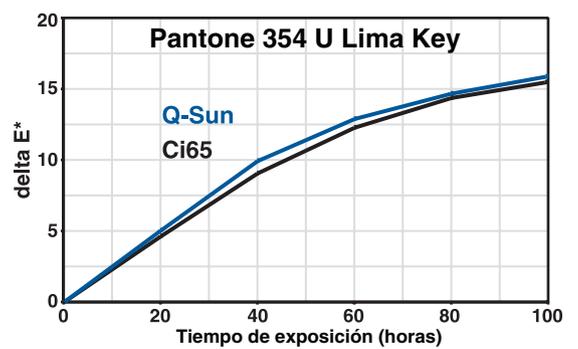
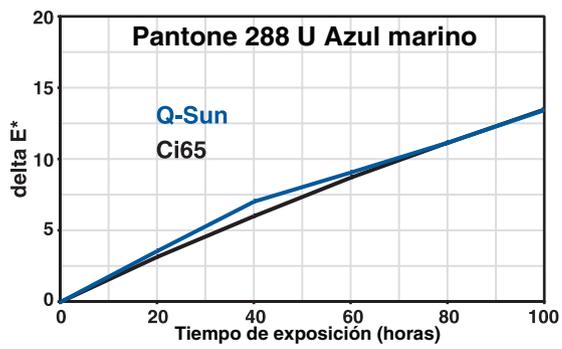
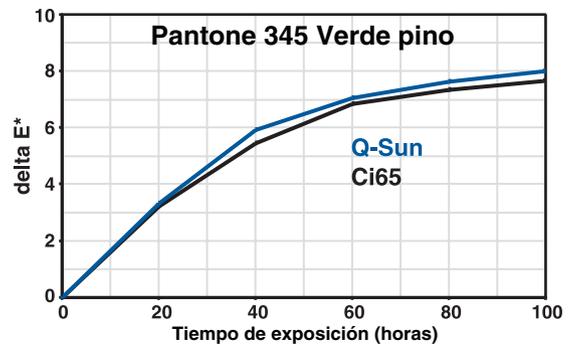
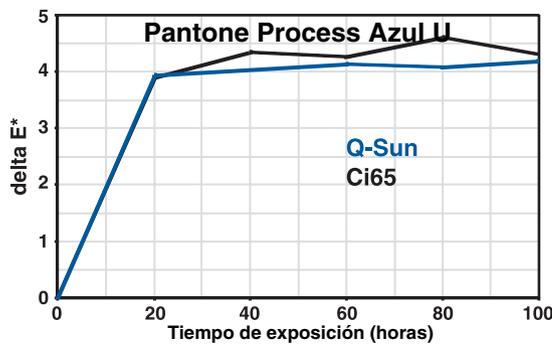
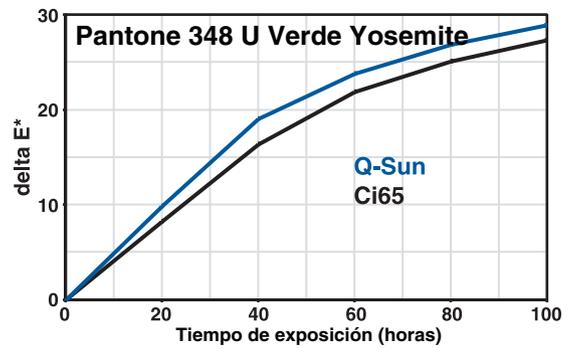
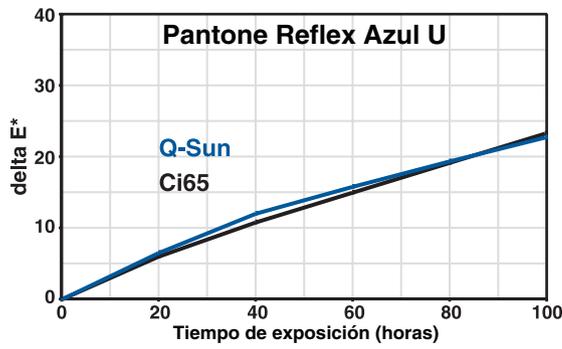
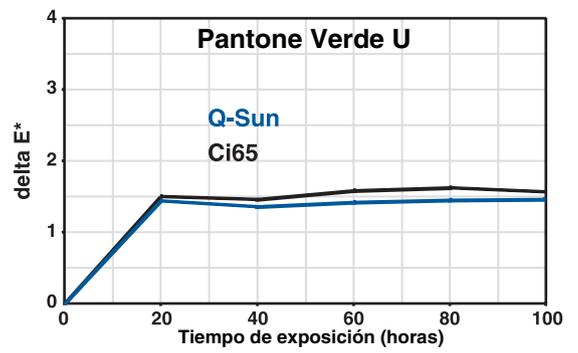
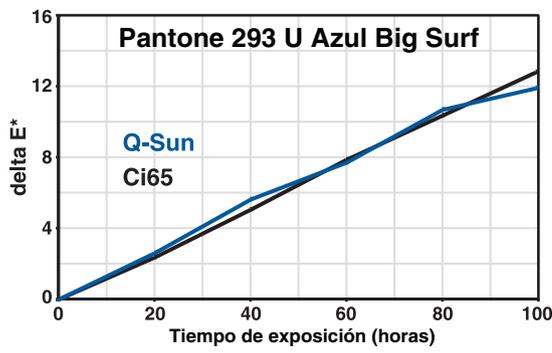
Se probaron diecisiete formulaciones de tinta de un solo fabricante para determinar la relación entre las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón estilo tambor giratorio y las de conjunto plano.

