

Capítulo 8

Diseño de la Iluminación de Interiores

Ing. Mario Raitelli

1. El Concepto de Iluminación Eficiente

2. El Proceso de Diseño de Iluminación

2.1. Análisis del Proyecto

2.2. Planificación Básica

2.3. Diseño Detallado

3. Asistencia Técnica y Evaluación Posterior

La luz es un componente esencial en cualquier medio ambiente ya que hace posible la visión del entorno, pero además, al interactuar con los objetos y el sistema visual de los usuarios, puede modificar la apariencia del espacio, influir sobre su estética y ambientación y afectar el rendimiento visual, estado de ánimo y motivación de las personas. El diseño de iluminación requiere comprender la naturaleza (física, fisiológica y psicológica) de esas interacciones y además, conocer y manejar los métodos y la tecnología para producirlos, pero fundamentalmente demanda una fuerte dosis de intuición y creatividad para utilizarlos.

Visto desde una perspectiva globalizadora, el diseño de iluminación puede definirse como la búsqueda de soluciones que permitan optimizar la relación entre el usuario y su medio ambiente. Esto implica tener en cuenta diversos aspectos interrelacionados y la integración de técnicas, resultados, metodologías y enfoques de diversas disciplinas y áreas del conocimiento, como la física, la ingeniería de edificios, la arquitectura, el gerenciamiento energético y ambiental, la psicología, la medicina, el arte, etc. Por ello, la solución a una demanda específica de iluminación debe ser resuelta en un marco interdisciplinario.

1. El concepto de iluminación eficiente

Hasta no hace mucho el diseño de iluminación implicaba suministrar luz en cantidades apropiadas a fin de posibilitar la realización de las tareas con alto rendimiento visual. El aspecto cualitativo se limitaba, eventualmente, a eliminar o reducir posibles efectos de deslumbramiento. Sin embargo, el descubrimiento de que la luz no sólo afecta las capacidades visuales de las personas sino también su salud y bienestar, por un lado, el vertiginoso desarrollo tecnológico de fuentes luminosas, dispositivos ópticos y sistemas de control y la necesidad de utilizar los recursos energéticos de manera más eficiente, por otro, le dieron al concepto de diseño un perfil notablemente más cualitativo.

Teniendo en cuenta ese nuevo enfoque, se puede decir que un sistema de iluminación eficiente es aquel que, además de satisfacer necesidades visuales, crea también ambientes saludables, seguros y confortables, posibilita a los usuarios disfrutar de atmósferas agradables, emplea apropiadamente los recursos tecnológicos (fuentes luminosas, luminarias, sistemas ópticos, equipos de control, etc.), hace un uso racional de la energía para contribuir a minimizar el impacto ecológico y ambiental; todo esto por supuesto, dentro de un marco de costos razonable, que no solamente debe incluir las inversiones iniciales sino también los gastos de explotación y mantenimiento.

2. El proceso de diseño de iluminación

No es fácil establecer un procedimiento sistemático para diseñar un sistema de iluminación ya que cualquier proyecto puede tener diferentes puntos de abordaje. No obstante, es recomendable seguir el proceso que se emplea en otros campos del diseño y que se indica esquemáticamente en la Figura 1.

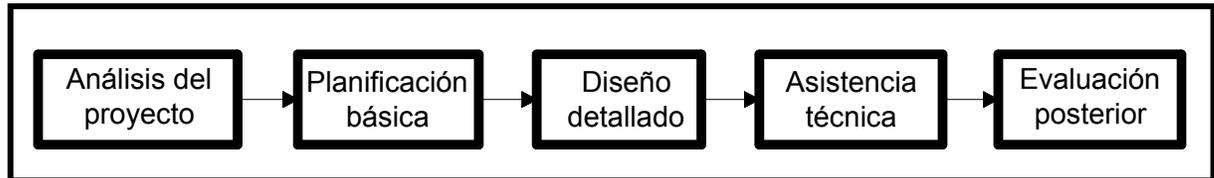


Figura 1. Proceso de diseño de iluminación

2.1. Análisis del proyecto

El procedimiento es aplicable tanto en nuevos diseños como para remodelar instalaciones existentes^{[1], [2]} y comienza por un análisis destinado a reunir datos que permiten determinar las demandas, visuales, emocionales y estéticas, de iluminación y establecer los alcances y limitaciones del trabajo. La identificación clara y precisa de estas cuestiones es fundamental para el éxito de cualquier proyecto.

Las demandas visuales son una consecuencia de la realización de actividades y para determinarlas se debe evaluar la dificultad de las tareas en función de sus características y condiciones de realización. Los requerimientos emocionales, en cambio, surgen por la influencia que la luz ejerce sobre el estado de ánimo, motivación, sensación de bienestar y seguridad de las personas. Estos dos tipos de demandas son variables entre individuos por razones de edad, entrenamiento, aptitud, condiciones de visión, etc. y este hecho debe ser tenido en cuenta en el análisis.

Las demandas estéticas por su parte, se refieren a la posibilidad de crear ambientación visual, destacar la arquitectura, ornamentación, obras de arte, etc. Para esto hay que considerar las características físicas y arquitectónicas del ambiente así como del mobiliario y del entorno, la importancia y significado del espacio, etc.

En cuanto a alcances y limitaciones se puede afirmar que, por lo general, la restricción más importante es de carácter presupuestario. Para analizar este aspecto hay que considerar no sólo los costos de instalación sino también los de funcionamiento. Cuando las decisiones se toman solamente en función de la inversión inicial, como ocurre frecuentemente, se corre el riesgo de restringir seriamente los objetivos del proyecto o diseñar instalaciones donde los costos no previstos de consumo energético y mantenimiento hacen que su uso sea demasiado oneroso. Un ejemplo de este punto lo constituyen las lámparas fluorescentes compactas, cuyo uso muchas veces se descarta por su mayor precio en comparación con las fuentes incandescentes, a pesar que su alta eficiencia permite amortizar la inversión inicial en muy corto plazo.

Otras restricciones pueden surgir de cuestiones normativas o reglamentarias, por razones de

seguridad o debido a la conformación del espacio, por ejemplo, la existencia de elementos estructurales, arquitectónicos o canalizaciones de otros servicios suelen impedir el emplazamiento de luminarias y/o equipos auxiliares.

La mayoría de los datos necesarios para el análisis del proyecto se obtiene de la documentación técnica que deben suministrar el propietario y/o el responsable de la obra. Pero también hay que realizar un relevamiento visual (y eventualmente fotométrico, eléctrico y fotográfico) en la obra, ya que permite verificar y completar datos técnicos e identificar detalles difíciles de especificar en planos. Por último, la entrevista a los usuarios es también de mucha ayuda, ya que brinda la oportunidad de conocer sus opiniones, necesidades y preferencias respecto de las condiciones de iluminación.

2.2. Planificación básica

A partir del análisis de la información reunida en la etapa anterior, es posible establecer un perfil de las características que debe tener la instalación para satisfacer las distintas demandas que el trabajo plantea. Lo que se busca aquí es desarrollar las ideas básicas del diseño sin llegar a precisar todavía ningún aspecto específico como sería la selección de las luminarias, por ejemplo. En este punto se define el sistema de alumbrado, las características de las fuentes luminosas, la factibilidad para el uso de alumbrado natural y, eventualmente, la estrategia para su integración con la iluminación artificial, etc. Para estas tareas, la consulta a publicaciones especializadas y la visita a instalaciones con características similares ayudan a desarrollar algunas ideas; pero fundamentalmente, son la aptitud y experiencia del diseñador y sobre todo su espíritu creativo, los elementos que permiten plasmar el concepto inicial de diseño.

Elección del sistema de alumbrado

En las Figuras 2 a 5 se muestran los principales sistemas de alumbrado utilizados en instalaciones de iluminación de interiores y en la Tabla 1 se resumen las características más importantes a tener en cuenta para seleccionar el tipo más adecuado.

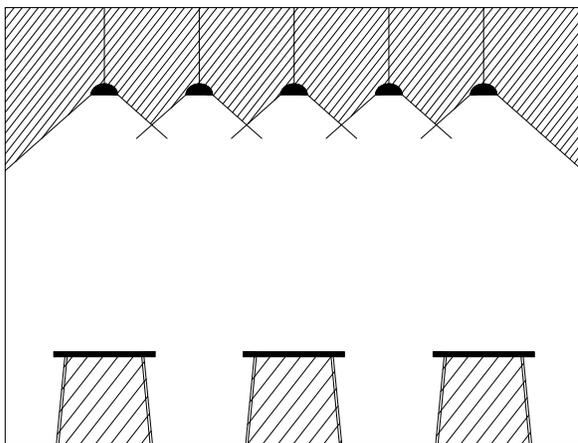


Figura 2. Alumbrado general

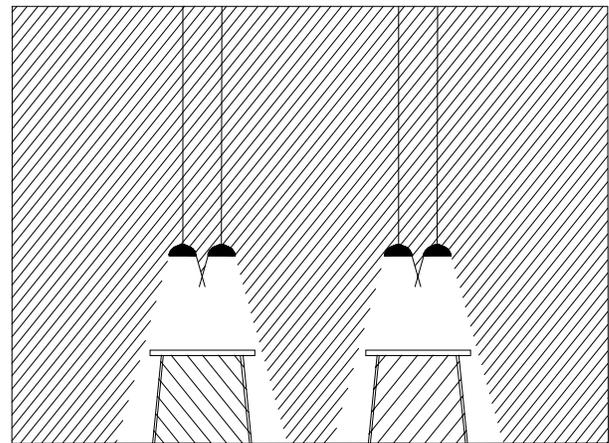


Figura 3. Alumbrado localizado

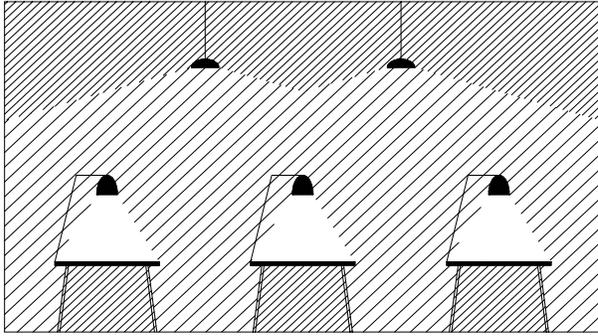


Figura 4. Alumbrado general y localizado

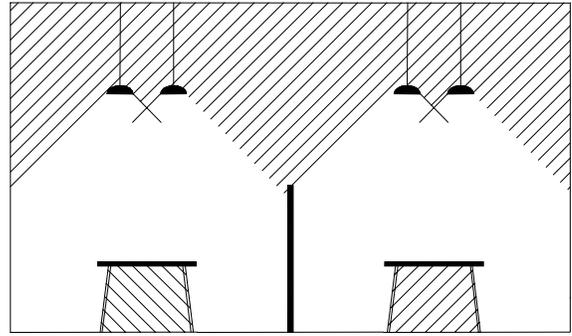


Figura 5. Alumbrado modularizado

El sistema de alumbrado general se caracteriza por proveer una iluminación uniforme en todo el espacio ya que las luminarias se distribuyen en planta en forma regular. Esto conduce a un mayor consumo de energía por alumbrado, en especial en instalaciones de grandes dimensiones, como por ejemplo locales de planta abierta. Este tipo de iluminación brinda al ambiente un aspecto ordenado y produce efectos de modelado bastantes blandos, es simple de diseñar y no requiere coordinación con el esquema de distribución de los puestos de trabajo. Si se trata de salas donde se prevé utilizar paneles divisorios o muebles de altura considerable, puede ser necesario modularizar también el arreglo de luminarias (Figura 5) a fin de minimizar los efectos de proyección de sombras sobre el plano de trabajo.

