

# ELEMENTOS PARA LA ILUMINACIÓN DE BIENES CULTURALES<sup>1</sup>

Alberto Sepulcre Aguilar \*

Este artículo intenta aproximar a los restauradores y conservadores a los criterios de iluminación interior de los bienes culturales. Para ello se repasan conceptos básicos de física y luminotecnía, necesarios para explicar los condicionantes de esta clase de iluminación. Se analizan los tipos de control del daño producido por la luz sobre los objetos. Finalmente, se explican las clases de fuentes luminosas y sus criterios de uso en museos y galerías de arte, haciendo especial mención de los sistemas de iluminación mediante conductores luminosos.

**Palabras clave:** Daño luminoso, factor perjudicial, fotodeterioro, fuentes luminosas, fibra óptica, iluminación, luminotecnía, razón térmica, bienes culturales.

## ELEMENTS FOR THE ILLUMINATION OF CULTURAL PROPERTY

The purpose of this article is to give restorers and conservators an overview of existing criteria governing the interior lighting of cultural property. Some basic concepts concerning physics and lighting engineering are analyzed in order to explain the determining factors of this kind of lighting. The article also deals with the different ways of controlling the damage light produces on objects. Finally, an explanation of types of light sources and criteria for their use in museums and galleries is provided, with special emphasis on lighting systems based on light conductors.

**Key words:** Light damage, damage factor, Photodeterioration, Light sources, Optical fiber, Lighting, Lighting engineering, Thermal ratio, Cultural property

A pesar de que hoy en día ya se encuentran incluidas en el plan de estudios de la diplomatura de conservación y restauración de bienes culturales asignaturas como *museografía* o, más específicamente aún, *depósito, traslado y exposición de los bienes culturales* que incluyen, entre otros temas, el estudio de las instalaciones para la exposición o depósito de obras de arte, todavía parece oportuno dar una visión global de la iluminación de los bienes culturales, para aquellos que trabajan con estos objetos.

En ámbitos museísticos se manejan recomendaciones sobre el nivel máximo de iluminación que admiten unos u otros tipos de obras, e incluso, el índice de radiación uv admisible en relación al flujo de cada lámpara, pero no queda muy claro hasta que punto se comprende el significado de estos parámetros en la iluminación de las obras.

Tomando como funciones principales del museo: proteger, estudiar y mostrar los bienes que posee, su iluminación debe fundamentarse en la conjunción de los factores de divulgación frente a los de conservación. La luz es una de las causas más importantes de alteración de los materiales, pero también es imprescindible para la percepción visual de los objetos, por lo que deberán compaginarse ambas circunstancias para conseguir el equilibrio necesario entre calidad de la exposición y durabilidad.

El estudio de la iluminación del museo reviste una complejidad que excede al fenó-

meno físico de la luz. Al interesarnos la percepción visual de las obras, entra en juego la presencia humana, por ello será necesario estudiar factores tanto físicos (teoría cuántica, movimiento ondulatorio, radiación electromagnética, etc.), como fisiológicos (estructura del ojo, deslumbramiento, daltonismo, patología de la visión, etc.) o incluso psicológicos (fotofobia, inducción cromática, contraste sucesivo, metamerismo, etc.).

## Comportamiento físico de la luz

Antes de empezar a considerar los condicionantes específicos de la iluminación de obras de arte, veamos algunos conceptos generales.

La luz es la parte de la energía radiante, es decir, emitida, transportada o recibida en forma de radiación de ondas electromagnéticas o de partículas, detectable por el ojo humano (De las Casas, González y Puente; 1991: 16). Esto supone una franja muy estrecha dentro del espectro electromagnético, que va de los 780 nm a los 380 nm de longitud de onda.

Lógicamente, cualquier tipo de radiación luminosa difícilmente se va a ceñir a este corto margen, por lo que es habitual que le acompañen mayor o menor cantidad de radiaciones por encima o por debajo de estos límites visibles (infrarrojo y ultravioleta respectivamente), cuya incidencia en la con-

\* Arquitecto.  
Profesor de la E.S.C.R.B.C.

servación de las obras de arte comentaremos posteriormente.

Pero además de estos conceptos físicos más o menos abstractos, hemos dicho que nos interesa la luz en su interacción con los objetos que ilumina, desde la percepción del hombre, por lo que el sistema a estudiar será: luz (fuente luminosa)- objeto (obra de arte)- hombre (visión).

Dentro de este conjunto todos los elementos son indispensables. Hemos dicho que necesitamos la luz para poder ver los objetos, pero también necesitamos a los objetos para poder ver la luz. O lo que es lo mismo, la luz no la percibimos por incidencia directa sobre nuestros ojos, normalmente, sino por reflexión sobre los objetos, paredes, techos, etc.

Se ha de distinguir entre la luz directa (unidireccional) y la luz difusa (multidireccional). Esta segunda es más fácil de percibir<sup>2</sup>, y se produce por la propia fuente luminosa, o por reflexión sobre una superficie difusora (mate, rugosa,...), o por transmisión a través de un material difusor (filtro, nubes, tejido,...).



Fig. 1. Superficie reflectante y superficie difusora.

Por estas características, la luz difusa (iluminación blanda) suaviza los contornos, reduce los contrastes, disminuye el modelado, elimina las texturas y no produce sombras. La luz directa se comporta justamente al contrario (iluminación dura), y es mucho más difícil de controlar, por las distorsiones de los objetos que es capaz de producir, y por la tendencia física de la luz a dispersarse, a medida que atraviesa materiales no perfectamente transparentes, o se refleja en superficies no perfectamente pulidas<sup>3</sup>.