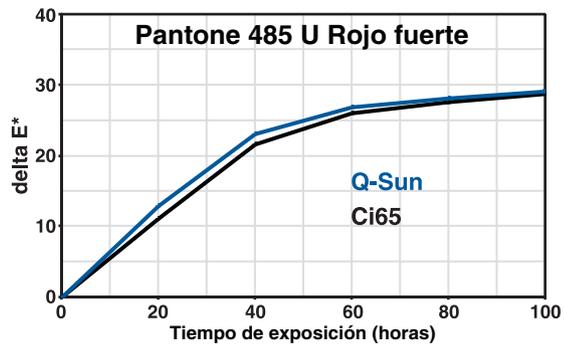
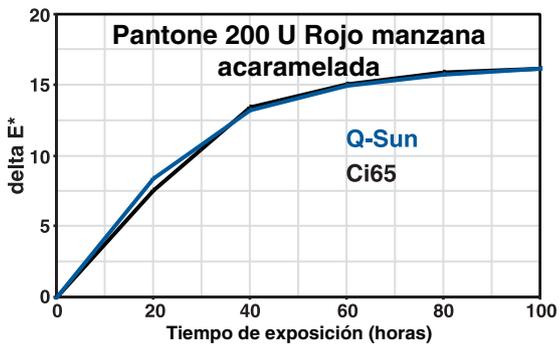
**Exposiciones.** Se realizaron exposiciones comparativas para determinar la correlación entre las cámaras de ensayo y los tipos de filtros. Las exposiciones utilizaron las condiciones 16E de AATCC descritas en el anexo. El color se midió cada 20 horas de acuerdo a la norma D2244 de ASTM. La exposición tuvo una duración de 100 horas.

Las configuraciones de cámara/filtro eran:

- 1.) Cámara de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun, modelo Xe-3-S, con filtros de cristal de ventana
- 2.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de borosilicato S y externo de soda lima.







## Tintas de impresión: Cambio de color

**Conclusiones.** Hubo un rango amplio en el comportamiento de las tintas de impresión de diversos colores. Algunos cambiaron impresionantemente, mientras varios se mantuvieron razonablemente estables. Para 11 de las 17 muestras, el cambio de color delta E fue esencialmente idéntico en ambas exposiciones. Para tres de las tintas, la exposición Atlas Ci65 proporcionó una descoloración ligeramente más rápida. Para las trestintas restantes, la Q-Sun Xenón fue ligeramente más rápida.