Tabla 1: Características aproximadas de los sistemas de alumbrado:

Sistema de Alumbrado	Disposición de Luminarias	Características Luminotécnicas	Efectos Visuales		Coordinación con ubicación de áreas de trabajo	Consumo energético
			Sobre el Espacio	Sobre personas y objetos		
General Directo o indirecto	Uniforme	Altos niveles de Iluminancia en todo el espacio. Excelente uniformidad. Reducción de contrastes y brillos. Se minimiza la proyección de sombras.	Produce sensación de amplitud y orden Crea atmósferas de monotonía y condiciones propicias para trabajos que requieren de alta concentración.	Modelados blandos. Aplana texturas. Oculta detalles. Minimiza efectos de reflejos especulares Apaga intensidad de los colores.	No requiere	Elevado (más con sistema indirecto). No permite reducción individual de los niveles de iluminación.
Localizado	Irregular	Altos niveles de Iluminancia sólo en áreas de interés. Uniformidad general baja Contrastes realzados. Puede causar importante proyección de sombras	Produce sensación de reducción del espacio. Puede crear atmósferas dramáticas, estimulantes y distractivas	Modelados duros. Realza textura y detalles. Los colores resultan más intensos. Ideal para crear efectos luminosos.	Muy importante	Reducido. Adecuado para controlar niveles de iluminación individualmente.
General y localizado	Uniforme (general) e irregular (localizado)	Iluminancia general reducida respecto de áreas de trabajo. Uniformidad general baja. Contrastes realzados. Puede causar importante proyección de sombras	Un balance adecuado puede compensar la sensación de reducción del espacio y crear condiciones propicias para el trabajo	Con un balance adecuado el modelado resulta casi natural. Buena apariencia de textura y detalles.	Muy importante sólo para el sistema de alumbrado localizado	Intermedio entre alumbrado general y localizado. Adecuado para controlar niveles de iluminación individualmente sin afectar el resto de la instalación.
Modularizado	Uniforme por sectores	Iluminancia media elevada. Uniformidad excelente. Reducidos contrastes y proyección de sombras	Idem a alumbrado general	Idem a alumbrado general	Importante para determinar el arreglo de luminarias	Elevado. Requiere sectorización de los circuitos. Permite reducción de los niveles de iluminación por sectores.

En el caso de alumbrado localizado, el arreglo de luminarias se diseña para proveer valores de iluminación altos solamente en las áreas de trabajo y en sectores que interesa destacar tales como accesos, áreas con riesgo de accidentes, lugares donde se quiere crear efectos decorativos, etc. y se deja el resto de la instalación con niveles menores. Esto reduce considerablemente la carga energética en comparación con el sistema de alumbrado general, pero el diseño es más complejo puesto que se necesita coordinar con el esquema de ocupación del espacio y, además, hay que cuidar que el desbalance de iluminancias no produzca efectos distractivos, cansancio visual o afecte la estética del espacio. A fin de satisfacer los requerimientos de seguridad para la circulación y confort visual, en general se recomienda una relación de iluminancias entre las áreas de trabajo y las otras zonas no superior a 3:1^[3].

Elección de las fuentes luminosas

Respecto de las fuentes luminosas, en la etapa de planificación básica, solamente se define el tipo de lámpara que conviene utilizar de acuerdo con las demandas del proyecto; por ejemplo, se decide si va a emplearse luz incandescente, fluorescente, vapor de mercurio, etc. La especificación definitiva (potencia, equipo auxiliar, modelo, forma, marca, etc.) se hace cuando se seleccionan las luminarias y se realiza el diseño geométrico.

Para la selección de lámparas hay que tener en cuenta todos sus parámetros y características funcionales, según se vio en el capítulo de fuentes luminosas y equipos auxiliares. Sin embargo, para el tipo de análisis que interesa por ahora, en general, es suficiente considerar sólo los factores de diseño que tienen que ver con el rendimiento luminoso, las características cromáticas, la vida útil y el tiempo de encendido. En la tabla 2 se indican los requerimientos del diseño a tener en cuenta en relación con cada uno de esos parámetros.

<i>Tabla 2. Factores de diseños a tener en cuenta para la selección del tipo de lámpara en la etapa de planificación básica.</i>	
<i>Características de las Fuentes luminosas</i>	<i>Requerimientos o factores de diseño a tener en cuenta</i>
Rendimiento luminoso [lm/W]	Tiempo diario de funcionamiento Uso racional de la energía
Temperatura de color [°K]	Necesidades de ambientación Demandas psicológicas
Índice de respuesta al color	Demandas estéticas Reproducción de colores Apariencia de objetos
Vida útil [horas]	Tiempo diario de funcionamiento Frecuencia de encendido-apagado Requerimientos de mantenimiento
Tiempo de encendido	Tiempo de puesta en servicio de la iluminación Demandas de seguridad Requerimientos de mantenimiento

Alumbrado Natural

El empleo de la luz natural para iluminación de interiores es una excelente alternativa para optimizar el consumo de energía por alumbrado en edificios. Además, siempre es importante tener en cuenta que, aún cuando la disponibilidad de luz natural no sea suficiente para la realización de las tareas, hay un alto porcentaje de personas que prefieren trabajar con luz natural o al menos, tener en sus hábitats la apariencia de la iluminación diurna^[2,4]. Por otro lado; el hecho de disponer aberturas brinda una serie de ventajas adicionales en relación con los objetivos de un diseño, por ejemplo: posibilita el acondicionamiento ambiental y la ventilación del local, permite el contacto visual y físico con el exterior lo cuál contribuye al bienestar y satisfacción de los usuarios, si el escenario a través de las ventanas está adecuadamente tratado.

En relación con el alumbrado natural, los aspectos a abordar en un proyecto de iluminación comprenden: la determinación del potencial de luz natural (ver capítulo sobre Luz natural e iluminación de interiores), la coordinación entre el alumbrado natural y artificial (ver capítulo sobre El aprovechamiento energético del alumbrado natural en edificios) y la selección del equipamiento para el control de la iluminación artificial (ver capítulos sobre Sistemas de control). Hay que agregar también, el diseño de ventanas y sistemas de protección^[5], aunque normalmente este aspecto no es competencia del diseñador de iluminación.

La disponibilidad de luz natural en interiores y su potencial de ahorro de energía puede estimarse mediante el coeficiente de luz diurna promedio (ver capítulo sobre El aprovechamiento energético del alumbrado natural en edificios). Si se requiere más precisión hay que recurrir al estudio con modelos a escala^[6] o a cálculos más elaborados, como por ejemplo con métodos computacionales^[7].

El coeficiente de luz diurna (CLD) en un punto interior expresa la relación entre la iluminancia producida por la luz natural en el punto y la iluminancia en el exterior determinada en el mismo instante y sin obstrucciones (Figura 6).

$$\text{CLD \%} = \frac{E_{\text{int}}}{E_{\text{ext}}} \times 100 \quad (1)$$

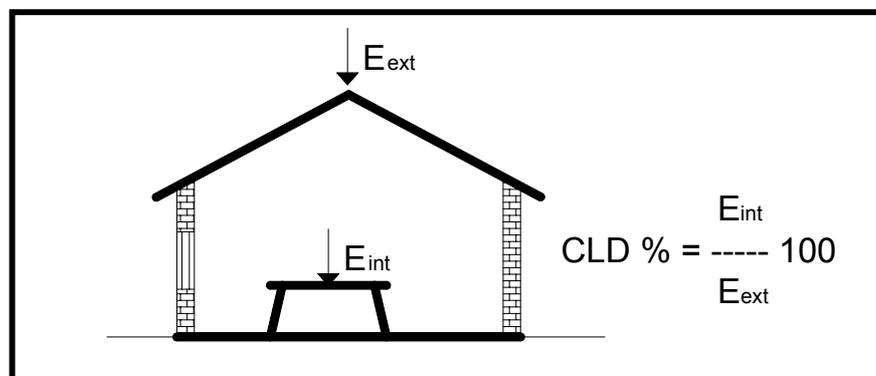


Figura 6. El coeficiente de luz diurna

La tabla 3 muestra valores de CLD promedio tomados de la norma IRAM-AADL j20-02^[8] para locales de trabajo en función de la dificultad de las tareas visuales. La tabla 4 por su

parte, indica cómo se puede caracterizar la impresión de claridad y ambientación en un espacio iluminado con luz natural a través de los valores de ese coeficiente.

En general se puede decir que para planificar un aprovechamiento de luz natural hay que disponer de un coeficiente de luz diurna promedio no inferior a 2%. También, que en locales donde el valor es superior a 5% y la geometría de ventanas asegura una distribución uniforme del alumbrado, es posible prescindir de la iluminación artificial durante el día; aunque esta última siempre es necesaria (para el uso nocturno del local o cuando no hay suficiente luz natural).

Con el uso de luz natural hay que cuidar el balance de luminancias de las superficies internas, en especial en la proximidad de ventanas, a fin de prevenir molestias visuales debido a elevados contrastes de claridades con las aberturas. También, hay que estudiar cuidadosamente la ubicación de los puestos de trabajo para no causar deslumbramiento directo o por reflexión de las aberturas. Lo ideal es evitar ubicarlos enfrentados o de espalda a las ventanas, en especial, cuando se trabaja con computadoras.

Tabla 3: Valores recomendados en norma IRAM-AADL j20-02 para el coeficiente de luz diurna promedio según la dificultad de la tarea

<i>Clasificación de la tarea según su dificultad</i>	<i>CLD promedio %</i>	<i>Ejemplos típicos de la norma IRAM-AADL j20-05</i>
Reducida	1	Circulación, depósitos de materiales toscos, etc.
Mediana	2	Inspección general, trabajo común de oficina.
Alta	5	Trabajos de costura, dibujo, etc.
Muy alta	10	Montaje e inspección de mecanismos delicados.

Tabla 4: Correspondencia entre la impresión visual de claridad y ambientación con el coeficiente de luz diurna CLD medio.

CLD	%	< 1	1 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 12	> 12
sobre un plano horizontal		Muy bajo	Bajo	Moderado	Medio	Alto	Muy alto
	Sector del local	Zonas alejadas de las ventanas, distantes 3 a 4 veces la altura de las ventanas				Zonas próximas a ventanas o bajo claraboyas	
Impresión de claridad		De oscura a poco clara		De poco clara a clara		De clara a muy clara	
Ambientación		El local parece separado del exterior (dormitorios, foyers)			El local se abre hacia el exterior (áreas de Trabajo)		

2.3. Diseño detallado

En esta etapa, en función del perfil definido en la fase de planificación básica, se comienza a resolver los aspectos específicos del proyecto, estos comprenden: la selección de luminarias, el diseño geométrico y sistema de montaje, los sistemas de alimentación, comando y control eléctricos, la instalación de alumbrado de emergencia y seguridad. Además, se realiza el análisis económico-financiero y el presupuesto del proyecto, se confecciona la documentación

técnica (planos y memorias descriptiva) incluyendo una propuesta de esquemas funcionales para propiciar el uso racional de la energía y un programa adecuado de mantenimiento. Es muy conveniente, y a menudo solicitado por el usuario, considerar varias alternativas.