Uno de los factores fundamentales para iluminar, por lo dicho, es conocer la absorción, la transmitancia y la reflectancia de los objetos, que serán responsables de la amortiguación, de la conducción o de la reflexión de la luz, en el último caso.

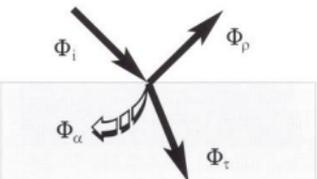


Fig. 2. Absortancia, transmitancia y reflectancia.

$$\alpha = \Phi_{\alpha} / \Phi_{i}, \tau = \Phi_{t} / \Phi_{i}, \rho = \Phi_{p} / \Phi_{i}$$

de donde:  $\alpha + \tau + \rho = 1$

Veremos más o menos luminoso un objeto cuanto mayor sea su reflectancia frente a su absorción y a su transmitancia.

### Luz y color

El color es otra cualidad característica de los objetos que se ha estudiado desde antiguo, dando lugar a las diferentes teorías del color (Newton, Goethe, Hölzel, Munsell, Young-helmholtz, Klee, Itten,...), cuyo desarrollo excede los límites de este trabajo. Sólo consideraremos su relación con la iluminación.

Hay que comenzar distinguiendo entre las mezclas de color aditivas y sustractivas. Al igual que vemos los objetos por reflexión de la luz, el color también. El color de los objetos (tal como ocurre con los pigmentos) lo percibimos por "sustracción" del resto de colores que no vemos<sup>4</sup>, mientras que el color de la luz lo vemos por "adición" de radiación de distintas longitudes de onda<sup>5</sup>.

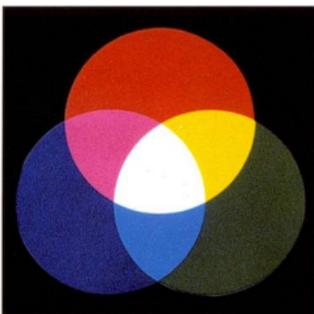
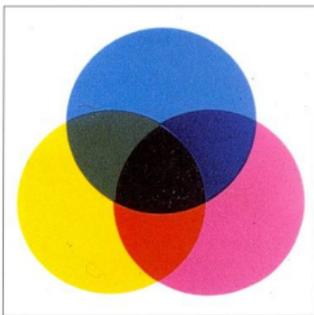


Fig. 3. Mezclas de color sustractiva y aditiva

### Notas al texto

- Se comentará principalmente la iluminación interior de museos y galerías de arte, aunque se considerarán las posibilidades de la luz natural de origen solar introducida a través de ventanas, lucernarios, etc.
- Al desplazarse espacialmente según múltiples direcciones, habrá más posibilidad de incidencia sobre nuestros ojos.
- Baste considerar la dificultad de obtención (y su precio) de lentes y espejos en óptica, para evitar estos efectos difusores.
- Así, un objeto de color amarillo será aquel que absorba el magenta y el cian.
- Una luz de color rojo, será aquella que no contenga radiación luminosa de color azul, ni de color verde.

## Notas al texto

- 6 Es interesante hacer notar que, lógicamente, los colores primarios de la mezcla aditiva son los secundarios de la mezcla subtractiva y viceversa.
- 7 Se habla de radiación visible, puesto que la radiación incidente no ha de estar necesariamente entre los límites de la radiación luminosa para producir efectos visibles. Este es el caso de la fotoluminiscencia, donde una radiación no visible, se *desvela* reflejada o transmitida con otra longitud de onda, en forma de luz visible.
- 8 En realidad a la temperatura de color que mide un valor medio de un espectro, se le denomina: temperatura de color correlacionada.
- 9 Unidad de temperatura que, con una gradación centígrada, comienza a partir del cero absoluto (- 273,15 °C), de manera que no se puedan producir valores de temperatura negativos.
- 10 El cuerpo negro es un modelo teórico con una absorptancia de valor 1 (transmitancia y reflectancia cero), por lo que también se le define como el radiador perfecto. En la práctica se utiliza un patrón similar a este modelo. Podría considerarse como valor de la temperatura de color, la temperatura del filamento de tungsteno de una lámpara incandescente.
- 11 Además de la menor temperatura de color de las lámparas, se añade el color cálido de las paredes que aumenta la tonalidad de la luz por reflexión.

De manera que la suma de colores en pigmentos, tiende al negro, mientras que la suma de colores en la luz, tiende al blanco. El conocimiento de estos mecanismos de funcionamiento, aparte de otras interesantes posibilidades artísticas, significa el control de los resultados que se producen con las mezclas de luces, muy diferentes a las mezclas de color con los materiales pictóricos<sup>6</sup>.

Hemos hablado del color de los objetos, y hemos dicho que se produce al absorber parte de la radiación luminosa recibida de determinada longitud de onda y reflejar otra parte, que es la que podemos percibir visualmente. Por tanto, el color de los objetos dependerá de que la energía luminosa recibida contenga, dentro de la radiación visible<sup>7</sup>, toda la gama de frecuencias o longitudes de onda, pues difícilmente podría reflejar algo que no le llegara desde la fuente luminosa.

