

Comparación de las exposiciones a la luz de arco de xenón estática y giratoria: Cuestiones técnicas, consideraciones prácticas y forma en que los diferentes tipos de equipo responden a los nuevos métodos de ensayo basados en el comportamiento

Resumen

En el transcurso de los últimos 10 años, casi todos los principales protocolos de ensayo han sido modificados de descripciones basadas en el equipo de las cámaras de ensayo a descripciones basadas en el comportamiento del ambiente de exposición al cual la muestra está expuesta (es decir, las condiciones de ensayo). Estos nuevos métodos de ensayo basados en el comportamiento tienen ventajas significativas. Describen el ambiente del ensayo en detalle, promueven mejoras en la tecnología y el control, y fomentan la competencia.

Este documento examina dos diferentes configuraciones de equipo populares para la creación del mismo ambiente de ensayo. Examina la forma en que las diferencias afectan las cuestiones técnicas como el espectro de luz, el control de la irradiación, los tipos de filtros, la humedad, el control de la humedad y de la temperatura, y la calibración. También aborda las consideraciones prácticas como el montaje de las muestras, el mantenimiento y la complejidad en general.

Por último, el documento revisa los datos que validan el concepto que los métodos de ensayo basados en el comportamiento pueden tener éxito, siempre que los sistemas de filtros y las condiciones de exposición comparativos se denan y utilicen de la orma correcta.



In this study, static-array data was compiled using a Q-Sun Xe-3-HS; therefore, all references to "static-array" testers are synonymous with Q-Sun.

Presented at the 1st European Weathering Symposium Prague, Czech Republic in September 2003. Originally titled: "Static & Rotating Xenon Arc Exposures Compared: Technical issue, practical considerations and how different types of hardware comply to the new performance based test methods."

Generalidades

Durante el transcurso de los últimos 10 años, casi todos los protocolos de ensayos de envejecimiento artificial han sido actualizados de descripciones basadas en el equipo del aparato de prueba mismo (por ejemplo, lámpara enfriada por agua, lámpara enfriada por aire, etc.) a descripciones basadas en el comportamiento del ambiente de exposición al cual está expuesta muestra (es decir, el espectro de luz, la irradiación, la temperatura, la humedad relativa, etc.). 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 el ambiente de ensayo crítico. Dado que no podíamos caracterizar adecuadamente las condiciones críticas del ensayo, redactamos métodos que simplemente describían el aparato de prueba. Este método estaba basado con 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. Más recientemente, los avances tecnológicos han permitido que la comunidad científica avance del método viejo y arbitrario basado en el equipo a los nuevos métodos basados en el comportamiento. Este último método es exigido por muchas organizaciones como la ISO y la ASTM. De hecho, las directivas de la ISO exigen que, “siempre que sea posible, los requisitos deberán ser expresados en términos de comportamiento en vez de las características descriptivas o el diseño.” De forma similar, el Instituto de Normalización Nacional (EE.UU.) (ANSI) exige que las normas deben estar “basadas en el comportamiento, especificando las características esenciales en vez de los diseños en detalle.”

Estos nuevos métodos de ensayo basados en el comportamiento ofrecen ventajas significativas al usuario final. Describen el ambiente de ensayo en detalle. Permiten hacer mejoras a la tecnología y el control. Fomentan la competencia. Las directivas de la ISO reconocen los beneficios y afirman, “Este método deja plena libertad para el desarrollo técnico.” A continuación presentamos un resumen de los protocolos de ensayos de envejecimiento artificial con luz de arco de xenón basados en el comportamiento: (Los títulos fueron abreviados).

Tabla 1

Resumen del método de prueba con luz de arco de xenón basado en el comportamiento

ISO 4892, Plásticos - Métodos de exposición a fuentes de luz artificial en laboratorio

ISO 11341, Envejecimiento artificial de pinturas y barnices

ISO 11431, Sellantes para construcción - Productos para juntas - Envejecimiento artificial

ISO 18909, Materiales para imagenología - Películas y copias fotográficas - Estabilidad de la imagen

ISO 12040, Fotorresistencia de las copias impresas y tintas de impresión

AATCC Método de prueba 16, Estabilidad del color a la luz

AATCC Método de prueba 169, Resistencia a la intemperie de los textiles

ASTM C1442, Práctica para las pruebas de envejecimiento artificial en sellantes

ASTM D2565, Práctica para la luz de arco de xenón para plásticos

ASTM D3424, Métodos de ensayo para evaluar la estabilidad del color de material impreso

ASTM D4303, Métodos de ensayo para evaluar la fotorresistencia de pigmentos para arte

ASTM D4459, Práctica para luz de arco de xenón para plásticos de interiores

ASTM D4798, Método de ensayo para envejecimiento artificial de materiales bituminosos (método de luz de arco de xenón)

ASTM D5071, Práctica para luz de arco de xenón para plásticos fotodegradables

ASTM G151, Práctica para la exposición de materiales no metálicos en aparatos de ensayos acelerados

ASTM G155, Práctica para luz de arco de xenón para exposición de materiales no metálicos

¿Conjunto giratorio o estático?

Cuando examinamos la forma en que dos configuraciones de equipo distintas crean el mismo ambiente de ensayo, la diferencia más obvia entre los dos métodos es la forma en que las muestras son expuestas a la luz de arco de xenón. Un método monta las muestras en un tambor giratorio y la otra utiliza un conjunto estático.

Los primeros aparatos de ensayo de estabilidad ante la luz del tipo tambor giratorio fueron desarrollados alrededor del año 1918 y utilizaban un arco de carbón como fuente de luz. Este aparato está provisto de una fuente de luz central o lámpara (lámparas), colocada verticalmente y rodeada de un sistema de filtros. Las muestras se instalan de frente a la luz en un tambor que gira alrededor de la lámpara central como un carrusel. Las versiones más modernas han agregado varias mejoras, pero el concepto básico no ha cambiado nada desde la Primera Guerra Mundial.

La versión de luz de arco de xenón más popular para este aparato de ensayo utiliza un sistema de enfriamiento por agua para su lámpara. Con el fin de abreviar, en este documento nos referiremos a este tipo de aparato de ensayo con luz de arco de xenón enfriado por agua como el "tambor giratorio."

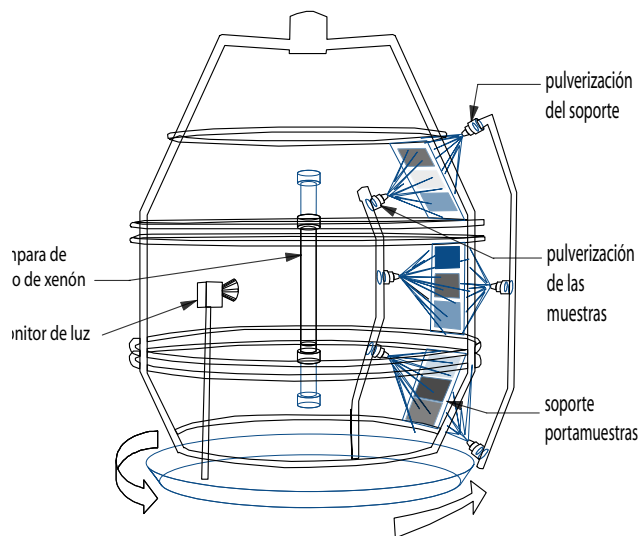
La tecnología más reciente presenta una cámara con una o más lámparas enfriadas por aire montadas en la parte superior. En este sistema, los filtros son planos y van colocados debajo de las lámparas. Un sistema de reflectores incorporado en la parte superior y los lados de la cámara mejora la uniformidad de la irradiación. Las muestras se instalan en una bandeja debajo de las lámparas. La bandeja está ligeramente inclinada para permitir que el agua escurra. Con el fin de abreviar, en este documento nos referiremos a este tipo de cámara de ensayo como el "conjunto estático."