Una forma de analizar los datos es comparar el orden de rango de los dos grupos de datos. Los rangos de 0.90 y más altos indican una correlación muy próxima. Si hay una concordancia perfecta en los rangos, el coeficiente rho Spearman tendrá un valor de 1.0.

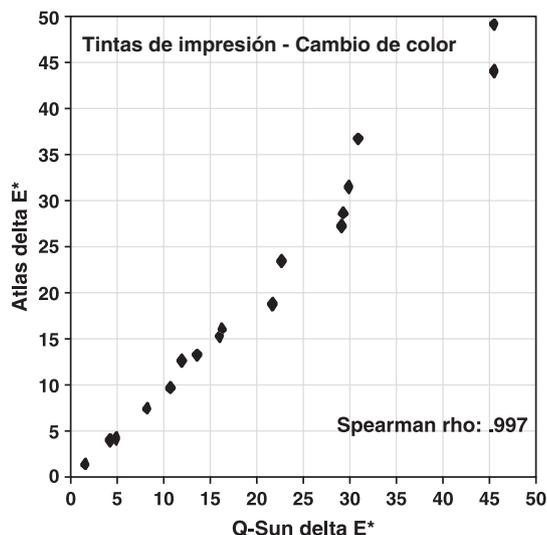
Como se muestra en la Tabla F, hubo una excelente concordancia entre los grupos de datos con un coeficiente rho de 0.9975.

Tabla F

### Grupos de datos con un coeficiente rho de 0.9975

Número material	Q-Sun delta E	Atlas delta E	Orden de rango Q-Sun	Orden de rango Atlas
55	45.43	44.27	17	16
56	45.36	49.14	16	17
57	30.64	36.79	15	15
58	29.60	31.57	14	14
59	29.08	28.73	13	13
60	16.17	16.20	9	9
61	4.80	4.51	3	3
62	21.71	19.04	10	10
63	4.18	4.31	2	2
64	11.92	12.84	6	6
65	22.74	23.43	11	11
66	13.49	13.54	7	7
67	1.46	1.56	1	1
68	15.94	15.54	8	8
69	28.94	27.29	12	12
70	8.00	7.65	4	4
71	10.54	9.84	5	5