De manera que, para poder caracterizar de forma precisa un color, es necesario utilizar una fuente luminosa patrón, mientras que en la mayoría de los casos vemos los colores de los objetos distorsionados en función de la iluminación que reciben.

Desde un punto de vista luminoso, el color que produce la luz viene determinado por dos parámetros: su *temperatura de color* (Tc) y su *índice de reproducción cromática* (Ra).

La temperatura de color mide la tonalidad media de la luz<sup>8</sup>. Se define como la temperatura en Kelvin<sup>9</sup> a la que habría que calen-

tar un cuerpo negro<sup>10</sup>, para que emita una radiación luminosa cuyo efecto cromático sea igual al de la luz considerada.

Esto nos permite medir como tiñe la luz a los objetos, aunque perceptivamente es muy difícil distinguir matices de color si no hay una referencia directa. Baste como ejemplo, la considerable diferencia de tonalidad entre la iluminación de las salas del Museo del Prado y las de la Fundación Thyssen, siendo la de estas últimas mucho más cálida<sup>11</sup>, no es percibido así conscientemente por el público aunque se visiten consecutivamente.

Aunque, en realidad, la percepción tonal de la luz por el ojo humano depende del nivel de iluminación (ver diagrama de Kruithof). Esto es debido a que las grandes fluctuaciones de iluminación hacen trabajar en mayor o menor medida a los dos tipos de terminaciones fotosensibles de la retina del ojo: los conos y los bastoncillos. Sus respuestas de sensibilidad máxima a las distintas longitudes de onda son distintas, 555 nm (verde) y 508 nm (azulado) respectivamente. Se producirá una sensación de color dependiente del predominio de unas u otras, ya que, al contrario de la creencia tradicional, los bastones participan no sólo en la visión escotópica, sino también en la fotópica (Berman, 1995). De ahí, que iluminaciones con temperaturas de color de 6000 K, que al exterior parecen blancas, en interiores con niveles medios de luz parezcan azuladas. En

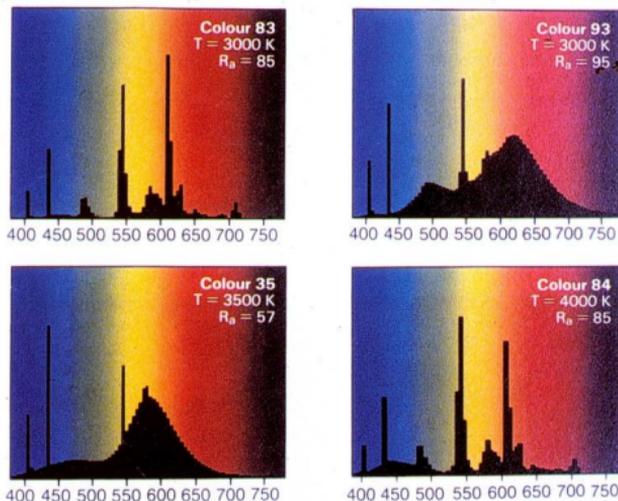


Fig. 4 Diagramas de distribución espectral de energía de distintas lámparas. (Philips, 1993)

los museos, con niveles mucho más bajos (200 lx), es necesario bajar hasta 3500 K - 4100 K para que parezcan blancas y no se produzca la sensación de dominantes azuladas (McGuire, 1996).

Pero, volviendo al mecanismo descrito de percepción del color, necesitamos conocer también el grado de homogeneidad de la distribución de energía según cada longitud de onda de la radiación luminosa (diagrama de distribución espectral de energía), esto es, cuanto hay de cada color en la luz que recibe cada objeto, a fin de saber el grado de fiabilidad del color que refleja.

Téngase en cuenta que la tonalidad cromática media de una iluminación podemos obtenerla por infinitas sumas de unos pocos colores de gran intensidad, o de muchos colores de pequeña intensidad.

Dicho de otra manera, la posibilidad de reproducción del color de una obra depende de un alto rendimiento de color de las lámparas con que se ilumine. En este sentido, la luz natural es la que tiene una distribución espectral más homogénea, mientras que en las lámparas artificiales, depende mucho del sistema de funcionamiento, como se verá más adelante. El sistema de medida consiste en la comparación de 8 valores ( $R_d$ ) o 14 valores ( $R_{14}$ ) entre el espectro de una lámpara patrón y la lámpara considerada.

### Conceptos de iluminación

Cuando se habla de iluminación hay que diferenciar varios parámetros luminotécnicos que a menudo se confunden.

La radiación de una fuente luminosa, medida en forma de *flujo luminoso*, cantidad de energía que emite por unidad de tiempo (se mide en lúmenes), que se distribuirá espacialmente con diferentes intensidades.

Esto producirá un nivel de iluminación (luminancia) que podemos medir sobre la superficie de los objetos como el flujo luminoso incidente por unidad de superficie de la misma (se mide en lux, equivalente a  $lm/m^2$ ). Pero como hemos dicho, este parámetro no es perceptible por el ojo humano. Se puede utilizar para limitar el daño que produce la luz sobre los objetos<sup>12</sup>, pero no permite saber si esta iluminación va a producir una mayor o menor claridad del objeto<sup>13</sup>.

Para este fin, se utiliza el concepto de luminosidad (luminancia), que es la intensidad luminosa producida o reflejada por una superficie, por unidad de superficie aparente de la misma (que se mide en  $cd/m^2$ ).