Independiente de las configuraciones de equipo utilizadas, las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón modernas tienen, por lo general, sistemas para regular la intensidad de la luz (irradiación), la temperatura y la humedad relativa. Véanse las figuras 1 y 2.

figura 1

Configuraciones de la cámara de ensayo con luz de arco de xenón

Vista esquemática del tambor giratorio

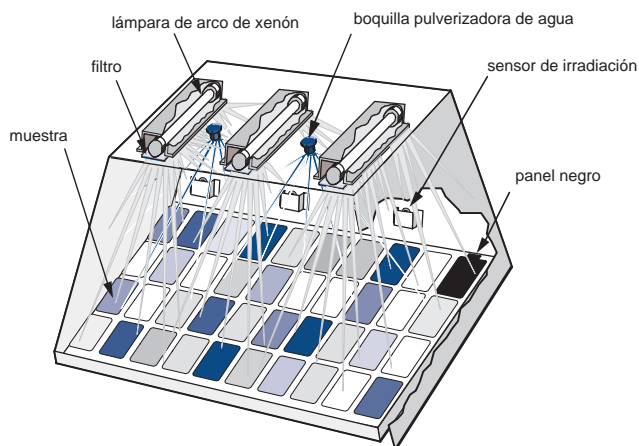


Las muestras se mueven alrededor de una sola lámpara de arco de xenón en un tambor giratorio tipo carrusel.

figura 2

Configuraciones de la cámara de ensayo con luz de arco de xenón

Vista esquemática del conjunto estático



El sistema de control de irradiación de tres lámparas y la zona de exposición plana del conjunto estático facilitan el montaje de las muestras.

Espectro de luz

Las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón son las más populares para probar la estabilidad ante la luz y el envejecimiento artificial de materiales y productos, debido a que la potencia de salida espectral de las lámparas de arco de xenón es muy similar al espectro completo de la radiación solar, incluyendo ultravioleta (UV), luz visible e infrarroja. Cualquier cámara de ensayo de estabilidad a la luz o de envejecimiento artificial debe controlar la calidad de la luz para poder obtener resultados exactos y reproducibles. Los cambios en la intensidad de la luz pueden afectar la velocidad del deterioro del material, mientras los cambios en la distribución espectral pueden afectar tanto la velocidad como el tipo de degradación del material.

La emisión luminosa de la lámpara de arco de xenón es difícil de entender debido a muchas variables incluyendo la transmisión de los filtros, los puntos de control de la irradiación, la intensidad de la irradiación y el envejecimiento de las lámparas. Los sistemas de control de irradiación afectan tanto la intensidad de la luz como su espectro.

Importancia de los filtros ópticos

Las lámparas de arco de xenón sin filtro emiten demasiado radiación ultravioleta de onda corta para permitir la correlación útil con las exposiciones naturales en la superficie terrestre. Por consiguiente, las cámaras de ensayo emplean diversos tipos de filtros ópticos para reducir la radiación indeseada. La opción de filtros utilizados depende del material que se va a probar y la aplicación de uso final. La mayoría de los tipos de filtros afectan mayormente la porción de longitud de onda corta del espectro.

Para apreciar la importancia de las distintas opciones de filtros, es importantísimo entender el significado del límite de longitud de onda corta. La degradación fotoquímica la causan los fotones de luz al romper los enlaces químicos. Para simplificar: por cada tipo de enlace químico hay una longitud de onda de luz umbral crítica con energía suficiente para causar una reacción. La luz de cualquier longitud de onda más corta que el umbral puede romper el enlace, pero las longitudes de onda más largas de luz no pueden, independientemente de su intensidad. Por eso, el límite de longitud de onda corta de una fuente de luz es de suma importancia. Por ejemplo, si un polímero en particular es sensible solamente a la luz ultravioleta inferior a 295 nm (el punto límite aproximado de la luz solar), nunca sufrirá deterioro fotoquímico a la intemperie. Si el mismo polímero es expuesto a una fuente de luz de laboratorio que tenga un límite espectral de 280 nm, se deteriorará. Aunque las fuentes de luz productoras de longitudes de onda más cortas producen pruebas más rápidas, existe la posibilidad de obtener resultados anómalos si la cámara de ensayo produce longitudes de onda no encontradas en el ambiente de uso final del material.

Comparación de los sistemas de filtros ópticos

La cámara de ensayo con luz de arco de xenón de conjunto estático utiliza una o más piezas de vidrio de filtro plano por cada una de sus lámparas de arco de xenón enfriadas por aire. Las cámaras de ensayo de tambor giratorio enfriadas por agua utilizan un sistema diferente que consiste en filtros cilíndricos interno y externo que encajan alrededor de la lámpara de arco de xenón.

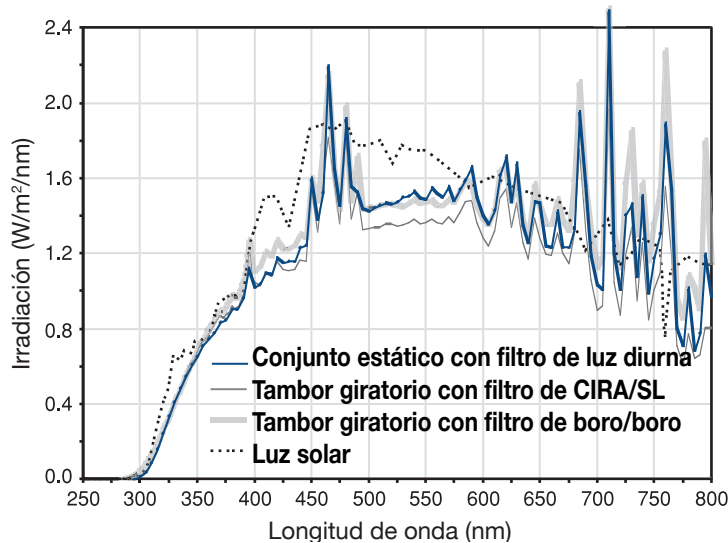
Existen tres tipos de sistemas de filtros comúnmente utilizados en las cámaras con luz de arco de xenón. En la norma G155 de ASTM se les designa como filtros de luz diurna, cristal de ventana y ultravioleta prolongada. Actualmente, los documentos de la ISO utilizan una nomenclatura diferente. Para la luz diurna y luz solar a través de los espectros de cristal de la ventana, la norma 11341 ISO (pinturas) emplea los términos “Método 1” y “Método 2” (respectivamente). La norma 4892-2 de ISO (plásticos) emplea los términos “Método A” y “Método B” para los espectros respectivos. Los espectros de UV prolongada aparecen especificados en varios de los métodos de SAE, pero no en las normas de ISO. La forma más importante en que estos filtros varían es en la transmisión de UV de onda corta y el límite (“cut-on”) espectral. Las cantidades variables de UV de onda corta pueden afectar de forma significativa la velocidad y el tipo de degradación. Los fabricantes de equipos de prueba de envejecimiento artificial frecuentemente usan su propia nomenclatura para los diversos filtros y sistemas de filtros.