Spearman rho = 0.9975



## Película de vinilo: Pérdida del brillo

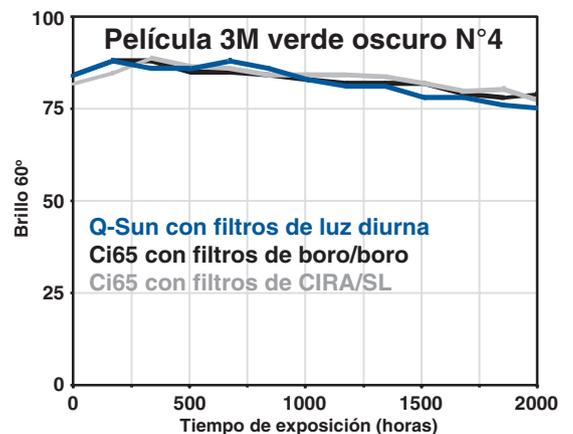
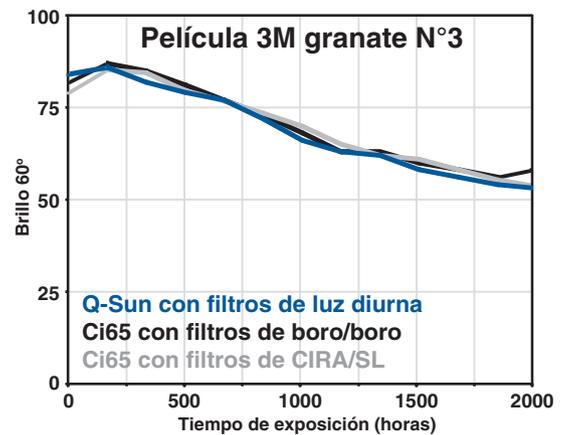
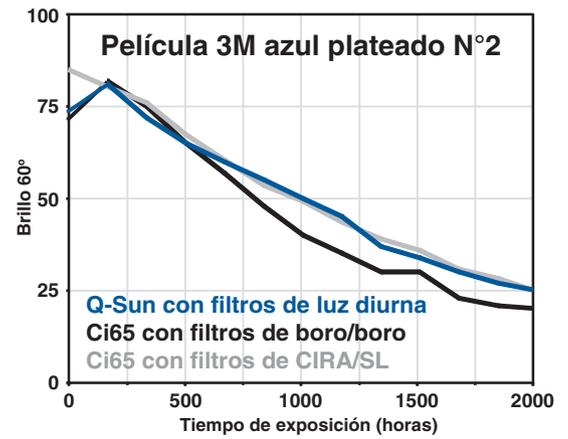
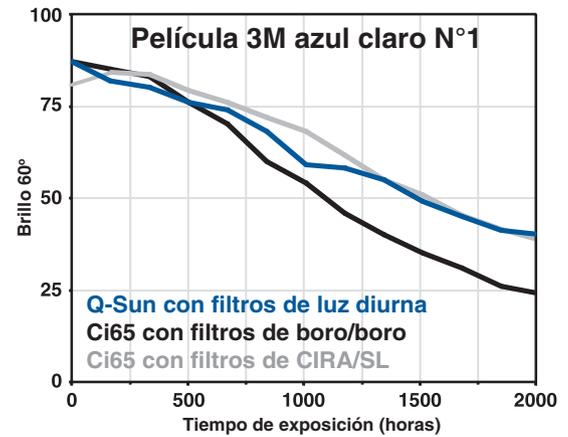
Fischer y Ketola de 3M han publicado varios artículos científicos examinando los datos generados por el Comité G03 de ASTM (sobre envejecimiento artificial y durabilidad) sobre la precisión, repetibilidad y reproducibilidad de diversos tipos de cámaras de ensayo de envejecimiento artificial. En estos estudios se empleó una serie de 10 películas de cloruro de polivinilo de diferentes colores (de 0.002 pulgadas de grosor, con adhesivo piezosensible) suministrado por 3M. Las películas fueron aplicadas sobre paneles de ensayo de aluminio. Se eligieron estas muestras especiales para los estudios de ASTM debido a que la durabilidad (retención del brillo) varía significativamente entre los diez materiales.