Normalmente se manejan tablas de luminancias, por ser mucho más sencillas de medir instrumentalmente, aunque perceptiblemente observemos niveles de luminancia. Además, no necesariamente un mayor nivel de iluminación produce una mayor

luminosidad, ya que aparte, dependerá de la reflectancia de la superficie, de la orientación espacial de esta, de la distribución de intensidades (curvas fotométricas de la lámpara), etc.

La luminancia es fundamental para la percepción visual, ya que los distintos grados de luminosidad, producen el contraste que nos permite la distinción entre figura y fondo, y por tanto, ver. La homogeneidad en este caso, no es deseable, aunque también se debe limitar el grado de contraste para controlar el efecto dramático de la iluminación. Por otra parte, un elevado grado de contraste puede producir deslumbramiento que, como poco<sup>14</sup>, siendo molesto, reduce el confort visual creando fatiga.

### Control del daño

Cuanto mayor sea la intensidad de la luz, más rápidamente se degradarán los colores y se desintegrarán las estructuras de los materiales. Esto se produce por la combinación entre la sensibilidad del material que recibe la radiación, y la energía asociada a esta, que viene dada por:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda, \text{ siendo:}$$

E = cantidad de energía

h = constante de Planck ( $6,6256 \times 10^{-34}$  J.s)

c = velocidad de la luz (cte.  $\approx 300.000$  Km/s)

$\lambda$  = longitud de onda

de donde se desprende que a menor longitud de onda, mayor contenido energético de la radiación. Por tanto, cuanto más tienda al azul o al violeta, más perjudicial será la luz. Por encima del violeta (ultravioleta), además de aumentar el daño, ya no se produce sensación visual, por lo que ya no tenemos propiamente radiación luminosa, y se deberá intentar eliminar por completo de las lámparas. A este efecto se le denomina *Factor Perjudicial (Damage Factor)* de la fuente luminosa.

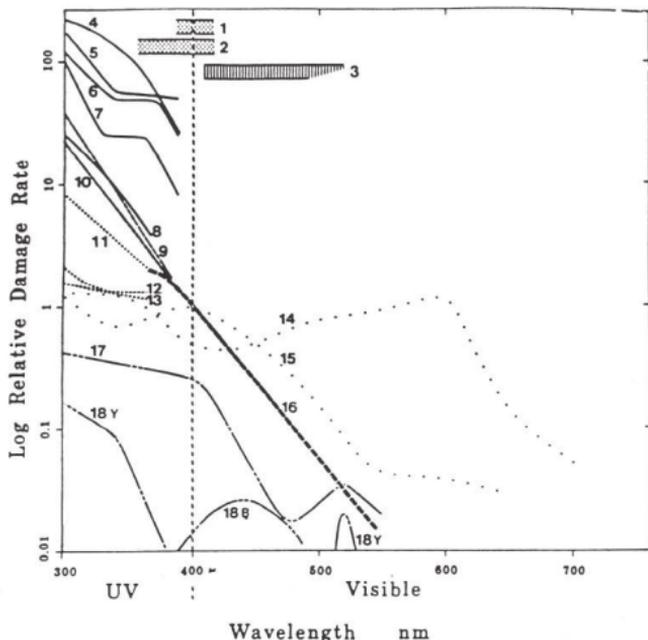
La ley de reciprocidad establece que el daño causado por la luz depende de una manera directa del producto de la iluminación por el tiempo de exposición del objeto a la luz<sup>15</sup>. A este respecto se debe considerar que no todos los materiales tienen el mismo grado de sensibilidad ante la luz. El grado de deterioro de los materiales en condiciones de iluminación determinada, depende mucho de su composición química, pudiendo establecerse similitudes en función de esta composición: papel y madera con otros materiales celulósicos, colas y vehículos proteínicos con fibras de lana y seda (Boletín IES nº 14: 9-11). Además, para muchos materiales el daño por radiación UV aumenta logarítmicamente a medida que la longitud de onda disminuye. (Fig. 5) (Michalsky, 1986: 3, 13).

### Notas al texto

- 12 De hecho este es el parámetro que se utiliza por ser el que mide la energía de radiación que reciben las obras.
- 13 Como se ha repetido a lo largo de este artículo, se percibe la luz reflejada por una superficie, nunca la incidente sobre ella.
- 14 En casos extremos se llega al *deslumbramiento incapacitante* que impide la visión. Téngase en cuenta que el ojo humano es capaz de modificar la sensibilidad de la retina según el grado de luminosidad que recibe. Ante un nivel intenso, aunque sólo se produzca en un punto del campo visual, puede reducir a cero la sensibilidad de los ojos durante un tiempo. Por ejemplo cuando se nos dispara un flash fotográfico directamente a los ojos.
- 15 Esto quiere decir que tiene el mismo efecto perjudicial, iluminar una obra con 150 lux durante 10 horas, que hacerlo con 50 lux durante 30 horas. Al menos en teoría, ya que la proporcionalidad se pierde para lapsos grandes de tiempo.

## Notas al texto

- 16 Se considera que la velocidad de reacción química a temperatura ambiente, se viene a doblar con un aumento de temperatura de 10 °C.