Selección de luminarias

La selección de las luminarias es uno de los aspectos más importante del proyecto. El tipo más conveniente se determina sobre la base de consideraciones técnicas, estéticas y por supuesto, económicas. Aunque siempre deben considerarse los tres factores, hay que establecer prioridades en función de los requerimientos del diseño. Por ejemplo, si la ambientación visual es la meta deseada, la pauta predominante en la selección será la búsqueda de armonía entre los artefactos y el estilo arquitectónico, el carácter y la ornamentación del local. Si en cambio, se necesita crear condiciones de trabajo visual adecuadas y alta eficiencia energética, van a prevalecer los criterios técnicos tales como el rendimiento de las luminarias, las características fotométricas, el control de deslumbramiento, etc.

El mercado ofrece una amplia variedad de luminarias que permiten satisfacer, prácticamente, cualquier tipo de demanda. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las luminarias se diseñan para funcionar con determinados tipos de lámparas; esto significa que una vez definido el tipo de fuente, el universo de artefactos disponibles se reduce. Lo mismo ocurre con las lámparas si primero se define el tipo de luminaria. De manera que la elección debe hacerse en forma conjunta. En la tabla 5 se indica los distintos criterios que normalmente se utilizan para identificar los tipos de luminarias.

En instalaciones de alumbrado, y con el propósito de ahorrar energía, se recurre con bastante frecuencia al reemplazo de lámparas por otras más eficientes pero sin cambiar la luminaria. Por ejemplo, es común sustituir lámparas de mercurio por sodio de alta presión o fuentes incandescentes por fluorescentes compactas de menor potencia pero con similar flujo luminoso. Se puede demostrar fácilmente que esta estrategia es muy conveniente económicamente. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el reemplazo puede implicar una modificación de la fotometría del artefacto por cuanto cambian el tamaño, la forma y a veces, hasta el tipo de ampolla (por ejemplo, se pasa de una lámpara clara a otra con recubrimiento difusor), además, se pueden modificar también las características cromáticas. De manera que hay que hacer un análisis fotométrico y colorimétrico con las nuevas fuentes a fin de verificar que la distribución espacial de la luz y la reproducción de colores no se modifiquen de tal modo que afecten las condiciones de iluminación y visión. Por otro lado es importante también controlar que el eventual cambio en la apariencia del espacio no produzca efectos negativos sobre las personas. Con el fin de que este tipo de estrategias de ahorro de energía cubra las expectativas de aceptación del usuario conviene aplicar lo indicado en la sección análisis del proyecto sobre entrevistas a los usuarios.

En este capítulo se considerarán sólo los aspectos fotométricos, pero en la selección hay que tener en cuenta también las características físicas, constructivas, mecánicas, eléctricas, térmicas, de seguridad, estéticas y por supuesto, económicas (ver capítulo sobre Fuentes Luminosas y Equipos Auxiliares). Estas se pueden consultar en numerosas publicaciones técnicas ^[9], ^[10] aunque siempre es conveniente tratar de obtener información de los fabricantes.

Tabla 5. Criterios de clasificación de luminarias normalmente usados en la práctica.

<i>Criterio de clasificación</i>	<i>Tipo de luminaria</i>	<i>Ejemplos típicos</i>
Uso	Alumbrado general	Luminarias fluorescentes (lineales o compactas), campanas.
	Alumbrado localizado	Lámparas de mesa, spots* p/iluminación de obras de arte.
	Alumbrado decorativo	Luminarias de estilo, colgantes, apliques.
	Señalización y emergencia	Letreros luminosos, indicadores de dirección, luces de emergencia.
	Especiales	Luminarias estancas (sumergibles), capsuladas (p/ambientes explosivos)
Tipo de fuente de luz	Incandescente (Convencionales y halógenas de bajo voltaje)	Luminarias de mesa, spots, apliques y colgantes.
	Fluorescente (Lineales y compactas)	Plafones y colgantes, downlights**, uplights***, bañadores.
	Descarga en gas (Tubulares y elipsoidales)	Proyectores, campanas.
Dimensiones	Conductores de luz	Fibras ópticas, lumiductos.
	Puntual	Spots p/ lámparas halógenas de baja tensión
	Extensa	Fluorescentes lineales
Tipo de montaje	Embutido, aplicado o suspendido (eventualmente con pequeños ajuste del enfoque)	Luminarias fluorescentes (lineales o compactas), campanas, spots, downlights, uplights.
	Fijo Estructuras modulares	Módulos lineales fluorescentes integrados.
	Integrados a la arquitectura	Cielorazos luminosos, pozos de luz, gargantas y molduras.
Cerramiento	Móvil De enfoque libre	Proyectores.
	Desplazables (generalmente también orientables)	Luminarias p/rieles electrificados
	Sin cerramiento	Plafones y colgantes abiertos, campanas.
	Difusor opalino o prismático.	Plafones y colgantes cerrados.
Superficie reflectora	Louver de malla pequeña, grande o doble parabólico.	Plafones y colgantes, downlights.
	Difusora	Luminarias fluorescentes (lineales o compactas).
	Especular (lisa o facetada)	Luminarias fluorescentes (lineales o compactas), downlights, proyectores.

* Spot: Luminaria de pequeñas dimensiones, asimilable a un punto luminoso.

** Downlight: Luminaria que dirige la luz principalmente de arriba hacia abajo.

*** Uplight: Luminaria que dirige la luz principalmente de abajo hacia arriba.

Nota: Se ha mantenido la denominación en inglés por cuanto estos términos son ampliamente conocidos y usados en la práctica.

Características fotométricas de luminarias

Desde el punto de vista fotométrico los aspectos que interesan para la selección de una luminaria son el rendimiento luminoso y la distribución luminosa.

Rendimiento luminoso

Este factor expresa la relación entre el flujo luminoso emitido por el artefacto y el flujo de las lámparas que contiene (Figura 7). En general, interesan el rendimiento total y por hemisferios, definidos de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{\text{Flujo total emitido por la luminaria } (\phi_{0-180})}{\text{Flujo total de lámparas } (\phi_L)} \quad \text{Rendimiento total}$$
$$\eta_{0-90} = \frac{\text{Flujo emitido en el hemisferio inferior } (\phi_{0-90})}{\text{Flujo total de lámparas } (\phi_L)} \quad \text{Rendimiento en el hemisferio inferior}$$
$$\eta_{90-180} = \frac{\text{Flujo emitido en el hemisferio superior } (\phi_{90-180})}{\text{Flujo total de lámparas } (\phi_L)} \quad \text{Rendimiento en el hemisferio superior}$$

El hemisferio inferior comprende desde la posición de nadir (0°) hasta la horizontal (90°), mientras que el superior, desde la horizontal (90°) hasta la posición del cenit (180°), según se puede ver en la Figura 7.

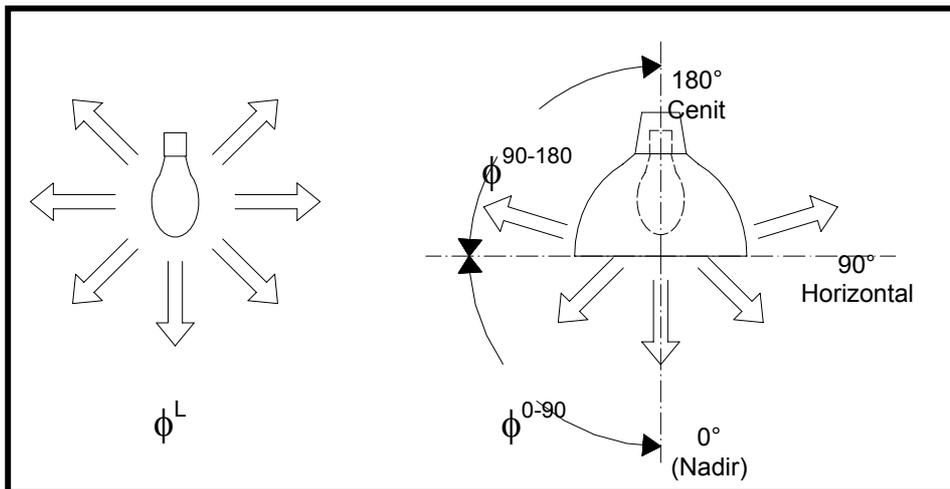
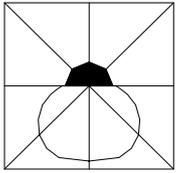
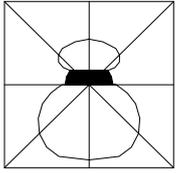
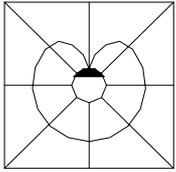
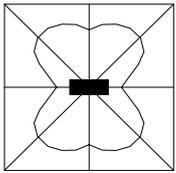
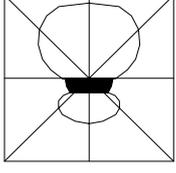
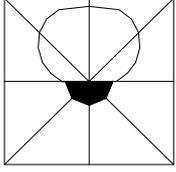


Figura 7. Rendimiento de una luminaria y distribución del flujo por hemisferios

El rendimiento luminoso total es una medida de la eficiencia energética de una luminaria pero no brinda mucha información acerca de cómo es la distribución espacial de la luz. Cuando se aplican estrategias de ahorro de energía basadas en reemplazo de lámparas, como se indicó en la sección anterior, se debe analizar la influencia de la modificación sobre el rendimiento de la luminaria.

La Comisión Internacional de Alumbrado^[11] (CIE) clasifica las luminarias de acuerdo con el porcentaje de flujo emitido por el artefacto hacia cada hemisferio (tabla 6).

Tabla 6: Clasificación CIE de luminarias de acuerdo con la distribución del flujo luminoso hacia los hemisferios inferior y superior respectivamente.

Tipo de luminaria	Distribución del flujo por hemisferios % superior % inferior	Características
Directa	$\frac{0 - 10}{90 - 100}$ 	Alta eficiencia energética. Posibilita buena uniformidad y balance de claridades en el campo visual. Con distribución concentrada puede requerir alumbrado suplementario para aumentar la iluminancia en superficies verticales. El cieloraso o la cavidad sobre el plano de montaje pueden resultar poco iluminados. En general requiere control de luminancias para minimizar deslumbramiento (directo y reflejado).
Semi-directa	$\frac{10 - 40}{60 - 90}$ 	Similares a tipo directo pero con menor eficiencia energética. Reduce el contraste de luminancias con el cieloraso. La luz reflejada (difusa) suaviza sombras y mejora las relaciones de claridad. No deben instalarse demasiado cerca del cieloraso para evitar áreas de alta luminancia que podrían resultar distractivas, perturbadoras y afectar la estética del ambiente.
Difusa	$\frac{40 - 60}{40 - 60}$ 	Combinadas entre tipos directa y semi-directa pero con menor eficiencia energética. Produce buenas relaciones de claridad y suavizado de sombras. Puede ocasionar deslumbramiento (directo y reflejado) aunque su efecto es compensado por la componente reflejada (difusa). Requiere altas reflectancias de paredes y cieloraso.
Directa-indirecta	$\frac{40 - 60}{40 - 60}$ 	Es un caso especial del tipo difusa pero con una eficiencia energética un poco mayor. Estas luminarias emiten poco flujo en ángulos próximos a la horizontal lo cuál reduce las luminancias en la zona de deslumbramiento directo.
Semi-indirecta	$\frac{60 - 90}{10 - 40}$ 	Similares al tipo semi-directo pero con menor eficiencia energética. Las superficies del local deben tener alta reflectancia. La baja componente directa reduce las luminancias deslumbrantes y el contraste de claridades con el cieloraso.
Indirecta	$\frac{90 - 100}{0 - 10}$ 	Elimina virtualmente las sombras y el deslumbramiento directo y reflejado pero tiene baja eficiencia energética. Requiere altas reflectancias de paredes y cieloraso y un adecuado programa de mantenimiento de artefactos y superficies. Hay que cuidar el balance de luminancias con el cieloraso.