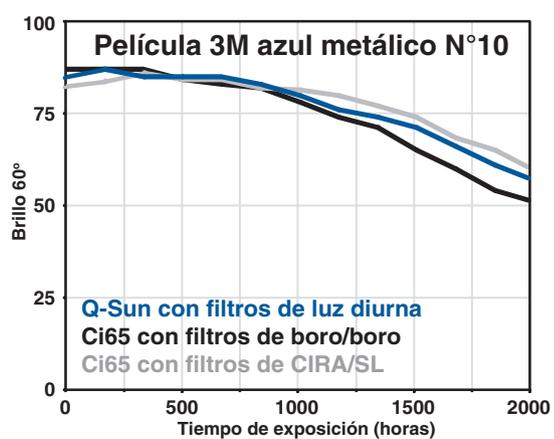
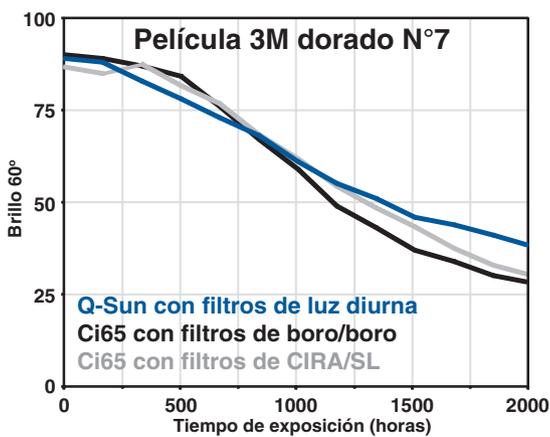
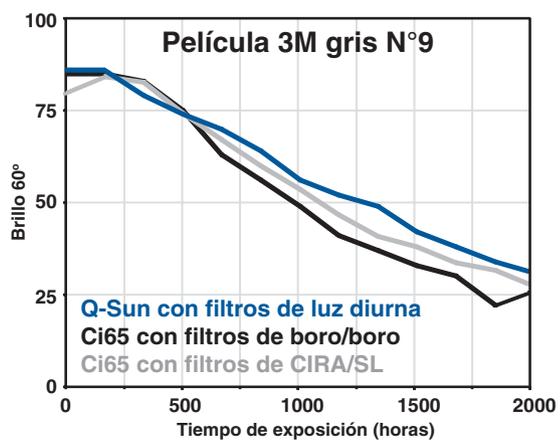
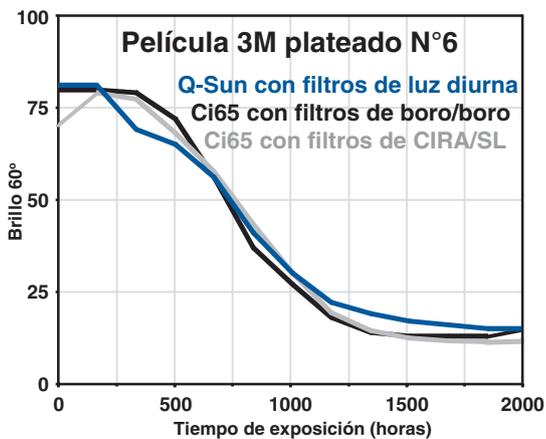
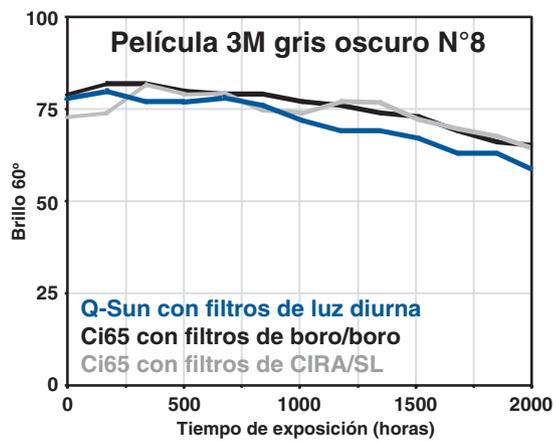
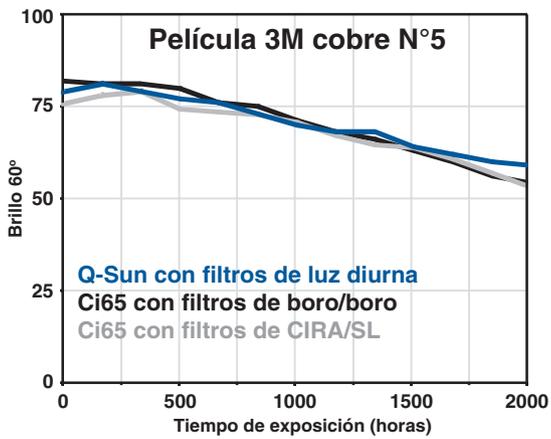
Para determinar la correlación en los resultados del ensayo entre las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón de tambor giratorio y de conjunto plano, se utilizaron estas mismas películas 3M en un estudio comparativo.

**Exposiciones.** Se realizaron tres exposiciones diferentes para determinar el efecto de los distintos tipos de cámaras y filtros. Las exposiciones utilizaron el ciclo 102/18 descrito en el anexo como "Ciclo A." La pérdida de brillo (60°) se midió cada 168 horas de acuerdo a la norma D2244 de ASTM. La exposición tuvo una duración de 2000 horas.