Los filtros de luz diurna son los filtros de luz de arco de xenón más comúnmente utilizados y producen un espectro bastante parecido a la luz solar de verano al medio día (algunas veces conocida como máximo solar).¹ Un fabricante de cámaras de ensayo con luz de arco de xenón de conjunto estático llama a su versión de este filtro simplemente un “filtro de luz diurna.” Las combinaciones de filtros comparables, que también cumplen con la definición de un filtro de luz diurna, se llaman de “borosilicato/borosilicato (Boro/Boro) y “CIRA/Soda lima.” Las figuras adyacentes muestran que la distribución de energía espectral (SPD) de la luz solar es comparable a una luz de arco de xenón con el filtro de luz diurna del conjunto estático y una luz de arco de xenón de tambor giratorio con los filtros de boro/boro y CIRA/soda lima. Como puede observarse en la figura superior, tanto los filtros de conjunto estático como los del tambor giratorio generalmente reproducen con bastante aproximación el espectro completo de la luz solar.

Sin embargo, como se muestra en la figura inferior, existen diferencias notorias en la región de luz UV de onda corta. Mientras el filtro de luz diurna de conjunto estático y los filtros de CIRA/SL de tambor giratorio reproducen con bastante aproximación la luz solar, el sistema de filtro de boro/boro del tambor giratorio tiene una longitud de onda de límite anormalmente bajo de aproximadamente 280 nm (mucho más severo que el límite de la luz solar de aproximadamente 295 nm). Esto significa que las muestras están expuestas a luz ultravioleta de longitudes de onda mucho más cortas que si hubieran estado en servicio real a la intemperie. Mientras esto puede producir resultados más rápidos, no es verdaderamente realista, y puede conducir a problemas de correlación para algunos materiales. Los filtros de cristal de ventana están

figura 3

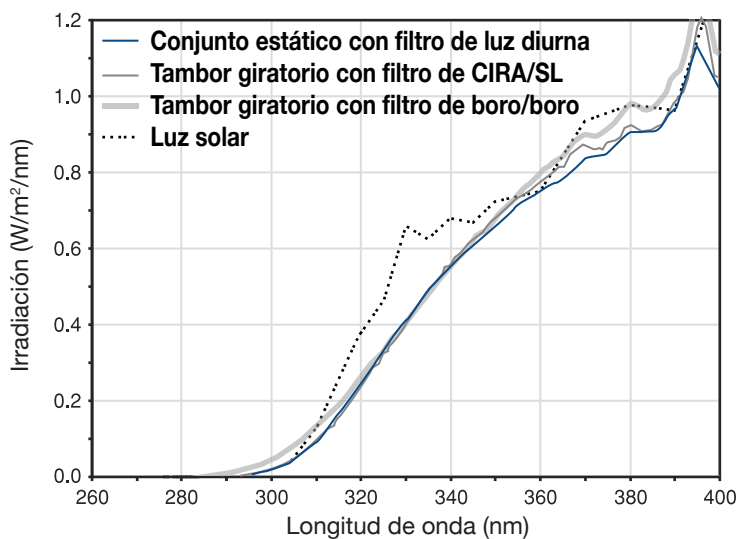
Filtros de luz diurna y luz solar



Varios tipos de filtros de luz diurna reproducen con bastante aproximación el espectro de luz solar completo.

figura 4

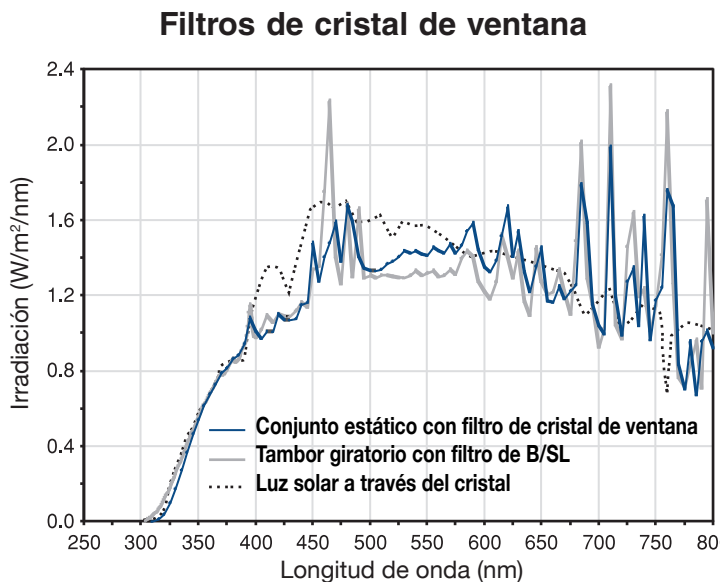
Filtros de luz diurna en la región de UV



Los filtros de boro/boro transmiten luz ultravioleta de longitud de onda corta y no reproducen exactamente el límite de luz solar de 295 nm.

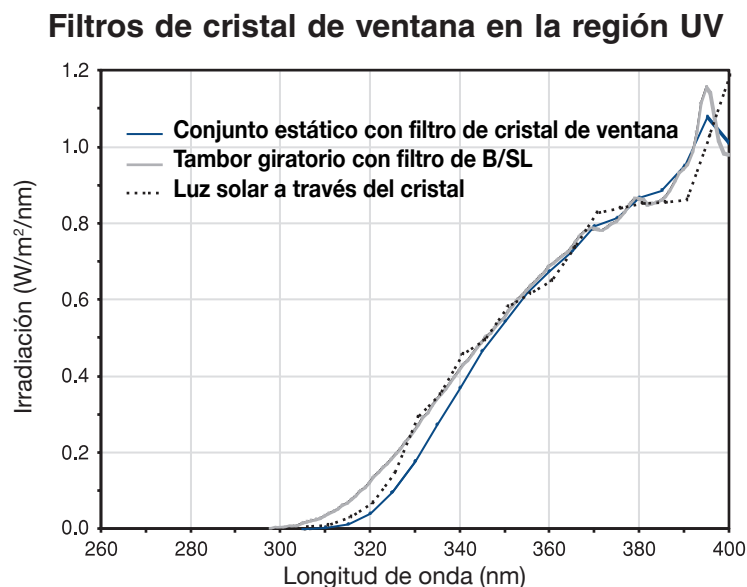
¹ Publicación CIE N° 85: Recomendaciones para la irradiación integrada y la distribución espectral de radiación solar simulada para fines experimentales.

figura 5



Los dos tipos de filtros de cristal de ventana reproducen con bastante aproximación la luz solar natural a través del cristal de la ventana.

figura 6



La pequeña diferencia entre estos dos sistemas de filtros de cristal de ventana no debiera alterar significativamente los resultados de la prueba en cuanto a la decoloración o cambio de color de los materiales de uso interior.

diseñados para simular el espectro de la luz solar pasando a través del cristal de la ventana y típicamente se usan para probar productos cuya vida útil principal será para uso en interior. Los filtros ópticos utilizados en el conjunto estático simplemente se llaman “filtros de cristal de ventana.”