Curva de distribución luminosa

La representación espacial de las intensidades luminosas de una luminaria permite determinar como se distribuye el flujo luminoso en un local. Esta información se presenta en forma gráfica (normalmente utilizando coordenadas polares) y también tabular para distintos planos como se indica en la Figura 8.

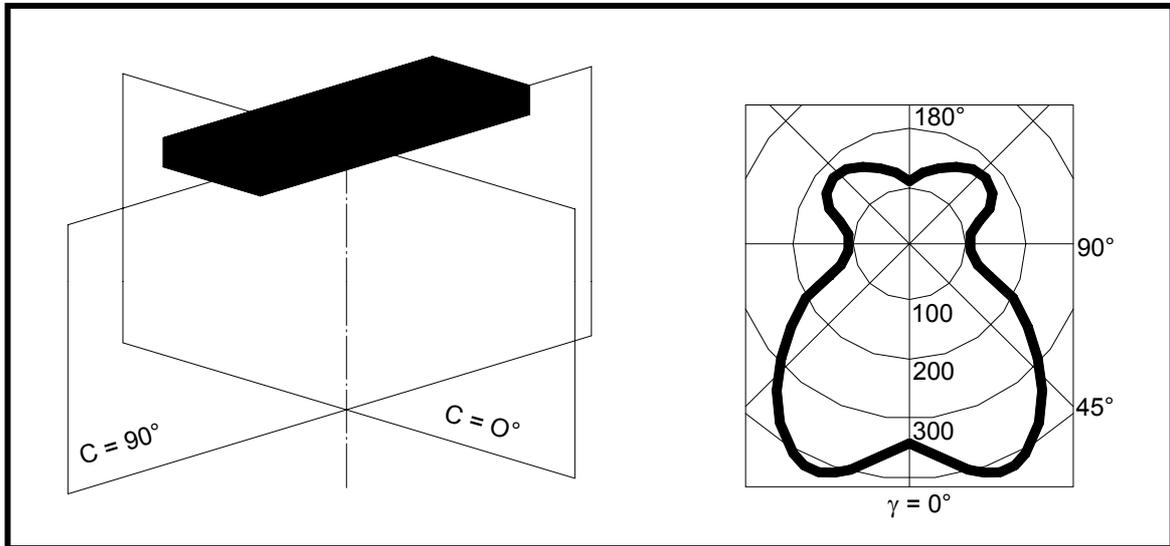


Figura 8. Representación polar de la distribución luminosa de una luminaria. Para cada plano de corte (izquierda) se suministra una curva (derecha) con los valores de intensidad correspondiente a ese plano.

Como generalmente las luminarias de alumbrado interior tienen distribución espacial de intensidades con simetría de rotación, para su representación es suficiente un solo plano. En la figura 9 se indican las curvas de tres artefactos típicos.

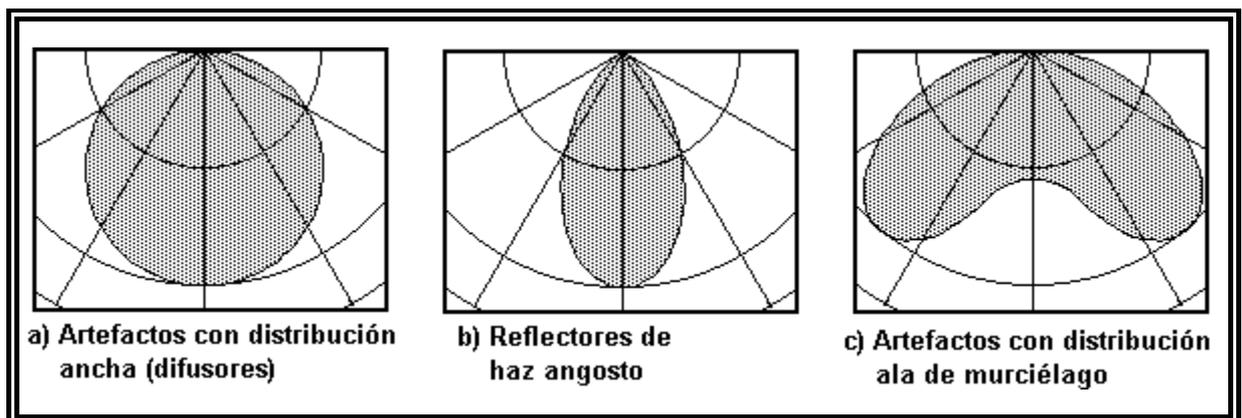


Figura 9. Curvas típicas de distribución luminosa en representación polar para artefactos: a) con distribución ancha, b) con haz angosto y c) con forma de ala de murciélago

La distribución de intensidades luminosas se utiliza, fundamentalmente, para realizar cálculos de iluminación, pero también en la selección de luminarias es muy útil. Por ejemplo, en la Figura 10 se puede ver que, para iluminar un espacio, se necesita una menor cantidad de artefactos de distribución ancha (Figura 10a) que de distribución angosta (Figura 10b). Esto, desde el punto de vista del consumo de energía, podría ser más conveniente, pero también hay que analizar otros factores, como el deslumbramiento o la apariencia del espacio.

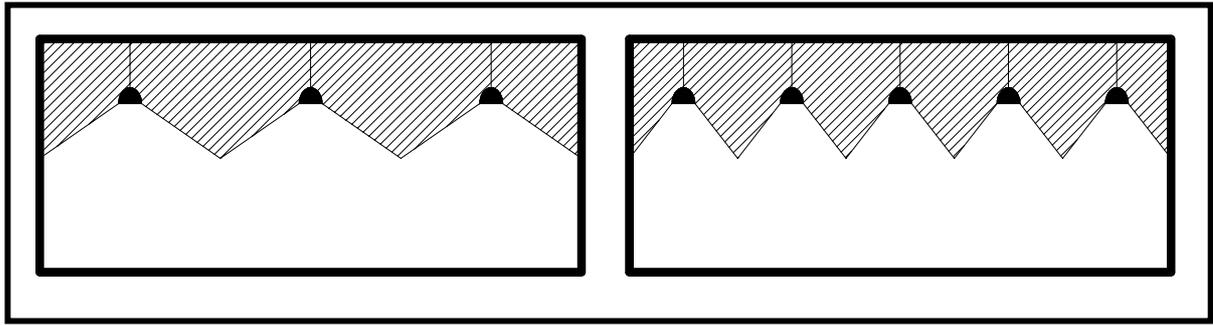


Figura 10. Vista de corte de un local iluminado con luminarias de distribución ancha (izquierda) y angosta (derecha). Con el primer tipo de artefactos se podría reducir el consumo de energía ya que se requiere menor cantidad de artefactos.

Cálculos de iluminación

Durante la ejecución de un proyecto de iluminación las necesidades de cálculo son variadas. En las primeras etapas, por lo general sólo se requieren valores aproximados que luego hay que ajustar mediante cálculos más elaborados. Un caso típico, que casi siempre se presenta antes de comenzar el proyecto, es la determinación de la potencia eléctrica del sistema de alumbrado. Este dato se necesita, por ejemplo, para proyectar la instalación eléctrica, el sistema de ventilación y aire acondicionado o para efectuar análisis energéticos y económicos.

El cálculo de la iluminación de interiores comprende la determinación del flujo luminoso total que incide sobre un punto o una superficie. Este flujo se compone de dos partes (Figura 11), la primera corresponde a la fracción que llega directamente desde las luminarias (componente directa), la otra involucra la cantidad de luz proveniente de las múltiples reflexiones que tienen lugar en los objetos y las superficies que delimitan el espacio y que pueden considerarse como fuentes secundarias (componente indirecta o interreflejada).

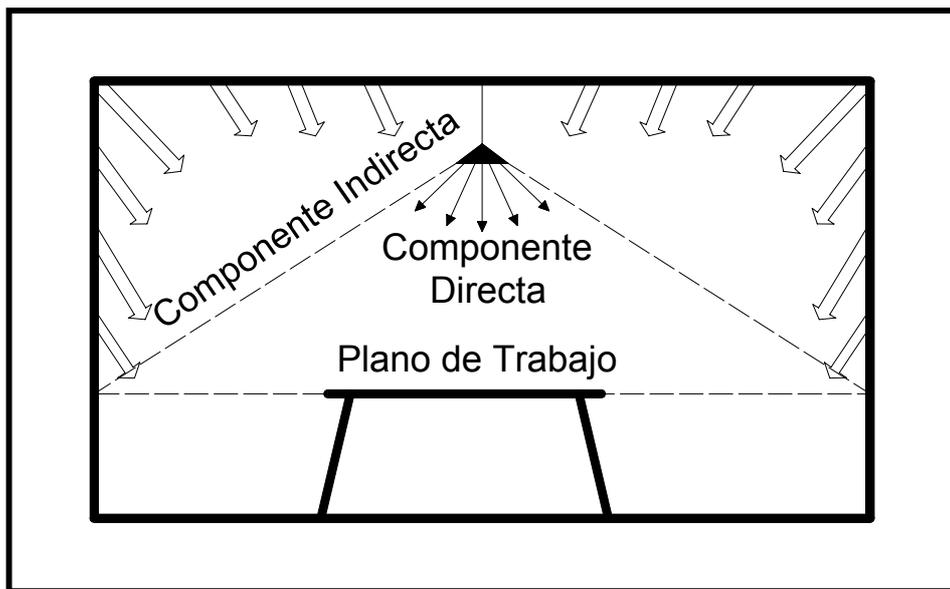


Figura 11. El flujo luminoso que llega a una superficie se integra con la fracción que proviene directamente de las luminarias (componente directa) y la producida por las interreflexiones en las superficies del local (componente indirecta).

Método del factor de utilización^[12]

El método del factor de utilización (μ) sirve para determinar la iluminancia media sobre una superficie denominada el plano de trabajo. En la Norma Argentina IRAM-AADL j20-05^[13] sobre alumbrado de interiores, se utiliza la versión de este procedimiento conocida como Método de las cavidades zonales.