1. Chalking fo PVA latex paint,  $\text{TiO}_2$ , appx. daylight band responsible.
2. Chalking fo PVA latex paint,  $\text{ZnO}$  (Hofmann & Saracc, 1971).
3. Bleaching of newspaper (Leary, 1967).
4. Polyethylene, photo-oxidation, Carbon black + rutile  $\text{TiO}_2$ .
5. Polyethylene, photo-oxidation, anatase  $\text{TiO}_2$ .
6. Polyethylene, photo-oxidation,  $\text{ZnO}$ .
7. Polyethylene, photo-oxidation, rutile  $\text{TiO}_2$ , (Aranaud & Lemaire, 1979).
8. Polyethylene, loss of elongation at break (Stephenson et al, 1961).
9. Rubber, gas evolution (Bateman, 1947).
10. Methacrylate resin varnish, decrease in solubility. (Feller, 1964).
11. Alkyd paint, erosion (weight loss) (Miller, 1958).
12. Linseed oil paint, photo-oxidation, vermilion.
13. Linseed oil paint, photo-oxidation, verdigris. (Rasti & Scott, 1980).
14. Colour fading, litharge.
15. Colour fading, rhodamine R (Kenjo, 1985).
16. Paper strength (pulp) (NBS, 1953).
17. Wool, yellowish, fluorescent whitener added.
- 18Y. Wool, yellowish, natural.
- 18B. Wool, bleaching, natural (Leaver & Ramsay, 1969)

Fig. 5. Cuadro Comparativo (Michalsky, 1986: 3, 13).

Otra consecuencia de la iluminación es el aumento de temperatura de los objetos, debido a la radiación térmica originada por las bandas de longitud de onda más alta (infrarrojo). Esta radiación, aunque de menor contenido energético, tiene efectos caloríficos que produce alteraciones debido a que aumenta la velocidad de reacción química<sup>16</sup>, genera variaciones dimensionales, modifica las condiciones higrométricas de los objetos,

etc. Al igual que el daño debido a la radiación UV, el efecto calorífico se puede medir por un factor llamado *Razón Térmica* (Thermic Ratio).

También se ha considerado el efecto de la propia luz visible. Según Michalsky (1986: 3-4), afecta a las capas más externas de las obras, así en las películas pictóricas, la decoloración sólo tiene lugar entre los 4 a 14 micrómetros más externos. La luz visible des-

tuye algunos colorantes, de los cuales, algunos se oscurecen y la mayoría se decoloran. Y aunque puede debilitar algunos medios, no hay evidencias demostradas al respecto.

El control del daño es un asunto tan complejo en la iluminación de los bienes culturales, y tiene tantas variables, que ante las dificultades de establecer modelos teóricos de comportamiento, se recurre a serias recomendaciones globales (Lafontaine, 1979: 3; Macleod, 1975: 10; Lafontaine y Wood, 1980: 6; Phillips, 1993: 246) como la limitación de la radiación luminosa incidente sobre las obras (iluminancia máxima), la del componente UV (< 400 nm) por unidad de flujo luminoso de la lámpara, y la del tiempo de exposición<sup>17</sup>.

En el primer caso se establecen tres escalones de 50 lux, 150 lux y 300 lux, según el grado de sensibilidad de las obras, y en el segundo, se fija un máximo de 75 µW/m de energía UV independientemente del tipo de lámpara, aunque se tiende a reducir en lo posible este valor hasta 10 µW/m en instalaciones modernas (Saunders, 1993).

En cualquier caso se han desarrollado fórmulas para evaluar el potencial de daño (daño probable) de una fuente luminosa. Los más usados son dos métodos, el llamado, americano (L. S. Harrison, 1953: *Report on deteriorating effects of modern light sources*) y el llamado, europeo (J. Krochmann, 1978: *Zur Frage der Beleuchtung von Museen*) en los que se aplican distintos coeficientes que miden la relación entre el efecto perjudicial y el efecto visual a través del llamado efecto fotoquímico o factor perjudicial por unidad de iluminación (lx):

$$D_{FC} = \frac{\int H_{\lambda} \cdot D_{\lambda} \cdot (t_{\lambda}) \cdot d_{\lambda}}{(K) \int H_{\lambda} \cdot V_{\lambda} \cdot (t_{\lambda}) \cdot d_{\lambda}}$$

Donde (para cada longitud de onda  $\lambda$ ):

$H_{\lambda}$  = emisión de energía espectral,

$D_{\lambda}$  = factor perjudicial relativo (RDF),

= factor de transmisión (cuando hay filtros),

$K_{\lambda}$  = equivalente de radiación fotométrico (680 lm/W) sólo en el método europeo,

$V_{\lambda}$  = sensibilidad del ojo.

Las diferencias, aparte de dar en la práctica los coeficientes en tablas o diagramas, se basan en considerar el factor perjudicial a partir de 380-400 nm y a partir de 300 nm respectivamente, y toman como referencia de RDF, el cielo cenital directo o a través de una ventana<sup>18</sup>. El daño relativo  $D_{FC}$ , por debajo de 300 nm no se considera, por tanto, en ningún caso.