Las versiones de tambor giratorio de estos filtros se venden como “boro-silicato/soda lima (también boro/soda lima, boro/SL, etc.). La figura superior muestra una distribución de energía espectral comparativa de filtros de cristal de ventana en un conjunto estático y en tambor giratorio, comparada con la luz solar filtrada a través de un cristal de ventana. Como se ilustra en la figura,

los dos tipos de filtros de cristal de ventana reproducen con bastante aproximación la luz solar natural a través del cristal de la ventana.

Sin embargo, como se demuestra en la figura inferior izquierda, el filtro de cristal de ventana del conjunto estático es un poco más realista en la región crítica de UV de onda corta. La diferencia puede ser importante para el amarilleo o cambios en las propiedades físicas de algunos materiales. Sin embargo, como la decoloración y el cambio de color son los problemas más comunes para los materiales expuestos en interiores. Y, dado que la decoloración y el cambio de color usualmente son el resultado de una degradación por la luz visible y UV de ondas más largas, esta diferencia no debiera alterar en forma significativa los resultados de la prueba. (Véase a Brennan, et al, 2002, para los resultados del ensayo de exposición real). Los filtros de UV prolongada se

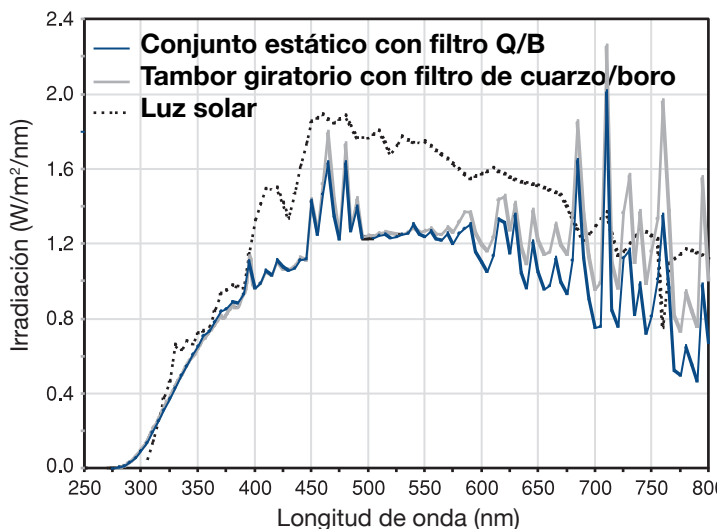
especifican en ciertos métodos de ensayo automotrices que requieren un espectro más severo para obtener resultados de prueba más rápidos. Estos filtros permiten una UV de onda corta muy significativa, bien por debajo del límite de 295 nm de la luz solar. El sistema de filtros de tambor giratorio se conoce como el "cuarzo/borosilicato (también cuarzo/boro)". La versión de conjunto estático se llama "filtro Q/B". Las figuras de distribución de energía espectral adjuntas muestran cómo la luz de arco de xenón con estos filtros se compara con la luz solar.

Como se ilustra, tanto la versión de conjunto estático como la de tambor giratorio de este filtro producen un espectro muy similar, especialmente en la importante región de UV de onda corta. Las dos permiten una UV de longitud de onda significativamente anormal, tan baja como 270 nm. Se podría esperar que estos filtros den resultados equivalentes (Véase Brennan, et al, 2002, para los resultados del ensayo exposición real). La solarización del filtro es una de-

bilidad potencial en las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón. A medida que los filtros de tambor giratorio se envejecen debido a la exposición a la luz UV, pierden su capacidad para transmitir las longitudes de onda de luz más cortas. Este fenómeno se llama solarización. El cambio resultante en el espectro puede afectar la reproducibilidad de los resultados de la prueba. Por consiguiente, los filtros de tambor giratorio deben reemplazarse en intervalos frecuentes. Los filtros del conjunto estático fueron diseñados para que no se solaricen con el uso prolongado. Los filtros de larga duración del conjunto estático fueron probados durante miles de horas sin que sufrieran ninguna

figura 7

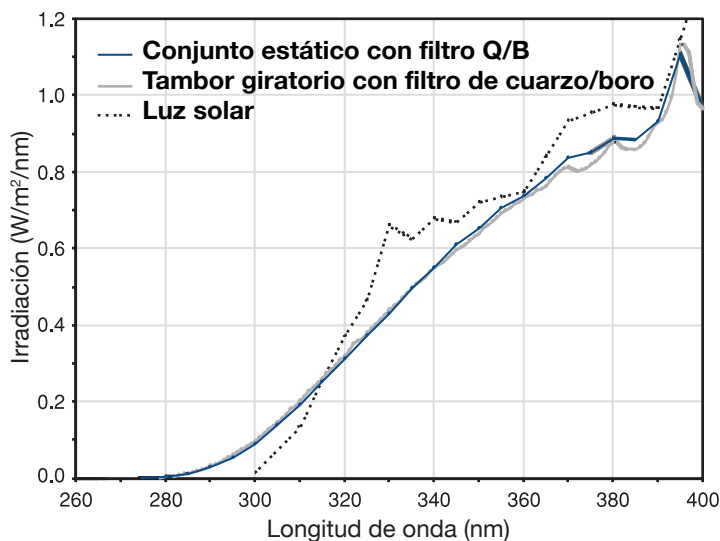
Filtros de UV prolongada



Los filtros de UV prolongada se usan principalmente en ensayos automotrices. Los filtros de conjunto estático y de tambor giratorio proporcionan esencialmente los mismos espectros.

figura 8

Filtros de UV prolongada en la región de UV



Estos filtros son prácticamente idénticos en la región de UV de longitud de onda corta crítica.

pérdida importante de transmisión de UV. Por eso, no es necesario reemplazar los filtros de conjunto estático.

En resumen, la principal ventaja de las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón es su capacidad para reproducir el espectro completo de la luz solar. Como los datos lo han ilustrado, los filtros utilizados en las cámaras de ensayo tipo conjunto estático reproducen la luz solar y la luz solar a través del cristal de ventana con tanta aproximación, o mejor que, los filtros utilizados en las cámaras de ensayo tipo tambor giratorio.

Control de la irradiación

Mientras cualquier lámpara esté en uso, su rendimiento lumínico disminuye con el tiempo. Las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón modernas usan un sistema de control de irradiación de circuito de realimentación para compensar esto. Con estos sistemas, el operador predetermina un nivel deseado de irradiación, y los sensores de irradiación en la cámara miden la luz. A medida que la lámpara envejece y el rendimiento lumínico disminuye, el sistema compensa automáticamente aumentando el vatiaje a la lámpara de arco de xenón.

Aunque en teoría se podría monitorizar y controlar la intensidad de la lámpara de arco de xenón en cualquier punto de su espectro, las bandas de longitud de onda que se utilizan comúnmente son sólo unas pocas. Como regla general, la irradiación debe controlarse en la región espectral donde el material es más sensible (es decir, donde se espera que ocurra la degradación). Sin embargo, el punto de control de la irradiación también puede diferir según la industria y/o la aplicación.