El factor de utilización representa la fracción (ϕ_u) del flujo luminoso total (ϕ_{Tot}) de lámparas instaladas, que llega al plano de trabajo después de interactuar con las luminarias y las superficies del local.

$$\mu = \frac{\text{Flujo incidente sobre el plano de trabajo}}{\text{Flujo total de lámparas instalado}} = \frac{\phi_u}{\phi_{Tot}} \quad (2)$$

El factor μ depende de la fotometría de la luminaria empleada, de la geometría de la instalación y de los factores de reflexión de las superficies del local. Para determinar la iluminancia media sobre el plano de trabajo ($E_{i_{med}}$), en función del factor de utilización de la instalación, se emplea la siguiente expresión:

$$E_{i_{med}} = \frac{N \cdot \phi_L \cdot \mu}{l \cdot a} \quad (3)$$

donde: $E_{i_{med}}$: Iluminancia media sobre el plano de trabajo en lux
 ϕ_L : Flujo de lámparas por luminarias en lúmenes.
 μ : Factor de utilización de la instalación.
 N : Número de luminarias instaladas
 l : longitud del local en metros
 a : ancho del local en metros

El método del factor de utilización puede aplicarse bajo una serie de supuestos que deben cumplirse, razonablemente, para obtener resultados confiables:

- Distribución uniforme de las luminarias en planta.
- Las superficies del local deben ser difusoras y espectralmente neutras.
- El flujo incidente sobre cada superficie debe distribuirse en forma uniforme.
- El local está libre de obstrucciones de tamaño considerable.

Por lo general, la expresión (3) se utiliza para estimar el número de artefactos necesarios para obtener un cierto nivel de iluminancia media. Normalmente se utiliza el valor recomendado por normas en función de la dificultad visual de las tareas involucradas^[14].

Para posibilitar la aplicación del método, los fabricantes de luminarias deben suministrar los datos del factor de utilización de sus productos. Normalmente esta información se presenta en tablas (Tabla 7) donde utiliza un índice de local (k) para caracterizar la geometría del espacio (Figura 12) y se toma como parámetros las reflectancias de las superficies del local.

Tabla 7: Factores de utilización de una luminaria del mercado argentino												
Reflectancia cieloraso [%]	80				70				50			
Reflectancia paredes [%]	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10
Indice de local	Factores de utilización											
1	0.90	0.86	0.83	0.80	0.88	0.85	0.81	0.78	0.81	0.78	0.75	0.77
2	0.82	0.75	0.69	0.64	0.80	0.73	0.68	0.64	0.70	0.66	0.62	0.67
3	0.74	0.66	0.57	0.52	0.72	0.64	0.58	0.52	0.61	0.56	0.52	0.59
4	0.68	0.58	0.50	0.45	0.66	0.56	0.50	0.44	0.54	0.48	0.43	0.52
5	0.62	0.50	0.42	0.37	0.59	0.49	0.42	0.37	0.48	0.41	0.36	0.46
6	0.57	0.44	0.38	0.32	0.55	0.44	0.37	0.31	0.42	0.36	0.31	0.41
7	0.52	0.40	0.33	0.27	0.50	0.39	0.32	0.27	0.38	0.31	0.26	0.36
8	0.48	0.36	0.28	0.23	0.46	0.35	0.28	0.23	0.34	0.28	0.23	0.33
9	0.44	0.32	0.25	0.20	0.42	0.31	0.25	0.20	0.30	0.24	0.20	0.29
10	0.29	0.22	0.18	0.39	0.28	0.22	0.18	0.28	0.21	0.17	0.26	0.21

Si no se dispone esta información, se puede recurrir a datos de luminarias genéricas^[15] que tienen similitud física.

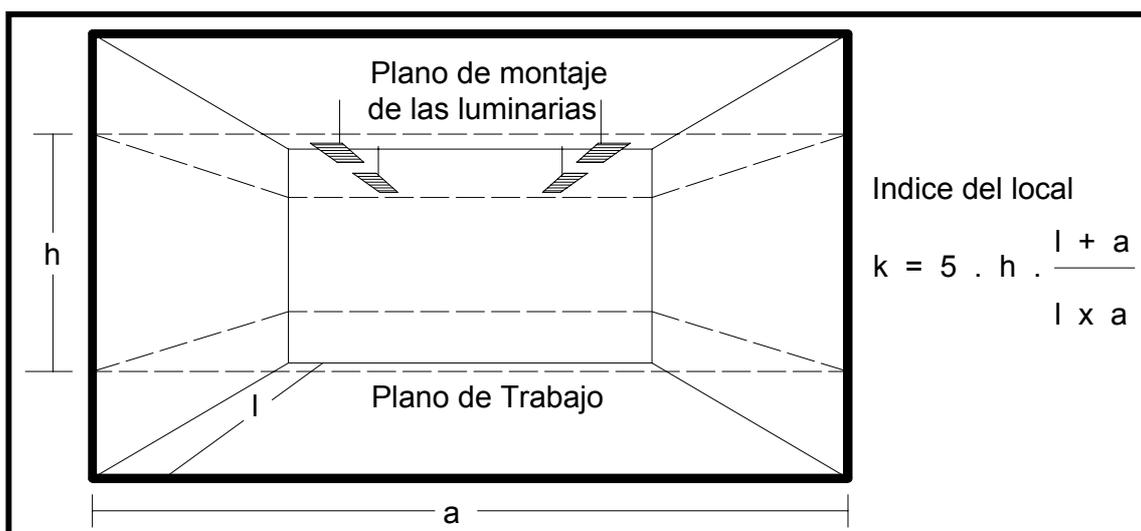


Figura 12. Método del coeficiente de utilización. Características geométricas del local

En la expresión (3) $E_{i_{med}}$ representa la iluminancia inicial, es decir el valor al momento de poner la instalación en servicio por primera vez. Con el uso y debido a la depreciación del sistema se produce una reducción progresiva de la iluminancia. Para compensar tal efecto, se aumenta el nivel inicial de modo que, justo antes de efectuar las operaciones de mantenimiento correspondientes, la instalación tenga el valor conocido como nivel de iluminancia mantenido ($E_{m_{med}}$) (Figura 13). Este valor se determina introduciendo el factor de depreciación (d) en la expresión (3):

$$E_{m_{med}} = \frac{N \cdot \phi_L \cdot \mu}{l \cdot a} \cdot d \quad (4)$$

El factor d contempla los distintos fenómenos que contribuyen a la depreciación. Los

El procedimiento de la potencia específica como herramienta de cálculo sólo permite realizar determinaciones aproximadas. Para su aplicación, en la fórmula del método del factor de utilización (expresión 4) se debe reemplazar el flujo de lámparas (Φ_L), por la relación: *Potencia por luminaria (P_L)/Potencia específica de la instalación (P_e)*. Además, hay que incluir la constante 100 y un factor de corrección (f) que tiene en cuenta las características geométricas del local y los factores de reflexión de paredes (ρ_w), piso (ρ_f) y cieloraso (ρ_c) (Tabla 9).

$$E_{i_{med}} = \frac{N \cdot 100}{l \cdot a} \cdot \frac{P_L}{P_e} \cdot d \cdot f \quad (5)$$

En la expresión anterior cada factor representa lo siguiente:

- $E_{i_{med}}$: Iluminancia media mantenida sobre el plano de trabajo en lux
- P_L : Potencia de lámparas por luminarias en watts.
- P_e : Potencia específica de la instalación en $W/m^2 \cdot 100 \text{ lux}$.
- N : Número de luminarias instaladas
- d : Factor de depreciación de la instalación
- f : Factor de corrección por geometría del local
- l : longitud del local en metros
- a : ancho del local en metros

Tabla 8. Valores de referencia de potencia específica para diferentes tipos de lámparas en luminarias de radiación directa.

Tipo de lámpara	Potencia específica (P_e) [$W/m^2 \cdot 100 \text{ lux}$]
Incandescente convencional	12
Incandescente halógena	10
Fluorescente tubular	3
Fluorescente compacta	4
Vapor de mercurio elipsoidal	5
Mercurio halogenado tubular	4

Tabla 9. Método de la potencia específica: factores de corrección por geometría del local y por reflectancias de cieloraso (ρ_c), paredes (ρ_w) y piso (ρ_f).					
Area del local [m ²]	Altura del local [m]	ρ_c	0.70	0.50	0.00
		ρ_w	0.50	0.20	0.00
		ρ_f	0.20	0.10	0.00
20	≤ 3		0.75	0.65	0.60
50			0.90	0.80	0.75
≥100			1.00	0.90	0.85
20	3 – 5		0.55	0.45	0.40
50			0.75	0.65	0.60
≥100			0.90	0.80	0.75
50	≥ 5		0.55	0.45	0.40
≥100			0.75	0.60	0.60

Método de cálculo de iluminación puntual

En muchos proyectos se requiere establecer la iluminancia en puntos determinados en lugar del valor promedio sobre una superficie. En estos casos se aplica el método de cálculo conocido como punto por punto^[16].

El procedimiento de cálculo de iluminancias puntuales es más exacto que el método del factor de utilización, pero también es más complejo puesto que las componentes directa e indirecta (Figura 11) deben determinarse por separado. Además también es más laborioso ya que en cada punto debe considerarse la contribución de cada luminaria individualmente. Por estas razones, la aplicación manual de este método es prácticamente posible sólo si la cantidad de puntos y luminarias es pequeña, de otra manera, se debe recurrir al empleo de programas especializados para cálculos de iluminación por computadoras.

Cálculo del componente directo

Para determinar la iluminancia directa (E_{p_i}) que produce una luminaria en un punto se aplica la ley de la inversa de los cuadrados^[17], la cual establece que E_{p_i} es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la luminaria hasta el punto de cálculo (Figura 14):

$$E_{p_i} = \frac{I_{\gamma}}{d^2} \quad (6)$$

Para calcular la iluminancia directa total el punto (E_p) se emplea la expresión anterior para determinar la contribución de cada luminaria y se suman los resultados.

$$E_p = \sum \frac{I_{\gamma_i}}{d_i^2} \quad (7)$$

Los factores en las expresiones anteriores representan:

d : Distancia luminaria-punto de cálculo en metros,

I_{γ} : Intensidad luminosa en la dirección del punto P en candelas.

Los valores de intensidad luminosa necesarios para aplicar las expresiones (6) y (7) se obtienen de la curva de distribución luminosa del artefacto (ver sección Características fotométricas de luminarias) que debe suministrar el fabricante de la luminaria como información técnica.