El daño absoluto a una obra  $D_F$  será entonces proporcional a la iluminancia (E), al factor perjudicial ( $D_{FC}$ ), y al tiempo de exposición de la obra a la luz (T):

$$D_F = E \cdot D_{FC} \cdot T$$

Para dar un valor en porcentaje sobre el caso más desfavorable de daño luminoso, se introduce el concepto de *riesgo de decoloración*<sup>19</sup> (Fading risk). Considerando que en el caso mencionado de la luz-día el factor perjudicial relativo es 0.5, basta con incluir un factor corrector de 0.02 en la fórmula anterior:

$$FR = E (lx) \cdot D_F \cdot T (h) \rightarrow$$

$$FR (\text{luz-día}) = 10000 \cdot 0.5 \cdot 1 = 5000$$

$$\text{de donde: } FR = 0.02 \cdot E \cdot D_{FC} \cdot T$$

En la práctica no se suele trabajar con estos valores en ámbitos museísticos. Por comodidad se simplifica el problema y se recurre a las recomendaciones habituales, que se reflejan en el cuadro 1.

Para medir el nivel de iluminación se utilizan los luxómetros, para las luminancias, los luminancímetros, y para controlar la emisión UV de las lámparas, se utilizan los ultravímetros como el Crawford UV Monitor 760, ya calibrado para museos.

Cuando se superan los valores recomendados de radiación UV, pueden utili-

#### Notas al texto

- 17 A este respecto, cuando se trata de materiales extremadamente sensibles, se recurre a una iluminación discontinua usando vitrinas con sistemas de cortinillas o de pulsadores con temporizadores.
- 18 Téngase en cuenta que el vidrio inorgánico, que se encuentra habitualmente interpuesto entre la fuente de luz y los objetos (ventanas, lucernarios, vitrinas, etc.), actúa como un filtro que absorbe la radiación UV por debajo de los 300 nm. Si se utiliza vidrio laminado, las películas intermedias de polibutiral de vinilo (PVB) absorben la radiación inferior a 380 nm, y hasta un 50% de la radiación entre 380 y 400 nm.
- 19 Esta denominación debe entenderse en un sentido amplio, ya que como sabemos, el daño luminoso incluye efectos que van más allá de la decoloración.

Materiales	Iluminancia máxima	Tipo de fuente luminosa	Temp. de color recomendada
<b>(Muy sensibles)</b> Textiles, papel, foto color, acuarela, piel,...	50 lux	Artificial, exposición reducida	~ 2.900 K
<b>(Sensibilidad media)</b> Policromía, cuero, madera, marfil, hueso,...	150 lux	Artificial o natural, filtradas	~ 4.000 K
<b>(Insensibles)</b> Metal, piedra, vidrio, cerámica,...	300 lux	Artificial o natural	400 - 6.500 K

Cuadro 1. Valores recomendados de iluminación

## Notas al texto

- 20 Respecto a este último sistema, no hay unanimidad sobre su eficacia.
- 21 También estarían las lámparas de luz mezcla, combinación de ambos tipos. No comento las lámparas de inducción magnética porque su empleo no está pensado para la iluminación de obras de arte, aunque se podría considerar su uso en ciertos ámbitos arquitectónicos.
- 22 Esto es importante, porque el elemento limitador de las lámparas estándar es la temperatura de fusión del filamento o su velocidad de vaporización.
- 23 Hoy en día se han disparado las prestaciones de estas lámparas, por el desarrollo de balastos electrónicos de alta frecuencia con regulación de flujo.

zarse filtros acrílicos como el Plexiglas UFI o UF3, el Celastoid S 661, el Rhodalline U, etc., o bien aprovechar los vidrios para absorber las radiaciones de longitud de onda más corta, y provocar la reflexión sobre superficies pintadas con blanco de zinc o de titanio para el resto<sup>20</sup>.

En cuanto a la radiación térmica, su energía disminuye exponencialmente con la distancia, lo que facilita su corrección por el simple método de alejar convenientemente la fuente luminosa del objeto. Además, la razón térmica es perceptible, al contrario que el factor perjudicial, por lo que se puede detectar y corregir más fácilmente.

### Las fuentes luminosas

Veamos los tipos principales de lámparas y luminarias que se utilizan en museos y galerías de arte, y como se comportan ante los parámetros comentados.

Una primera división podrá establecerse entre las lámparas de filamento o *incandescentes*, y las de *descarga*<sup>21</sup>. Su fundamento caracteriza muchas de sus propiedades.

Las lámparas incandescentes emiten radiación luminosa por calentamiento de un filamento contenido en un bulbo de vidrio relleno de una mezcla de gases inertes. En el caso estándar se trata argón y nitrógeno, y en el de las lámparas halógenas, además lleva añadido un halógeno, que permite un mayor calentamiento del filamento (mayor temperatura de color) al producirse una regeneración cíclica de este<sup>22</sup> (mayor vida media, mayor eficacia luminosa, y menor atenuación).

Las lámparas de descarga se basan en el bombardeo de los átomos de un gas contenido en el bulbo, mediante un chorro de electrones producido por una descarga entre dos electrodos. El impacto arranca electrones y provoca el salto de las capas más energéticas de los átomos del gas a otras más estables, produciendo una emisión de energía cuyo componente principal es radiación UV que, mediante un recubrimiento fotoluminiscente del bulbo, se transforma en luz visible. Por esta razón estas lámparas producen luz fría, tanto estética como térmicamente. Su principal inconveniente es la necesidad de un equipo auxiliar de encendido, llamado balasto<sup>23</sup>, que ocupa espacio y produce calor y vibraciones con el tiempo, por lo que dificulta su uso en pequeñas vitrinas. Otros problemas son, su mayor componente de radiación UV, al no poderse transformar toda en visible, y su menor índice de reproducción cromática.