Para el envejecimiento artificial acelerado comúnmente se usa el punto de control de 340 nm porque la región de UV de onda corta es la más dañina para los productos expuestos a la intemperie. El control a 340 nm requiere un sensor de UV provisto de un filtro óptico que acepte solamente UV en una banda angosta centrada a 340 nm. Generalmente, este es un buen punto de control para recubrimientos, plásticos, techumbres, etc. Los niveles de intensidad de irradiación más comunes para las simulaciones de exteriores son de 0.35 ó 0.55 W/m²/nm a 340 nm.

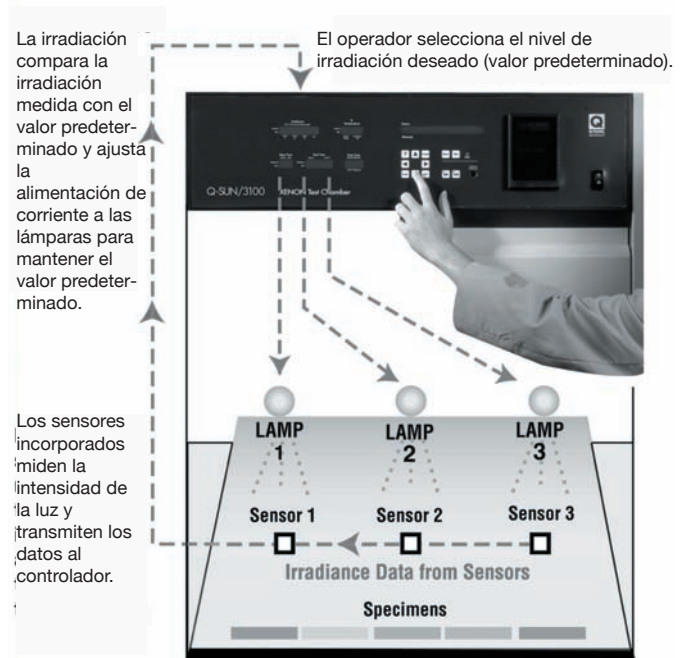
El punto de control de 420 nm se usa típicamente para aplicaciones de estabilidad a la luz interior con filtros de cristal de ventana. El control a 420 nm requiere un sensor de UV provisto de un filtro óptico que acepte solamente UV en una banda angosta centrada a 420 nm. Normalmente, este sistema se usa cuando se prueban materiales dañados principalmente por UV de ondas más largas y luz visible, tales como colorantes y pigmentos en textiles, papeles y tintas. El nivel predeterminado de irradiación más común para simulaciones de interiores es 1.10 W/m²/nm a 420 nm. Típicamente, tanto

las cámaras de ensayo tipo conjunto estático como las de tipo tambor giratorio están provistas de un sistema de control de irradiación de banda angosta ya sea de 340 ó 420 nm. Ciertas cámaras europeas fueron desarrolladas para usar una UV total de banda ancha (ultravioleta total de 300 a 400 nm), o un sensor de irradiación total de banda extremadamente ancha (280 a 800 nm), según el modelo específico. Por naturaleza, los sensores de banda ancha no responden muy bien a los cambios relativamente pequeños en la UV. Esta falta de sensibilidad puede constituir un problema cuando el mecanismo de degradación crítico es impulsado por la porción de UV de onda corta del espectro.

Resumiendo, tanto las cámaras de ensayo de tipo conjunto estático como las de tambor giratorio tienen sistemas de control de irradiación de circuito de realimentación equivalentes. El cumplimiento de los programas de reemplazo de lámparas recomendados reducirá los efectos del envejecimiento de las lámparas. Mediante el uso de sensores que controlan la irradiación ya sea a 340 ó 420 nm, se reduce aún más la cantidad de cambio espectral en una zona en particular.

figura 9

Control de la irradiación en una cámara de ensayo de conjunto estático



Los sistemas de control de irradiación compensan el envejecimiento de la luz de arco de xenón aumentando el vatiaje a la lámpara.

Humedad

Tanto la cámara de ensayo con luz de arco de xenón de conjunto estático como las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón de tambor giratorio simulan los efectos de la humedad exterior, pulverizando agua sobre las muestras del ensayo.

Este método es especialmente bueno para simular los efectos del choque térmico o de erosión mecánica. En la versión de conjunto estático, las muestras están montadas en una bandeja plana que está inclinada en un ángulo de 5° de la horizontal. La pulverización (spray) de agua del conjunto estático cubre las muestras uniformemente y, debido a la posición casi horizontal de las muestras, el agua no se escurre rápidamente. En el conjunto estático, las muestras permanecen húmedas durante todo el ciclo de humedad.

Las versiones de tambor giratorio tienen una barra y boquillas pulverizadoras que rocían las muestras con agua mientras giran frente a ellas. Las muestras son mojadas por aproximadamente 3 segundos de cada revolución de 1 minuto. Algunas cámaras está provistas de 2 barras para pulverizar tanto la parte delantera como la trasera de la muestra simultáneamente. Debido a la posición vertical de la muestra, gran parte del agua se escurre de la superficie. Entre estos humedecimientos, es posible que las muestras se sequen a medida que se alejan girando de la pulverización.

Control de la humedad relativa

Para muchos materiales, el control de la humedad relativa (HR) es considerado crítico y muchos métodos de ensayo exigen su uso. Tanto las cámaras de conjunto estático como las de tambor giratorio pueden equiparse con control de humedad relativa. El control preciso de la HR es difícil debido al gran volumen de aire que debe desplazarse constantemente a través de la cámara para mantener la temperatura de exposición. Para controlar la humedad relativa, se debe monitorizar y controlar la temperatura del aire de la cámara. Las figuras adjuntas ilustran el comportamiento del control de HR del conjunto estático, los controles de la temperatura del aire de la cámara y temperatura del panel negro. El control de precisión de la HR del conjunto estático (patente pendiente) supera los requisitos de los métodos de prueba de la ISO, ASTM, AATCC y SAE, y es superior a los sistemas utilizados en la mayoría de las cámaras de ensayo de tambor giratorio en la industria.

figura 9

Control de la humedad relativa del conjunto estático:

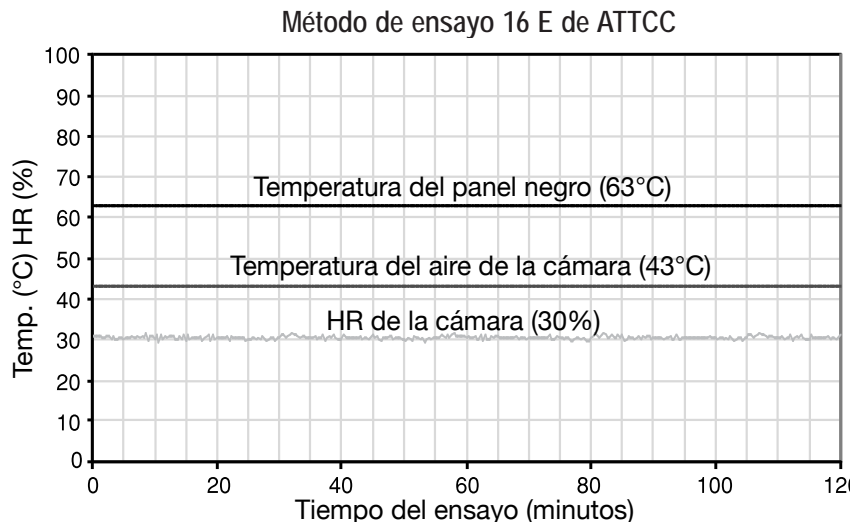
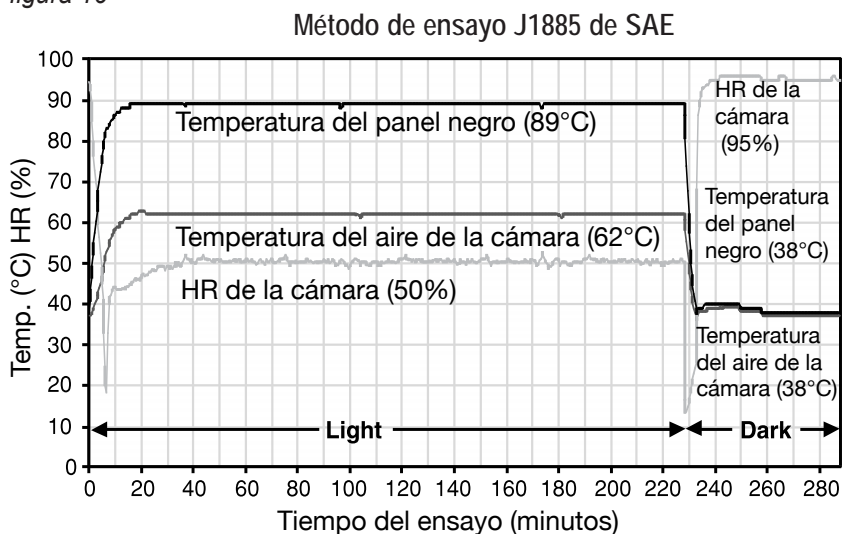


figura 10

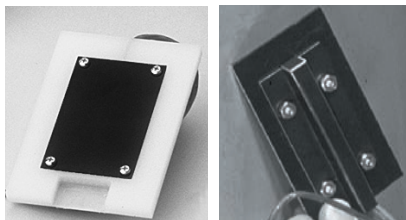


Algunas cámaras de ensayo con luz de arco de xenón pueden controlar la temperatura del panel negro, la temperatura del aire de la cámara y la humedad relativa de la cámara dentro de un rango bastante angosto.

Control de temperatura

El control de temperatura es un parámetro de ensayo crítico, pero que frecuentemente se pasa por alto. Tanto las cámaras de tambor giratorio como la de conjunto estático controlan el ambiente de ensayo regulando la temperatura del panel negro. El sensor del panel negro es simplemente un panel metálico recubierto de color negro con un elemento térmicamente sensible fijado a la superficie. A veces se les conoce como “paneles negros sin aislante.”

Los paneles negros con aislamiento (llamado “estándar negro” en las normas ISO) también están disponibles para las dos versiones de cámaras de ensayo. Estos paneles se fabrican con una base plástica aislante y típicamente indican una temperatura 5 a 10° más elevada que el panel negro sin aislante. Muchos modelos de las cámaras de ensayo de tambor giratorio y de conjunto estático pueden controlar la temperatura del aire de la cámara y también la temperatura del panel negro.



Panel negro con aislante.

Panel negro sin aislante.

Consideración prácticas

Para que sea útil, se espera que una cámara de ensayo proporcione el ambiente de exposición requerido. Sin embargo, hay algunas consideraciones prácticas adicionales que tomar en cuenta al elegir una cámara con

luz de arco de xenón. Después de todo, si una cámara de ensayo es difícil de usar, o su precio de compra, costos operacionales o de mantenimiento son demasiado altos, no servirá de nada, por avanzada que sea la tecnología.

Capacidad y base. La cámara de ensayo de conjunto estático aunque es de tamaño compacto, cuenta con una superficie grande para el montaje de las muestras. Tiene una superficie de exposición de 3232 cm² (501 pulg²). Esto equivale a casi un 50% más de superficie de exposición que las cámaras de tambor giratorio con una base similar. Véase la tabla 2.

Tabla 2

Comparación del tamaño y la capacidad

valores (cm ²)	Tambor giratorio A	Conjunto estático	Tambor giratorio B	Tambor giratorio C	Tambor giratorio D
Capacidad de muestras	2187	3232	6181	6600	11000
Base	7110	8361	12503	12903	20729

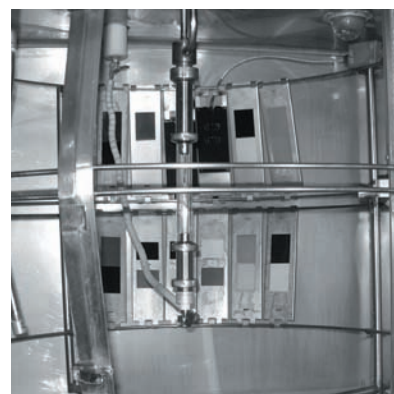
Montaje de las muestras. La bandeja deslizante para muestras del conjunto estático permite el montaje más rápido, fácil y flexible de las muestras que el tambor giratorio. La bandeja acepta distintos tamaños de paneles planos o muestras tridimensionales como piezas, componentes, botellas y tubos de ensayo. La bandeja plana también es útil para el ensayo de materiales que fluyen a temperaturas elevadas, para exponer sustancias expuestas en placas petri, y para formación de pozas de agua (humectación) en aplicaciones de techumbres. En las cámaras de tambor giratorio solamente se pueden montar paneles planos en posición vertical. Las muestras deben sujetarse con pinzas en portamuestras especiales para colgarlas en el bastidor de exposición.



La bandeja deslizante para muestras del conjunto estático simplifica el montaje de las muestras.



El conjunto estático acepta piezas tridimensionales.



Los portamuestras del tambor giratorio aceptan muestras planas.

Mantenimiento. La cámara de ensayo con luz de arco de xenón de conjunto estático fue diseñada para que su mantenimiento sea fácil. Las lámparas son fáciles de alcanzar y de reemplazar. Los filtros del conjunto estático no necesitan reemplazarse. Todo el mantenimiento normal se hace desde la parte delantera de la cámara. Con las cámaras de tambor giratorio, las lámparas enfriadas por agua y los filtros se encuentran mal ubicados. Es necesario retirar las muestras para el reemplazo periódico programado de las lámparas y filtros.

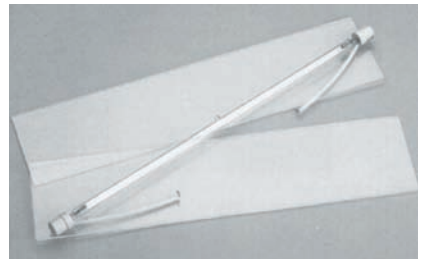
Lámparas enfriadas por aire versus enfriadas por agua. Además de iluminación, las lámparas de arco de xenón producen mucho calor de las emisiones visible e infrarroja. Esto crea ciertas dificultades para el funcionamiento y el mantenimiento. El conjunto estático quita el calor sobrante mediante el movimiento de grandes volúmenes de aire a través de la envuelta de la lámpara. Este mecanismo sencillo y barato se conoce como enfriamiento por aire. El tambor giratorio usa un sistema de lámparas enfriadas por agua. Debido a que el agua es un excelente agente termotransferente, esto es muy eficiente. Por consiguiente, se puede hacer funcionar las lámparas del tambor giratorio a un vatiaje muy alto para producir una irradiación alta. Sin embargo, el sistema de enfriamiento por agua tiene varias desventajas.