En la expresión (6) E_{p_i} representa la iluminancia en la dirección normal a la incidencia de I_{γ} . En la práctica, por lo general, interesa determinar las iluminancias horizontal (E_{ph}) y/o vertical (E_{pv}). Además, si todos los artefactos se instalan a la misma altura (como habitualmente ocurre) al reemplazar la distancia d por $h/\cos(\gamma_i)$, la expresión de la ley de la inversa de los cuadrados para se transforma en:

$$E_{ph} = \sum \frac{I_{\gamma_i} \cdot \cos^3(\gamma_i)}{h^2} \quad (8) \quad \text{Iluminancia horizontal en el punto P}$$

$$E_{pv} = \sum \frac{I_{\gamma_i} \cdot \cos^2(\gamma) \cdot \text{sen}(\gamma)}{h^2} \quad (9) \quad \text{Iluminancia vertical en el punto P}$$

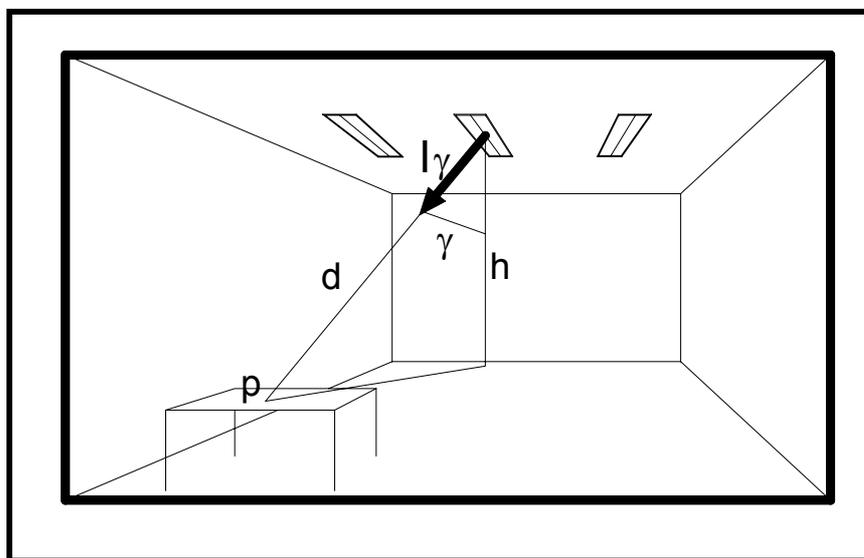


Figura 14. La iluminancia en el punto P es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la luminaria y el punto de cálculo (Ley de la inversa de los cuadrados)

La ley de la inversa de los cuadrados es estrictamente válida solamente para fuentes puntuales. Sin embargo, si la distancia desde la luminaria al punto de cálculo es igual o mayor a 5 veces el máximo tamaño de la fuente, el error en el cálculo normalmente es menor que

10%. Esto se conoce como el criterio del quintuplo de la distancia y debe ser especialmente tenido en cuenta en los cálculos de alumbrado interior, ya que las distancias involucradas no siempre cumplen la condición mencionada y ello puede representar una importante fuente de error.

Cálculo de la componente indirecta

El cálculo de la componente indirecta de la iluminancia se realiza aplicando métodos computacionales basados en la teoría de transferencia de flujo^[18]. Estos procedimientos permiten obtener resultados bastantes precisos y exactos. Sin embargo, muchas veces sólo se requiere valores aproximados. En tales casos, si es posible asumir que la distribución luminosa de la luz reflejada es uniforme en todas las superficies del local incluido el plano de trabajo, se puede utilizar la siguiente expresión para estimar la contribución de una luminaria a la componente indirecta de la iluminancia:

$$E_i = \frac{\phi_L}{A_{Tot}} \frac{\rho_m}{1 - \rho_m} \quad (10)$$

En la expresión anterior:

ϕ_L : Flujo luminoso de la luminaria en lúmenes.

A_{Tot} : es la suma del área de todas las superficies del local en m².

ρ_m : es la reflectancia media de todas las superficies del local que se calcula con la siguiente expresión:

$$\rho_m = \frac{\sum \rho_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (11)$$

Donde A_i y ρ_i son respectivamente, las áreas y reflectancias individuales de cada una de las superficies del local.

Diseño geométrico y sistemas de montaje

Una vez que se ha determinado la cantidad de luminarias a instalar hay que proceder al diseño geométrico y de los sistemas de montaje. Para resolver estas cuestiones se debe tener en cuenta, en primer lugar, el sistema de alumbrado elegido, pero también el tipo de artefacto, el diseño arquitectónico y las características del cieloraso o el lugar donde se vayan a emplazar.

En los sistemas de iluminación general, las luminarias se distribuyen uniformemente en planta como se indica en la Figura 15; pero también es posible adoptar otras distribuciones ya que la condición de uniformidad se refiere a la densidad de artefactos. En la Figura 16 se indican tres disposiciones alternativas de luminarias tipo downlights que son equivalentes desde el punto de vista luminotécnico.

Para la iluminación localizada, los artefactos se disponen en los sectores donde se necesitan mayores niveles de iluminación o que interesen destacar, por ejemplo, áreas de trabajo, accesos o zonas con riesgo de accidentes. La iluminación del resto de ambiente se realiza con

la luz dispersada del sistema localizado o, a veces, con un alumbrado general de menor potencia.

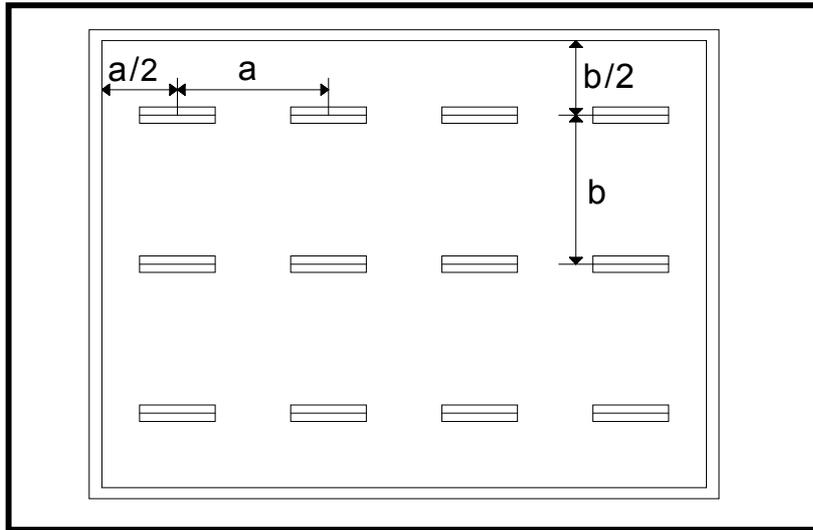


Figura 15. Distribución típica de luminarias en planta uniforme: la distancia desde las paredes a los artefactos es igual a la mitad de la separación entre ellos.

Una cuestión importante a considerar en el diseño geométrico, es el impacto visual que provoca la presencia del sistema de luminarias ya que puede afectar la estética del espacio. Aquí hay tener en cuenta ciertas reglas que gobiernan los mecanismos de la percepción e interpretación de imágenes. Según estas reglas, conocidas como leyes de la Gestalt^[19], el sistema visual tiende a asociar patrones complejos con unidades más simples, sobre la base de principios de simetría, continuidad, cierre, proximidad, buena configuración, etc. (Figura 17).

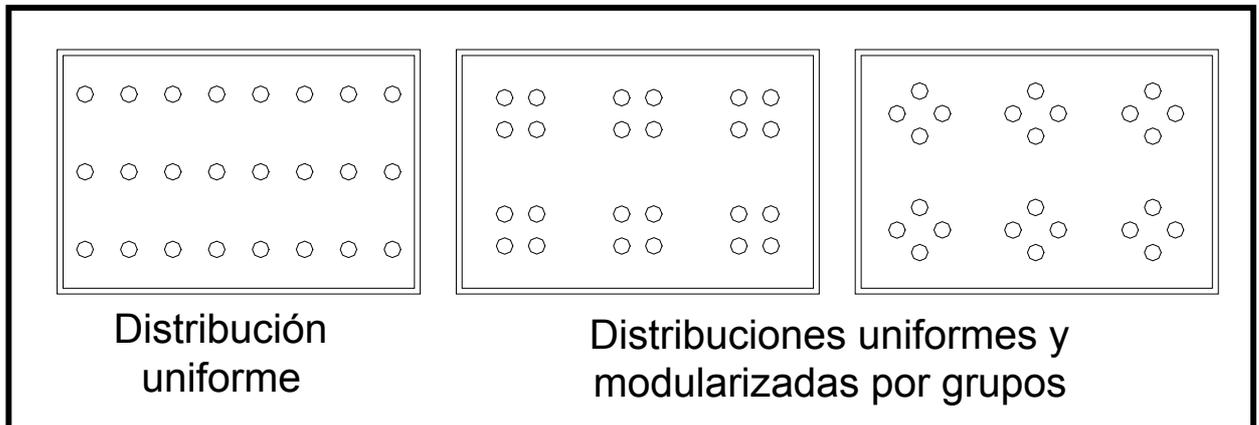


Figura 16. Distribuciones en planta de 24 luminarias tipo downlight. Los tres casos son equivalentes en cuanto a los niveles de iluminación, grado de uniformidad, etc. pero las disposiciones modulares por grupos (ley de proximidad) pueden resultar más atractivas desde el punto de vista estético.

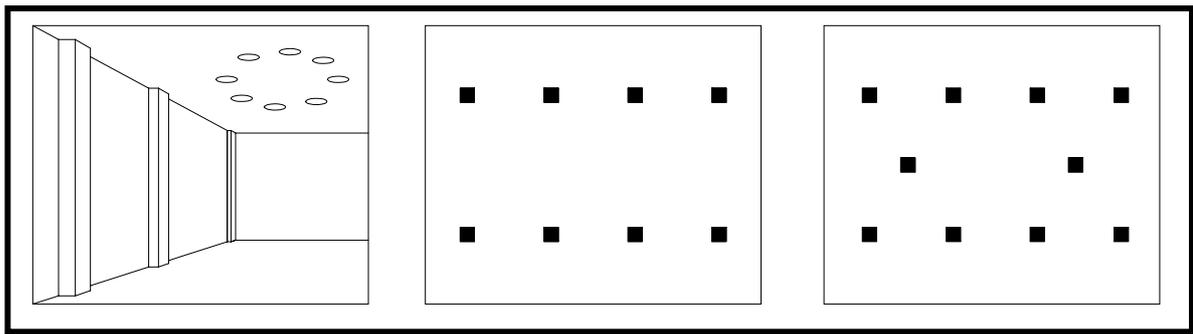


Figura 17. Leyes de la Gestalt aplicadas para el diseño geométrico: la disposición de 8 luminarias tipo downlight (izquierda) se percibe como un círculo (leyes de proximidad y de cierre). Los 8 artefactos (centro) se interpretan como dos líneas, pero el agregado de 2 luminarias (derecha) convierte el esquema en 2 grupos de 5 artefactos (leyes de la buena configuración y de simetría)

En lo que se refiere al tipo de luminaria, se puede decir que el diseño geométrico con artefactos suspendidos o plafón es más flexible que con luminarias embutidas, ya que en este último caso el emplazamiento puede estar limitado por elementos ubicados en la cavidad por arriba del cieloraso (en general, las canalizaciones de otros servicios). Otros condicionantes para el montaje son el tipo de cieloraso (por ejemplo, superficie de paneles modulares), su capacidad de carga y la presencia de elementos estructurales como vigas, columnas, conductos, etc.

Diseño eléctrico

El objetivo de eficiencia energética en un sistema de iluminación requiere no sólo de un diseño adecuado a ese propósito, sino también del uso apropiado de la instalación y para esto último, tiene mucho que ver el diseño de la alimentación eléctrica y, especialmente, del sistema de control de luces.

Al diseñar la instalación eléctrica hay que tener en cuenta el voltaje de la línea de alimentación y su variabilidad, especialmente si se prevé utilizar lámparas de descarga ya que puede haber problemas de encendido o estabilidad del funcionamiento (ver capítulo sobre Fuentes Luminosas y Equipos Auxiliares). Esta información, que forma parte de los datos a reunir en la etapa de análisis del proyecto (ver sección Análisis del proyecto) se puede obtener de la empresa que suministra la energía, del responsable de la obra eléctrica o, a veces, del propietario; aunque siempre es recomendable controlar mediante mediciones tomadas en distintos momentos del período de utilización del sistema de iluminación.