Las configuraciones de cámara/filtro eran:

- 1.) Cámara de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun, modelo Xe-3-S, con filtros de luz diurna
- 2.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de borosilicato S y externo de borosilicato S
- 3.) Atlas Ci65 Weather-Ometer con filtros interno de CIRA y externo de soda lima.





## Película de vinilo: Pérdida del brillo

**Conclusiones.** Las mediciones iniciales del brillo de las muestras no expuestas variaron entre 75 y 85. Después de estar expuestas durante 2000 horas, el brillo varió entre 15 y 75.

Una forma de ver la relación de los datos es trazar los resultados de Ci65 contra los resultados de Q-Sun, como se muestra en las figuras de más abajo. Si las dos cámaras de ensayo dieron resultados exactos en los valores absolutos, los datos quedarían exactamente alineados en la línea diagonal de 45° que bisecta el gráfico. Como se ilustra en la figura 1, hubo una concordancia muy buena entre los dos grupos de datos.

Una tercera forma de analizar los datos es comparar el orden de rango de los dos grupos de datos. Como se muestra en la figura 2, hubo una concordancia perfecta entre los grupos de datos después de una exposición de 1000 horas. Independientemente del intervalo de tiempo, el coeficiente rho fue mejor que 0.9.

Las cámaras Q-Sun y Ci65 mostraron una excelente correlación en las películas de vinilo 3M. Dado el rango normal de precisión, repetibilidad y reproducibilidad en las cámaras con luz de arco de xenón, es poco probable que dos exposiciones realizadas en la misma cámara den resultados más cercanos.

Figura 1

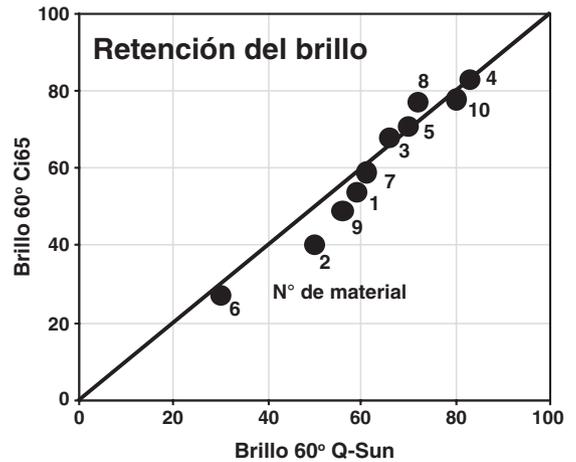
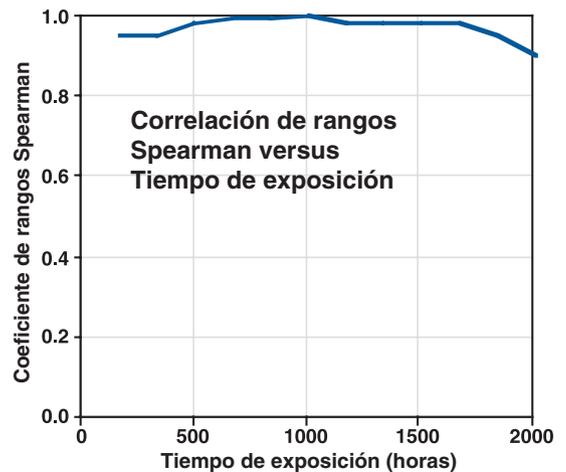


Figura 2



## Resumen y conclusiones

1. En los nueve estudios apoyados con pruebas en este documento, abarcando numerosas modalidades de degradación y categorías de materiales, se logró una concordancia notablemente buena entre las exposiciones a la luz de arco de xenón en cámaras de conjunto plano y de tambor giratorio. Los resultados indican que el concepto de protocolos de ensayo basados en el comportamiento pueden tener éxito, siempre que los sistemas de filtros y las condiciones de exposición comparativos se definan y utilicen de la forma correcta. Casi todas las diferencias en los resultados de la exposición se encuentran dentro de la variabilidad normal que se podría esperar de dos cámaras de ensayo cualquiera, independientemente del modelo o el fabricante.