Esta es, en efecto, una de sus mayores diferencias con las lámparas incandescentes, ya que mientras estas tienen una curva de distribución espectral continua, las

de descarga la tienen muy discontinua. Si bien, hoy en día, se ha mejorado mucho el rendimiento de color de estas lámparas, llegando a valores superiores al 90 (aunque todavía muchos modelos están por debajo del 80, y a tonalidades muy cálidas (2700 K), gracias a los recubrimientos multifóforo en ambos casos.

Las diferencias dentro del campo de las lámparas de descarga provienen, fundamentalmente, del tipo de gas contenido en el bulbo: sodio, mercurio y halógenos metálicos, y si está a alta o baja presión. Se puede afirmar con carácter general que, en todas las lámparas, el rendimiento de color, es decir la calidad de la luz, se consigue a costa de la eficacia luminosa.

En el cuadro 2 se detallan las características principales de los distintos tipos de lámparas. Las más usadas en museos y galerías son las incandescentes en todas sus variedades y las de vapor de mercurio a baja presión o fluorescentes. Hoy en día, las prestaciones de las de halógenos, sodio blanco, etc. hace que su uso vaya en aumento.

Desde el punto de vista del diseño de la iluminación, aparte de la armonía tonal, hay que considerar cual es la relación adecuada entre iluminancia y temperatura de color (ver diagrama de Kruthof), por lo que con iluminación natural son más idóneas las lámparas fluorescentes, y con iluminaciones tenues lo son las incandescentes.

Además las lámparas fluorescentes, por sus propias características de funcionamiento, producen una luz mucho más difusa que las incandescentes, lo que las hace adecuadas para suavizar texturas, eliminar

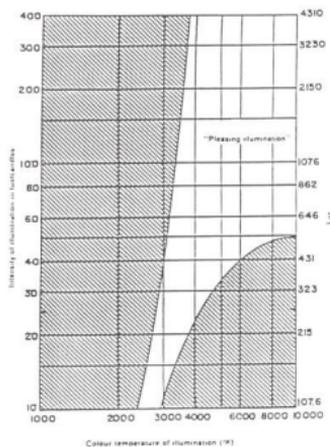


Fig. 6. Diagrama de Kruthof.

Tipos de lámparas	Temperatura de color (K)	Rendimiento de color (%)	Rendimiento luminoso (lm/W)	Vida útil (horas)
<b>Incandescentes</b>				
Standard	2700	100	8 - 12	1000
Par	2700	100	8 - 12	1000
Reflectora	2700	100	8 - 12	1000
Softone	2700	100	8 - 12	1000
Halógenas: - Doble terminal	2900	100	16 - 18	2000
- Terminal simple	3000	100	13 - 16	2000
- Dicroicas	3200	100	16 - 23	2000
- Doble envoltura	2900	100	16	2000
<b>Descarga</b>				
Vapor de Sodio				
- Baja presión	1800	0	200	10.000
- Alta Presión	2000	20	130	10.000
- Muy alta presión (Sodio blanco)	2500	> 80	40	6.000 a 8.000
Vapor de Mercurio				
- Alta presión				
Standard	6000	15	30 - 60	12.000
Color corregido	3300 - 3800	52 - 45	36 - 60	12.000
Mixta o luz mezcla	3400 - 3700	60	≤ 28	6.000
Halogenuros metálicos	3000 - 5000	≤ 90	≤ 95	≤ 9.000
- Baja presión (Fluorescencia)	2700 - 7500	≤ 95	≤ 104	> 10.000
<b>Inducción magnética</b>	3000 - 4000	> 80	65 - 70	60.000

Cuadro 2. Cuadro de lámparas.

sombras y quitar volumen a las obras. Sin embargo, por su factor perjudicial más elevado, las lámparas fluorescentes deberán controlarse y en ocasiones enfundarse con filtros UV, mientras que su razón térmica las hace especialmente adecuadas a vitrinas o situaciones de proximidad de las obras<sup>24</sup>.

Las incandescentes se usarán para lo contrario, aprovechando su direccionalidad que puede reforzarse con una gran variedad de reflectores, proyectores y filtros. En especial, permiten efectos más escenográficos y el uso de ópticas complejas con prestaciones más espectaculares: bañadores de pared, ventana mágica, etc., que consiguen, en definitiva, mayores matices de textura, volumen, contraste..., sobre las obras. Su principal requisito será una distancia mínima de separación, debido a su razón térmica elevada, no siendo tan crítico su factor perjudicial.

Por último, mención aparte merece un sistema de iluminación (no es una lámpara) cuyo uso parece pensado para los requerimientos de iluminación de vitrinas: los conductores luminosos, cuyo primer y más destacado uso es la **fibra óptica**.

Su fundamento es el de la transmisión longitudinal de un haz luminoso a través

del interior de una fibra de un material transparente, aprovechando el efecto de *reflexión interna total* producido por la diferencia entre los índices de refracción del material y del aire<sup>25</sup>. Originalmente se empezó a utilizar como fibra el vidrio inorgánico de 50 µm de diámetro, actualmente se usan polímeros acrílicos que, por su menor absorción, han permitido pasar de longitudes efectivas de no más de 2 m del vidrio, a más de 30 m del polimetacrilato de metilo con niveles aceptables de atenuación.