Otra cuestión relacionada con el diseño eléctrico es la distorsión de la forma de la onda de tensión eléctrica (generación de armónicas) debido al empleo de equipos auxiliares y sistemas electrónicos de control y regulación de luces de mala calidad (es decir, sin un filtrado adecuado). La introducción de armónicas en la red puede conducir a recargos en la facturación de la energía eléctrica pero además, ocasionar serios problemas en el funcionamiento de otros sistemas, como por ejemplo, la pérdida de información en centros de procesamiento de datos. Estas cuestiones destacan la importancia de la correcta selección y dimensionado de los equipos auxiliares (ver capítulo sobre Fuentes Luminosas y Equipos Auxiliares).

Control de la iluminación

El control de luces responde a dos tipos de demandas. La primera, el uso racional de la energía, es una condición indispensable para cualquier proyecto que tenga como objetivo la iluminación eficiente (ver sección El concepto de iluminación eficiente) y se satisface ajustando la cantidad de luz, por niveles de iluminancia o por tiempo de uso (preferiblemente ambos) de acuerdo con los requerimientos de cada momento. La otra exigencia surge de la necesidad de brindar flexibilidad en la iluminación de locales con funciones variadas, por ejemplo, en salas de conferencias. Por supuesto ambos criterios no son excluyentes y pueden proyectarse complementariamente.

Para implementar un control eficaz hay que programar las escenas de luz, es decir los esquemas funcionales de encendido y/o regulación del flujo de grupos de luminarias que permiten satisfacer las diferentes demandas de iluminación. Para ello debe determinarse claramente las necesidades de iluminación; éstas pueden variar por las distintas funciones del local (Figura 18) o temporalmente; por ejemplo, en un restaurante donde la mayor afluencia de clientes se produce los fines de semanas y días feriados, se podría prever una escena de luz para tales ocasiones y otra para los días de semana.

Básicamente, los sistemas de control de iluminación, se dividen en manuales y automáticos (Tabla 10).

Tabla 10. Clasificación de los sistemas de control de luces. Una descripción más detallada de las características técnicas y operativas de los sistemas de control se puede ver en los Capítulos 6, y 7.			
Tipo de control	Estrategia de control	Dispositivo de comando	Características
Manual	Regulación escalonada	Interruptor (llave) de montaje sobre pared.	Posibilita el ajuste por pasos del nivel de iluminación.
	Regulación continua	Atenuador (dimer)	Permite ajuste continuo del nivel de iluminación. Generalmente incorpora la función interruptor. Puede tener montaje fijo (sobre pared) y/o móvil (remoto)
	Programable	Unidad de Control multicanal	Permite programar escenas de luz que se conectan accionando pulsadores locales y/o remotos. Generalmente incorpora las funciones de retardo y atenuación (Figura 18)
Automático	Local	Unidad de Control multicanal	Automatiza el control de un solo local o zona del edificio (Figura 19).
	Central	Unidad de Control multicanal	Integra el control de varias zonas (Figura 21). Se puede incorporar a un sistema de gestión integral de energía y servicios (edificios inteligentes)

El comando remoto requiere de un dispositivo emisor y otro receptor de la señal de control (Figura 19). El receptor puede incorporarse en las luminarias o disponerse externamente. En el primer caso, se economiza el cableado y es una buena alternativa para obras de remodelación donde la capacidad de los conductos de la instalación eléctrica está saturada o no es posible la rotura de paredes y cieloraso.

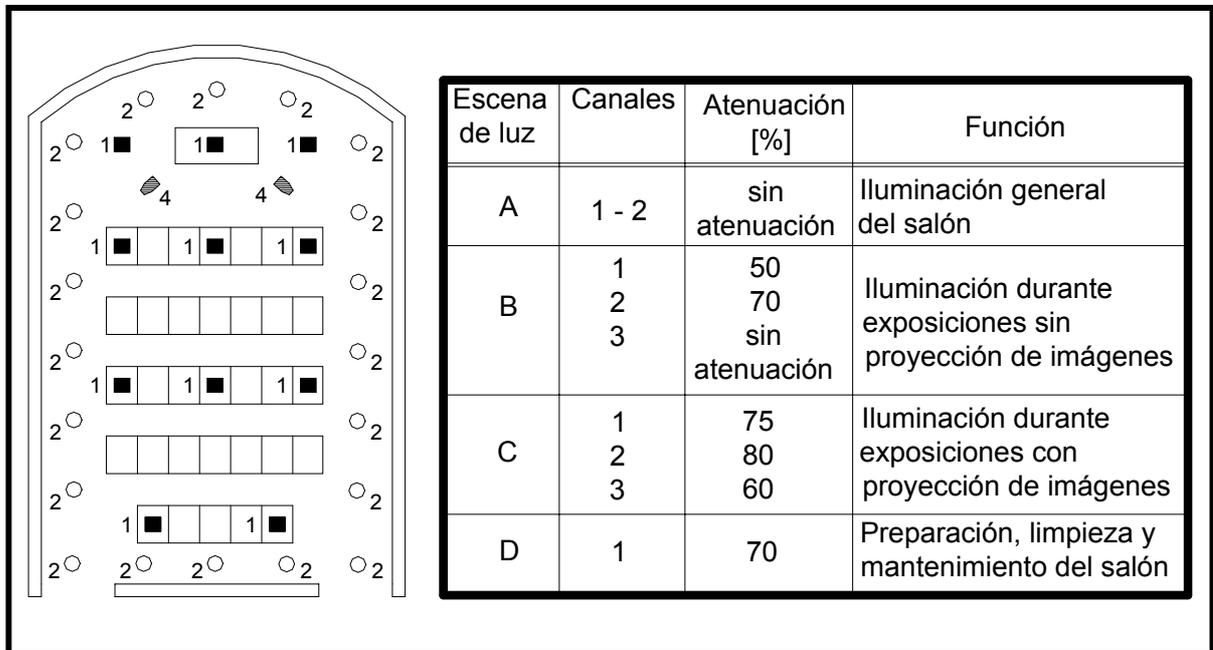


Figura 18. Programación de 4 escenas de luz para un auditorio en función de las distintas demandas de iluminación, empleando un sistema de control manual con 3 canales conmutables y dimerizables. La sala dispone de 3 sistemas de alumbrado (vista de planta a la izquierda): (1) Iluminación general, (2) Baño de luz s/paredes y (3) Iluminación de la zona de exposición.

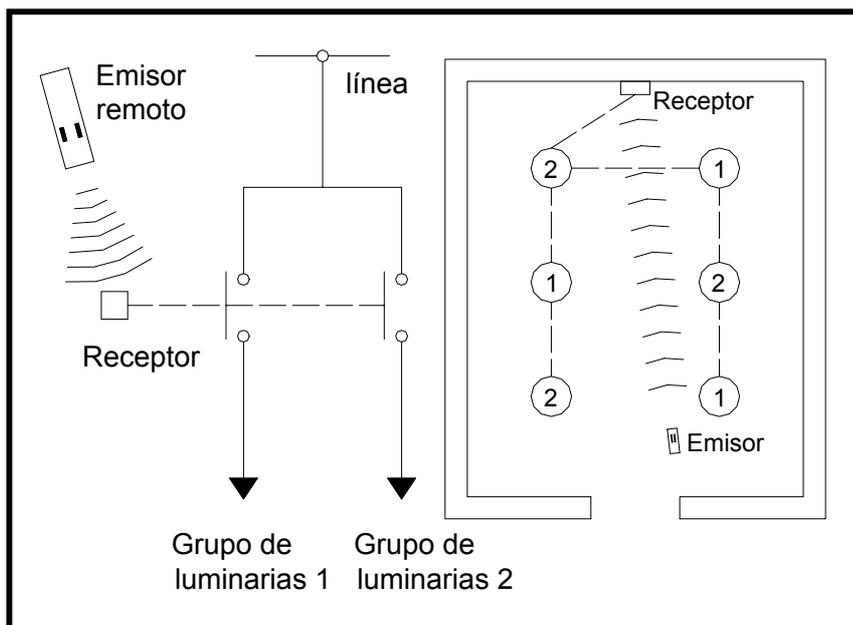


Figura 19. Control manual de luces con comando remoto. El receptor, en este caso externo, capta la señal de mando del emisor y conecta el grupo de luminarias que corresponde. El agregado de la función atenuación más la conexión de los artefactos en 2 esquemas de trebolillo brinda amplia flexibilidad al sistema.

El sistema de control automático puede ser local (Figura 20) o central (Figura 21) según controle una o varias zonas, respectivamente.

En el primer caso el sistema se integra con los siguientes componentes:

Sistema de sensores: Generan señales en función del valor de la magnitud de sensado.

Canal de comunicación (bus de sensores): Transportan las señales de los sensores hacia la unidad de control

Unidad local de control: Contiene un procesador que recibe los señales de los sensores y, en función de los niveles de operación preestablecidos, determina el estado de actuación (conexión y/o dimerizado y/o retardo o desconexión) de los dispositivos de comando (interruptores, dimers y relays).

Canal de operación: Sirve para energizar las lámparas o para transportar una señal de operación en caso que el dispositivo de comando este incorporado a la luminaria.

El esquema de control automático central se trata, básicamente, de la combinación de múltiples zonas locales (Figura 20) en una única unidad de control remota. En cada zona hay un conmutador Local/Central (no indicado en el esquema) para independizar el control del sistema centralizado.