Desventajas del sistema de enfriamiento por agua

1. El aparato de lámpara/filtro se vuelve un poco complicado, con filtros internos, filtros externos, etc.
2. El agua de enfriamiento está en estrecha proximidad con la electricidad de alto voltaje, por lo tanto, para mayor seguridad, los conectores y sellos deben ser muy precisos y durables.
3. Debido a los conectores especiales, etc., las lámparas pueden ser muy caras.
4. El agua de enfriamiento debe ser muy pura para reducir las impurezas depositadas en las lámparas y los filtros.
5. El agua de enfriamiento debe enfriarse utilizando un refrigerador.
6. Las bombas de agua son un problema de mantenimiento.



El acceso frontal facilita el reemplazo de las lámparas.



Las lámparas enfriadas por aire de bajo costo son fáciles de instalar y reemplazar.



Los filtros y las lámparas de arco de xenón enfriadas por agua son muy eficientes, pero también son complicados.

Calibración de la irradiación. El sistema de calibración de la irradiación del conjunto estático utiliza un radiómetro y sólo tarda unos pocos minutos en ejecutarla. Para calibrar los sensores del conjunto estático, el elemento sensor del radiómetro se coloca en la bandeja de montaje, en la misma posición que una muestra típica. Su cable de transferencia de datos se enchufa en el puerto de calibración ubicado en la parte frontal del tablero de instrumentos. La calibración se lleva a cabo pulsando una tecla cuando el radiómetro mide el rendimiento lumínico de la lámpara y envía una señal al sistema de control a bordo, el cual ajusta automáticamente la calibración de acuerdo a ello.² No hay oportunidad para que ocurra error humano transcribiendo o transponiendo los números. Las lámparas y los filtros permanecen en su lugar durante el procedimiento.

En las cámaras de tambor giratorio, la calibración de la irradiación es un procedimiento multietápico que utiliza una lámpara de calibración especial:

1. Hay que retirar la mayoría de las muestras.
2. Hay que retirar la lámpara de operación y los filtros.
3. Hay que instalar una lámpara calibrada.
4. Hay que comparar la irradiación de la lámpara calibrada con un valor predefinido (valor calibrado).
5. El operador tiene que ajustar la instrumentación para hacer coincidir el valor medido y el valor calibrado.
6. Hay que retirar la lámpara calibrada.
7. Hay que volver a instalar la lámpara de operación y los filtros.
8. Hay que volver a montar las muestras antes de reanudar la exposición.



Con el radiómetro la calibración de la irradiación puede ser rápida y fácil.

Resumen y conclusiones

Estos nuevos métodos de ensayo basados en el comportamiento tienen ventajas significativas para la industria. Describen el ambiente de ensayo en detalle. Dejan abierto el campo de los ensayos de envejecimiento artificial a mejoramientos en la tecnología y el control. Ofrecen al usuario una nueva facilidad de elegir entre una cantidad de modelos diferentes de cámaras de ensayo con luz de arco de xenón, elaborados por diversos fabricantes.

Este documento ha ilustrado que todos los parámetros críticos del ensayo incluyendo el espectro de luz, la intensidad de la luz (irradiación), la temperatura del aire de la cámara, la temperatura del panel negro y la humedad relativa, se pueden controlar y reproducir en cámaras de ensayo que emplean configuraciones de equipo significativamente diferentes.

El apéndice 1 es un ejemplo de los resultados de un ensayo comparativo entre las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón de tambor giratorio y las de conjunto estático.

² Sistema Auto Cal patentado

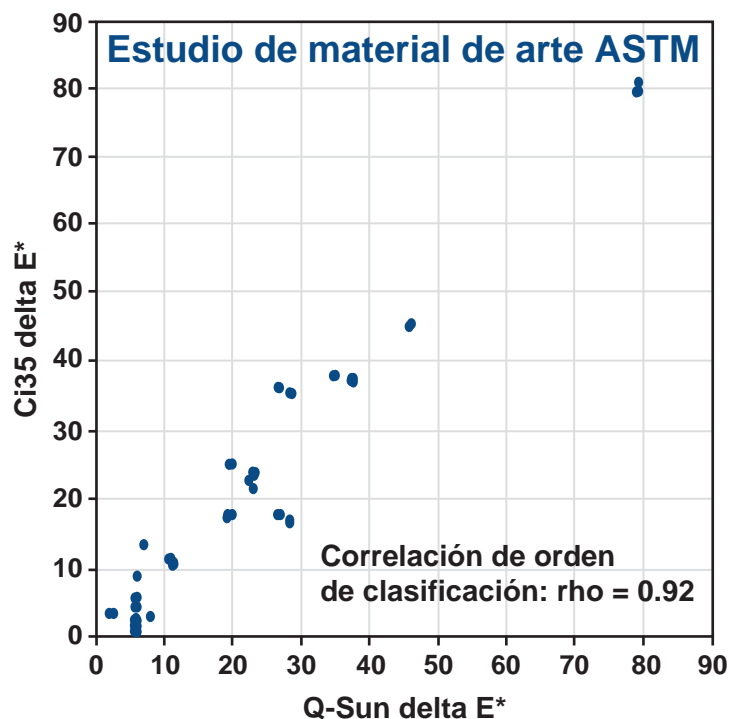
Apéndice 1

Semejanza de los resultados entre las cámaras de ensayo de envejecimiento artificial

Estudios realizados por el Comité G03 de ASTM sobre el envejecimiento a la intemperie y la durabilidad, compararon la consistencia de los resultados de diversos modelos de cámaras de ensayo con luz de arco de xenón de tambor giratorio enfriadas por agua elaborados por un solo fabricante.

El estudio encontró que había un 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, “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 más detallado de estos y otros resultados relacionados, consulte una serie de documentos publicados por Fischer y Ketola (1993-1995).

Un estudio más reciente documenta los resultados de una serie de ensayos de comparación entre las cámaras de ensayo de tambor giratorio y de conjunto estático. Estos ensayos investigaron una cantidad de tipos muy diferentes de muestras variando de textiles, a pinturas a plásticos.³ Típico de los ensayos de comparación fue uno que estudió la estabilidad a la luz de diversos colores de artistas que fueron expuestos en varios modelos diferentes de luz de arco de xenón. Como se indica a continuación, hubo una excelente concordancia entre los distintos aparatos.



En general, “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.

³ Para una comparación detallada de los resultados del ensayo de comportamiento de los distintos equipos, véase a Brennan, et al (2002)

Apéndice 2

Resumen de los fabricantes y modelos

Existen numerosos fabricantes y múltiples estilos y modelos de cámaras de ensayo con luz de arco de xenón de conjunto estático y de tambor giratorio. Entre las cámaras de tipo tambor, algunos 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 emplean diversos sistemas y métodos para controlar los parámetros de ensayo críticos de: la intensidad de la irradiación, uniformidad de la irradiación, temperatura del panel negro, temperatura del aire de la cámara, uniformidad de la temperatura, humedad relativa, flujo de aire, etc. A continuación damos un breve lista de algunos de los modelos de cámaras de ensayo más populares..