El sistema está formado por un generador, el mazo de fibras y distintos accesorios de proyección miniaturizados para regular el haz luminoso. El generador requiere lámparas de corto arco eléctrico a fin de dirigir y concentrar mejor su luz en el cabezal del mazo. Se usan lámparas halógenas dicroicas de bajo voltaje (12V/50W y 12V/75W), y para altas prestaciones, lámparas de halogenuros metálicos 150W/3000K y 200W/5600K; todas ellas requieren un sistema de ventilación forzada. Al generador se le pueden incorporar dimmers, filtros UV, IR y de colores, incluso con sistemas motorizados de cambio, aparte de lentes ópticas para concentrar el haz luminoso. Los cables de fibra óptica son de PMMA y se fabrican con longitudes de 0,5 m a 30 m, y agrupa-

## Notas al texto

- 24 Nunca deberán usarse proyectores incandescentes dentro de las vitrinas, ni siquiera las lámparas halógenas dicroicas de bajo voltaje denominadas *de baja emisión*. Si se desea utilizar este tipo de iluminación, se hará a una distancia adecuada desde el exterior.
- 25 Aún así, las fibras van encamisadas en un material reflectante, para evitar pérdidas por partículas o arañosos en su superficie.

## Notas al texto

26 Entre estos estarían los sistemas de "luz hueca", que han encontrado gran aceptación en la señalización de túneles y autopistas.



Fig. 7. Fibra óptica. (Philips, 1994)

ciones estándar de 5 mm de diámetro formando mazos de unos 15 cables.

El principal inconveniente de este sistema es el precio y su limitado poder de iluminación para grandes espacios, que lleva en ocasiones a una multiplicación desorbitada de puntos de luz. Mientras que sus ventajas son múltiples:

Emisión prácticamente nula de radiación UV e IR.

## Bibliografía

- Baglioni, R. (1998): *La iluminación de un bien cultural: problemas conservativos y nuevos avances*. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, nº 23, junio 1998. Sevilla: 51-62
- Berman, S. M. (1995): *The Reengineering of Lighting Photometry*. Publ. of the Lighting Research Group, Lawrence Berkeley Lab, California, USA.
- Berns, R. S. y Grum, F. (1987): Exhibiting Artwork: Consider the Illuminating Source. *Color Research and Application*, vol. 12, no. 2, April 1987.
- Burch, J. (1986): *Fibre Optic Lighting in Museums, Galleries and Historic Houses*: 108-118
- Davis, R. G. y Günther, D. N. (1990): Correlated Color Temperature, Illuminance Level, and the Kruithof Curve. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, Winter 1990.
- De Grandis, L. (1985): *Teoría y uso del color*. Cátedra, Verona. 159 p.
- De las Casas, J. M., González, R. y Puente, R. (1991): *Curso de iluminación integrada en la arquitectura*. Comisión de asuntos tecnológicos. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid. 308 p.
- Gandolfo Castells, A. J. (s. l.): Nuevas lámparas de aplicación a museos y galerías de arte. En *Alumbrado de museos y galerías de arte*. Departamento de Ingeniería, Philips Ibérica de Alumbrado Madrid. 14 p.
- I.E.S. (1980): *Lighting Guide. Museums and Art Galleries*. Boletín nº 14: 9-11
- Klassen, A. M. (c. 1980): *Alumbrado de museos. Factores perceptuales y razones técnicas*. Trad. I. Munilla y A. J. Gandolfo, Centro de diseño e ingeniería de alumbrado, Informe Técnico 12/3. Philips International B. V., División de alumbrado. Eindhoven, Holanda. 37 p.
- Lafontaine, R. H. (1981): *Environmental Norms for Canadian Museums, Art Galleries and Archives*. Technical Bulletin no. 5 (1ª ed. 1979). Canadian Conservation Institute, Ottawa. 4 p.
- Lafontaine, R. H. y Wood, P. A. (1982): *Fluorescent Lamps*. Technical Bulletin no. 7 (1ª ed. 1980). Canadian Conservation Institute, Ottawa. 9 p.
- Macleod, K. J. (1978): *Museum Lighting*. Technical Bulletin no. 2 (1ª ed. 1975). Canadian Conservation Institute, Ottawa. 13 p.
- McGuire, K. P. (1996): *Daylight: Is it in the eye of the beholder?*. Tailored Lighting Inc. En <http://www.soluxdi.com/edu13.htm>
- Michalski, S. (1986): *Damage to Museum Objects by Visible Radiation (Light) and Ultraviolet Radiation (UV)*. Canadian Conservation Institute, Ottawa. 14 p.
- Philips (1993): *Lighting Manual*, 5ª ed. Philips Lighting B. V. Eindhoven, Holanda. 467 p.
- Philips (s. l.): *Faching*. Shop lighting- Application. Philips Lighting B. V. Eindhoven, Holanda. 14 p.
- Philips (1964): *Oclopus. Fibre Optic Lighting System*. Philips Lighting, Architectural Lighting International Centre (LITA), Lamotte-Beuvron, Francia. 26 p.
- Saunders, D. (1993): *The Environment and Lighting in the Sainsbury Wing of the National Gallery*. En *ICOM 10th Triennial Meeting Preprints*, Washington D.C., 22-27/89/93, Vol. II. ICOM, Paris: 630-635.
- Thomson, G. (1961): A New Look at Colour Rendering, Level of Illumination and Protection from Ultraviolet Radiation in Museum Lighting. *Studies in Conservation*, vol. 6, 1961: 71.



Y

ESCUELA SUPERIOR DE  
CONSERVACION  
RESTAURACION  
DE BIENES CULTURALES