2. Los filtros de luz diurna de Q-Sun y los filtros CIRA/SL de Atlas se corresponden bien entre ellos (y con la luz solar). Sin embargo, ciertos sistemas de filtros, sobre todo la combinación de borosilicato/borosilicato utilizada en las cámaras de ensayo de tambor giratorio, pueden en algunos casos dar resultados más severos (es decir, más rápidos) en algunos materiales. Supuestamente, esto se debe a que transmiten longitudes de onda de UV anormalmente cortas.

## Anexo: Ciclos de exposición

### Condiciones de exposición de ciclo A

- . Irradiación controlada a 0.55 W/m<sup>2</sup>/nm a 340 nm; filtros de luz diurna;
- . 102 minutos de luz a una temperatura de 63°C en el panel negro;
- . 18 minutos de luz y pulverización de agua, sin control de temperatura;
- . Muestras cambiadas de posición semanalmente.

Nota: Las exposiciones en la Atlas Ci65 controlaron la humedad a una HR de 50% durante el ciclo de luz. La Q-Sun no estaba equipada para controlar la humedad, pero la HR efectiva durante la exposición fue de aproximadamente 15% (calculada en las condiciones ambientales).

### Condiciones de exposición del método de ensayo 16E de AATCC

- . Irradiación controlada a 1.10 W/m<sup>2</sup>/nm a 420 nm; filtros de cristal de ventana;
- . Solamente luz continua a una temperatura de 63°C en el panel negro;
- . Temperatura del aire de la cámara 43°C (bola seca); humedad relativa 30%;
- . Las muestras no fueron cambiadas de posición.

### Condiciones de exposición, método C, norma D4303 ASTM

- . Irradiación controlada a 0.35 W/m<sup>2</sup>/nm a 340 nm; filtros de cristal de ventana;
- . Solamente luz continua a una temperatura de 63°C en el panel negro;
- . Las muestras no fueron cambiadas de posición.

Nota: La exposición en Atlas Ci35 controló la humedad a una HR de 55%. La Q-Sun no estaba equipada para controlar la humedad, pero la HR efectiva durante la exposición fue de aproximadamente 15% (calculada en las condiciones ambientales).

### Condiciones de exposición de la norma J1960 SAE

- . Irradiación controlada a 0.55 W/m<sup>2</sup>/nm a 340 nm; durante el ciclo de luz;
- . Filtros de UV prolongada (interno de cuarzo/externo de borosilicato o tipo Q/B de Q-Panel);
- . 40 minutos de luz a una temperatura de 70°C en panel negro, humedad relativa 50%;
- . 20 minutos de luz y pulverización de agua en la parte anterior de la muestra;
- . 60 minutos de luz a una temperatura de 70°C en panel negro, humedad relativa 50%;
- . 60 minutos oscuridad y pulverización de agua sobre la parte anterior y posterior de la muestra a una temperatura de 38°C;
- . Las muestras no fueron cambiadas de posición.

Nota: En las exposiciones en Q-Sun hubo una pequeña desviación del procedimiento J1960 SAE: durante el ciclo de oscuridad/humedad. Pulverización en parte anterior solamente (ninguna "pulverización en parte posterior").

## Apéndice: Resumen de los fabricantes y modelos

Tabla A.1

### Fabricantes/Modelos de Cámaras de ensayo con luz de arco de xenón de tambor giratorio

Fabricante:	Modelo:
Suga	WEL-6X-HC-B-Ec
	WEL-45AX-HC
	FAL-25AX-HC
Atlas	Ci35
	Ci65
	Ci3000
	Ci4000
	Ci5000
Heraeus	Xenotest 1200
	Xenotest 150
	Xenotest Alpha
	Xenotest Beta

Tabla A.2

### Fabricantes/Modelos de Cámaras de ensayo planas estáticas

Fabricante:	Modelo:
Suga	Table Sun
Atlas	XR260
K.H.	Steuerangle
Solar	Climatic
Heraeus	Suntest
Q-Lab Corporation	Q-Sun Xe-1, Xe-3