Fabricante	Tambor giratorio	Conjunto plano	Enfriado por aire	Enfriado por agua
Suga	WEL-6X-HC-B-Ec			X
	WEL-45AX-HC			X
	FAL-25AX-HC			X
		Table Sun	X	
Atlas	Ci35			X
	Ci65			X
	Ci3000			X
	Ci4000			X
	Ci5000			X
Heraeus	Xenotest 1200		X	
	Xenotest 150		X	
	Xenotest Alpha		X	
	Xenotest Beta		X	
		Suntest	X	
Q-Panel		Q-Sun Xe-3	X	
		Q-Sun Xe-1	X	

Los datos utilizados en este documento para el modelo de conjunto estático se recopilaron utilizando cámaras de ensayo con luz de arco de xenón Q-Sun (modelo Xe-3) fabricadas por Q-Panel Lab Products. Los datos para el tambor giratorio fueron recopilados utilizando cámaras de ensayo Ci35, Ci65 y Ci4000 fabricadas por Atlas Electrical Devices Company.

Apéndice 3

Una nota sobre la medición de la luz

Para todas las mediciones se usó un espectroradiómetro. Las mediciones del conjunto estático se tomaron en la cámara Q-Sun Xe-3 de conjunto estático. Las mediciones del tambor giratorio se tomaron en varias cámaras de ensayo Ci35, Ci65 y Ci4000 en varios laboratorios diferentes.

La irradiación se midió en cada 1 nanometro (nm) en la región UV y cada 5 nm en la región visible. Las curvas de distribución de energía espectral resultantes se trazaron como gráficos de irradiación versus longitud de onda. Las mediciones se tomaron con el sensor en la misma posición que una muestra corriente, de tal modo que la irradiación medida fuera igual que la recibida por una muestra. Todas las mediciones se tomaron con el mismo instrumento para garantizar que los diversos datos fueran estrictamente comparables. (Las comparaciones de las distribuciones de energía espectral por diferentes espectroradiómetros pueden llevar a confusión, debido a las diferencias en la óptica de entrada, los pasos de banda de longitud de onda y las limitaciones en la tecnología en las calibraciones de la irradiación espectral de las fuentes de UV.)

El instrumento que se utilizó fue un espectroradiómetro International Light IL 700, N° 504, consistente en los siguientes componentes indicados a continuación:

Óptica de entrada: Difusor de coseno de teflón para ángulo visual amplio

Monocromador: Kratos GM-200, monocromador de doble red con paso de banda calibrado de 1.0 nanometro, y menos de 1 parte por millón de luz difusa

Detector: PM 270C Photo-multiplier, con una respuesta S-5, accionado desde una fuente de alimentación IL 760.

Picoamperímetro: Radiómetro IL 700A

Calibración: Watts por metro por nanometro, trazable al Certificado de Calibración N° 404045901de US NIST.

Bibliografía

- Brennan, P., Fedor, G., and Roberts, R. (2002). Xenon Arc Exposure Results: rotating and static specimen mounting systems compared. 5th International Symposium on Weatherability Weatherability. Japan: Materials Live Society.
- 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 30.
- Gaithersburg, MD: NIST.
- Ketola, W., Skogland, T., and Fischer, R. Effects of filter aging on the spectral power distribution of xenon arc lamps. ASTM STP 1294. 1995.
- AATCC Método de prueba 16, Estabilidad del color a la luz
- AATCC Método de prueba 169, Resistencia a la intemperie de los textiles
- ASTM C1442, Práctica normal para la ejecución de ensayos en sellantes utilizando aparatos para envejecimiento artificial.
- ASTM D2565, Práctica normal para la operación de cámaras de exposición a la luz tipo arco de xenón con y sin agua para la exposición de plásticos.
- ASTM D3424, Métodos de ensayo normales para evaluar la estabilidad del color de material impreso.
- ASTM D4303, Métodos de ensayo normales para evaluar la fotorresistencia de pigmentos para arte
- ASTM D4459, Práctica normal para la operación de un aparato de exposición a la luz tipo arco de xenón de fotorresistencia acelerada para la exposición de plásticos de uso interior.
- ASTM D4798, Método de ensayo normal para procedimientos y condiciones de ensayo de envejecimiento artificial acelerado para materiales bituminosos (métodos de luz de arco de xenón).
- ASTM D5071, Práctica normal para la operación de cámaras de exposición a la luz tipo arco de xenón con agua para la exposición de plásticos fotodegradables..
- ASTM G151, Práctica normal para la exposición de materiales no metálicos en cámaras de ensayo acelerado que utilizan fuentes de luz artificial de laboratorio.
- ASTM G155, Práctica normal para la operación de cámaras con luz de arco de xenón para exposición de materiales no metálicos.
- ISO 4892-2, Plásticos - Métodos de exposición a fuentes de luz artificial de laboratorio - Parte 2: Fuentes de luz de arco de xenón.
- ISO 11341, Pinturas y barnices - Envejecimiento artificial y exposición a radiación artificial - Exposición a radiación de arco de xenón filtrada..
- ISO 11431, (Sellantes) Construcción de edificios - Productos para juntas - Determinación de las propiedades de adhesión/cohesión de los sellantes después de la exposición al calor, al agua y a la luz artificial a través de vidrio.
- ISO 18909, Materiales para imagenología - Películas y copias fotográficas en color reveladas - Métodos para medir la estabilidad de la imagen.
- ISO 12040, Tecnología de la industria gráfica - Copias impresas y tintas de impresión - Evaluación de la fotorresistencia utilizando luz de arco de xenón filtrada.
- SAE 1885, Exposición acelerada de componentes de guarnición interior de automóviles utilizando una cámara con luz de arco de xenón enfriada por agua y de irradiación controlada..
- SAE J1960, Exposición acelerada de materiales de exterior de automóviles utilizando una cámara con luz de arco de xenón enfriada por agua y de irradiación controlada.

Los métodos de ensayo están disponibles a través de las siguientes organizaciones:

AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709, USA.

ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken PA 19425, USA.

ISO, Case Postale 56, CH-1211 Geneve 20, Switzerland.

SAE International, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096.

Notas:

Q-Panel, Q-Sun, Auto Cal y Solar Eye son marcas comerciales registradas de Q-Lab Corporation.

Weather O Meter y Fade O Meter son marcas comerciales de Atlas Electric Devices.

Q-Lab Corporation

www.q-lab.com



**Q-Lab Headquarters
& Instruments Division**
800 Canterbury Road
Cleveland, OH 44145
Tel. 1-440-835-8700
Fax: 1-440-835-8738

Q-Lab Europe
Express Trading Estate,
Farnworth, Bolton
BL4 9TP, England
Tel. 011-44-1204-861616
Fax: 011-44-1204-861617

Q-Lab China
Room 1809/1810
Liangyou Bldg.
618 Shangcheng Rd.
Pudong District
Shanghai, China 200120
Tel. 011-86-21-5879-7970
Fax: 011-86-21-5879-7960

Test Service Division

Q-Lab Florida
1005 SW 18TH Ave.
Homestead, FL 33034
Tel. 1-305-245-5600
Fax: 1-305-245-5656

Q-Lab Arizona
24742 W. Durango St.
Buckeye, AZ 85326
Tel. 1-623-386-5140
Fax: 1-623-386-5143