## Bibliografía

Brennan, P., and Everett, E., Lightfastness of Artists. Pencils, Natural and Accelerated Exposure Results, ASTM STP 1385, 2000

Fischer, R., Results of Round Robin Studies of Light and Water Exposure Standard Practice, ASTM STP 1202, 1993

Fischer, R., and Ketola, W., Impact of Research on Development of ASTM Durability Testing Standards, ASTM STP 1294, 1995

Ketola, W., and Fischer, R., Characterization and Use of Reference Materials in Accelerated Durability Tests, VAMAS Technical Report No. 30, available from NIST, Gaithersburg, MD.

Ketola, W., and Skogland, T., Fischer, R., Effects of Filter and Burner Aging on the Spectral Power Distribution of Xenon Arc Lamps, ASTM STP 1294, 1995

AATCC Test Method 16, Colorfastness to Light

ASTM D2244, Standard Test Method for Calculation of Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates

ASTM D523, Standard Test Method for Specular Gloss

ASTM D4303, Standard Test Methods for Evaluating Lightfastness of Artists. Pigments

ASTM E1349, Standard Test Method for Reflectance Factor and Color by Spectrophotometry Using Bidirectional Geometry

ASTM G151, Standard Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources, Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.04

ASTM G155, Standard Practice for Operating Xenon-Arc Light Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.04

ISO 4892-2, Plastics - Methods of Exposure to Laboratory Light Sources - Xenon Arc

SAE J1885, Accelerated Exposure of Automotive Interior Trim Components Using a Controlled Irradiance Water Cooled Xenon Arc Apparatus

SAE J1960, Accelerated Exposure of Automotive Exterior Material using a Controlled Irradiance Water Cooled Xenon Arc Apparatus

## Reconocimientos

Q-Lab Corporation es responsable de la exactitud de los resultados de estos ensayos. Sin embargo, deseamos hacer constar nuestros agradecimientos a las siguientes compañías por habernos suministrado los materiales para ensayo:

Asociación Americana de Químicos y Coloristas Textiles

Sociedad de Tintoreros y Coloristas (Reino Unido)

3M Company

Americhem Corporation

Textile Innovators, Inc.

Test Fabrics, Inc.

## Notas

Este artículo científico, Resultados de la exposición a la luz de arco de xenón: Comparación de los sistemas de montaje de muestras giratorios versus estáticos fue publicado originalmente en Materials Life Society (Japón), 5° Simposio Internacional sobre Deterioro a la Intemperie, octubre de 2002

El material de referencia de poliestireno SAE puede obtenerse a través de Test Fabrics Inc., P.O. Box 420, 200 Blackford Ave., Middlesex, NJ 08846

Las normas de AATCC sobre la estabilidad a la luz de la lana azul están disponibles a través de la Asociación Americana de Químicos y Coloristas Textiles.

Q-Sun y Solar Eye son marcas comerciales registradas de Q-Lab Corporation.  
Weather-Ometer es marca comercial registrada de Atlas Electric Devices Company.



<b>Q-Lab Corporation</b>		
<b>Oficina Central y División de Instrumentos Q-Lab</b> 800 Canterbury Road Cleveland, OH 44145 EE.UU. Teléfono: 440-835-8700 Fax: 440-835-8738	<b>Q-Lab Europe</b> Express Trading Estate Stonehill Road, Farnworth Bolton, BL4 9TP Inglaterra Teléfono: 44-120-486-1616 Fax: 44-120-486-1617	<b>Q-Lab China</b> Room 1809/1810, Liangyou Bld. 618 Shangcheng Road Pudong District Shanghai, China 200120 Teléfono: 86-21-5879-7970 Fax: 86-21-5879-7960

[www.q-lab.com](http://www.q-lab.com)  
[info@q-lab.com](mailto:info@q-lab.com)

LX -5021.SP  
© 2006 Q-Lab Corporation.  
Todos los derechos reservados.