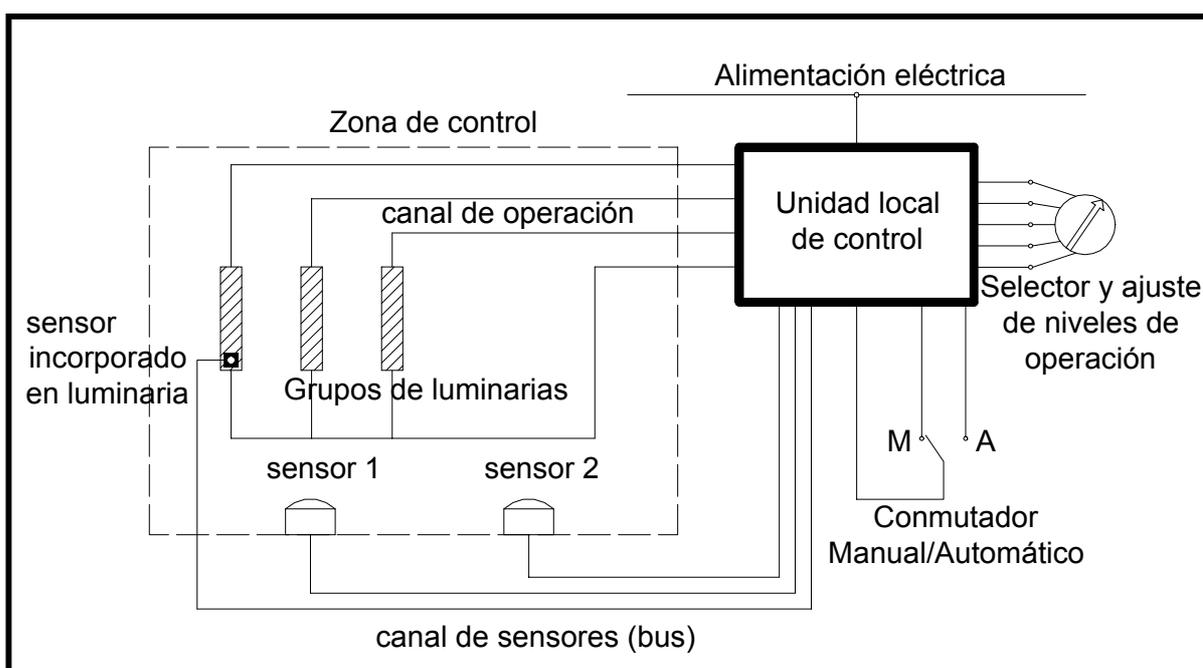


Figura 20. Esquema del sistema de control automático local

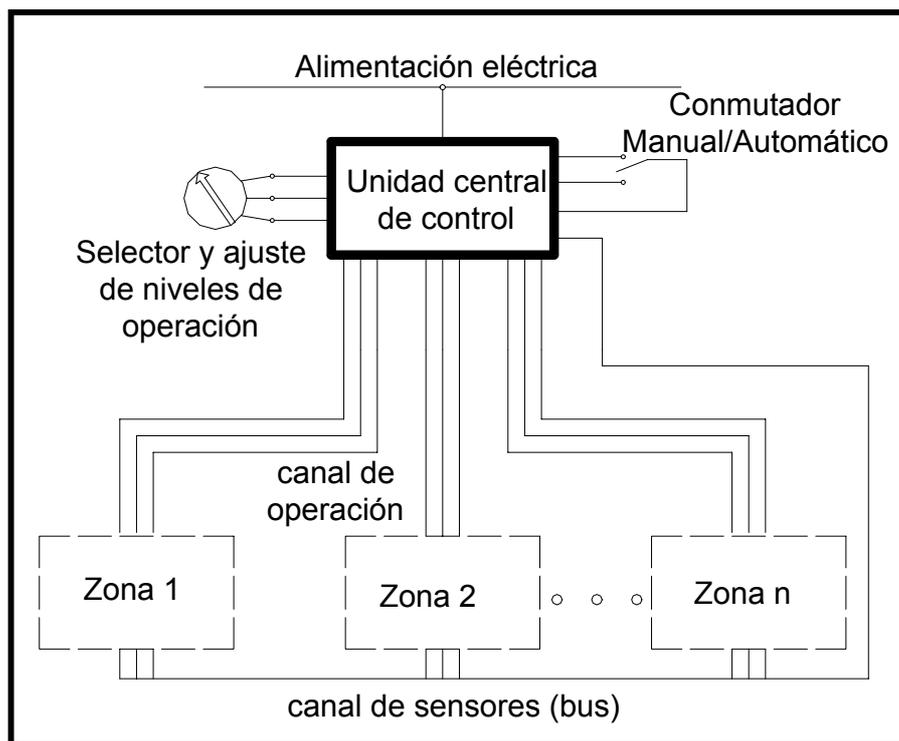


Figura 21. Esquema de control automático central

Los sensores utilizados en estos sistemas de control pueden ser de distintos tipo, por ejemplo, de niveles de iluminación (fotoeléctricos), de presencia (infrarrojos) o relojes para conectar o desconectar luces de acuerdo con las estrategias de ocupación de las instalaciones. En el capítulo sobre Fuentes luminosas y accesorios se describen las características operativas y técnicas de los principales productos que se ofrecen en el mercado.

Para determinar el tipo de control más conveniente hay que realizar un análisis comparativo entre los costos del sistema y las posibilidades de ahorro de energía.

Las expectativas de ahorro energético dependen del patrón de variación de las demandas de iluminación. Si este es previsible, por ejemplo, como las actividades de rutina de una oficina, se puede esperar reducciones en el consumo del orden del 60%; mientras que si no lo es, como en el caso de instalaciones de uso ocasional, la economía de energía obtenible, generalmente es inferior al 40%.

El control manual es la alternativa más simple y de menor costo de instalación, pero también menos eficaz en lo que a racionalización energética se refiere (Figuras 22 y 23). Esto, en muchos casos, se explica por el diseño inadecuado, por ejemplo, cuando los controles de iluminación no están bien identificados o son de acceso complicado. Pero fundamentalmente, la ineficacia se debe a factores humanos, ya que las luces casi nunca se apagan, por ejemplo, cuando hay suficiente luz natural o cuando algún sector queda sin ocupación. Estas situaciones son particularmente notables en edificios públicos^[20].

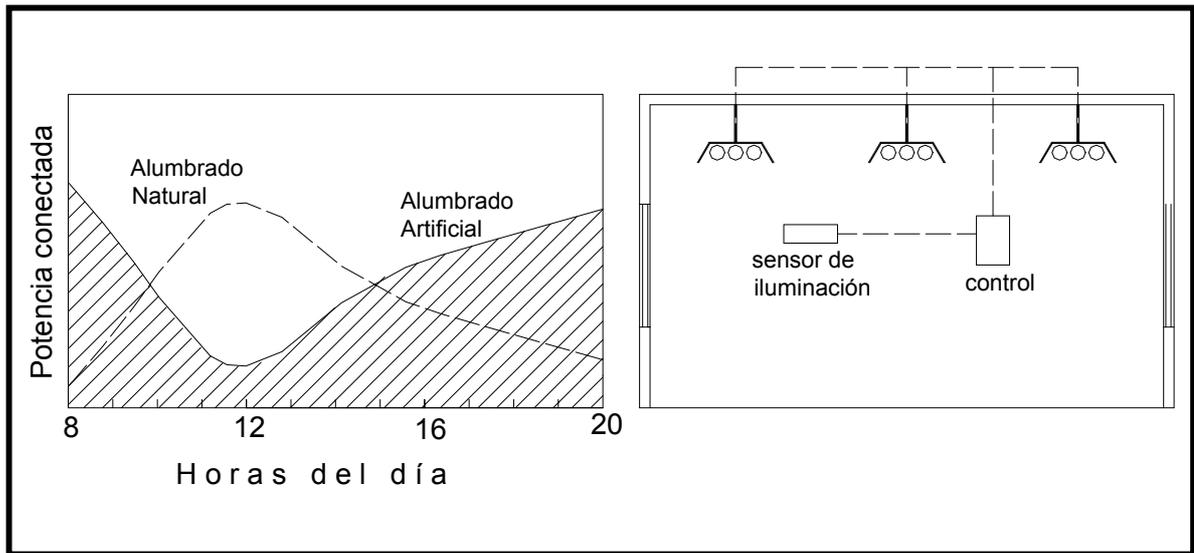


Figura 22. Coordinación entre alumbrado natural y artificial con regulación automática para un local con ventanas en dos paredes enfrentadas. Se utilizan luminarias con 3 lámparas. Aquí se obtiene el máximo aprovechamiento energético de la luz natural. El área rayada representa el consumo diario de energía.

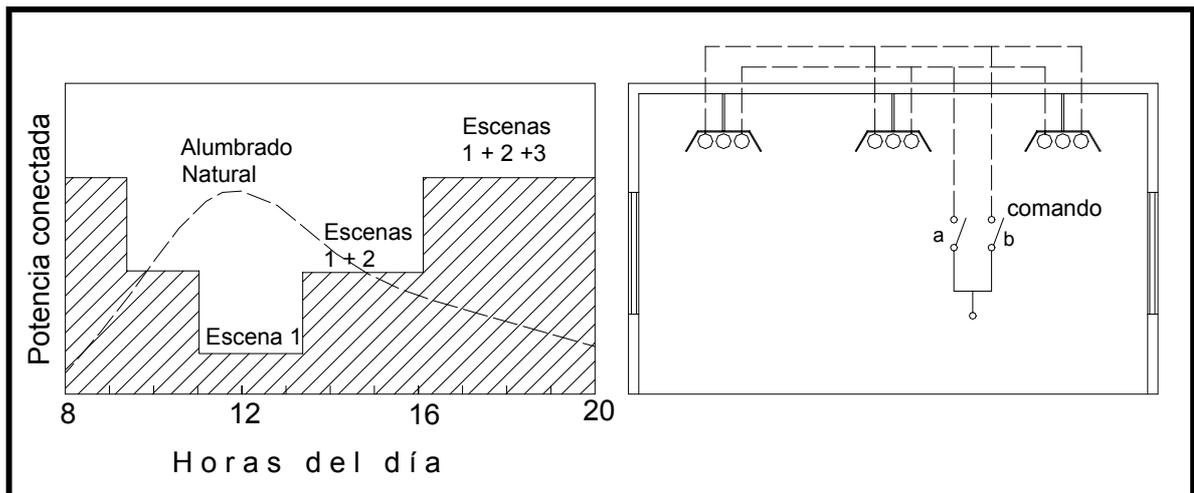


Figura 23. Coordinación manual entre alumbrado natural y artificial para la misma instalación de la Figura 22. Se emplean 2 circuitos para obtener 3 escenas de luz. El circuito a conecta 1 lámpara por luminaria (escena 1= 33% de la potencia instalada). El circuito b conecta 2 lámparas por luminarias (escena 2 = 66% de la potencia instalada). Con los circuitos a y b operando simultáneamente se conecta el 100% de la carga (escena 3). El aprovechamiento energético de la luz natural es menor que para el caso de regulación continua.

El control automático de luces es el medio más eficaz para ahorrar energía, ya que ajusta la iluminación a las necesidades de cada momento. Por ejemplo, permite atenuar el incremento de nivel de iluminancia inicial que se adopta para compensar la depreciación de la instalación (Figura 13). Sin embargo, hay que tener en cuenta que también es el que demanda mayores costos, no sólo de instalación sino también de mantenimiento, ya que generalmente requiere mano de obra especializada.

Mantenimiento

Como se explicó en la sección sobre Cálculos de iluminación, los niveles de iluminancia en cualquier instalación siempre experimentan una reducción progresiva como consecuencia de la depreciación de los componentes; esto es, el envejecimiento de lámparas, equipos auxiliares y luminarias, y además, por la acumulación de polvo y suciedad en las superficies de local. Este efecto se compensa de dos maneras, aumentando el nivel inicial e implementando un programa de mantenimiento.

Para elaborar el plan de mantenimiento hay que hacer un análisis de costos que permita determinar la frecuencia óptima de realización de las distintas operaciones: limpieza de luminarias, mantenimiento del local, reemplazo de lámparas, equipos auxiliares y componentes eléctricos, ajustes de sistemas de control y regulación, re-enfoque de luminarias, etc. Por supuesto, cuanto más espaciadas en el tiempo son estas operaciones, menor es el costo del mantenimiento lo que en muchos casos puede justificar la mayor inversión inicial que se necesita realizar. Sería interesante incluir también en este análisis, la influencia del deterioro de las condiciones de iluminación y visión sobre la productividad, por ejemplo, disminución del rendimiento laboral, aumento de la tasa de accidentes, etc. Lamentablemente, son muy pocos los casos donde se llevan registros que posibilitarían este tipo de consideración.

En la Figura 24 se muestra la variación de iluminancia en una instalación donde se ha implementado un programa de mantenimiento. Los porcentajes indicados, aunque hipotéticos ya que no pertenecen a ningún caso en particular, son bastantes realistas y demuestran la ventaja de programar el mantenimiento y el resultado de no tenerlo en cuenta.

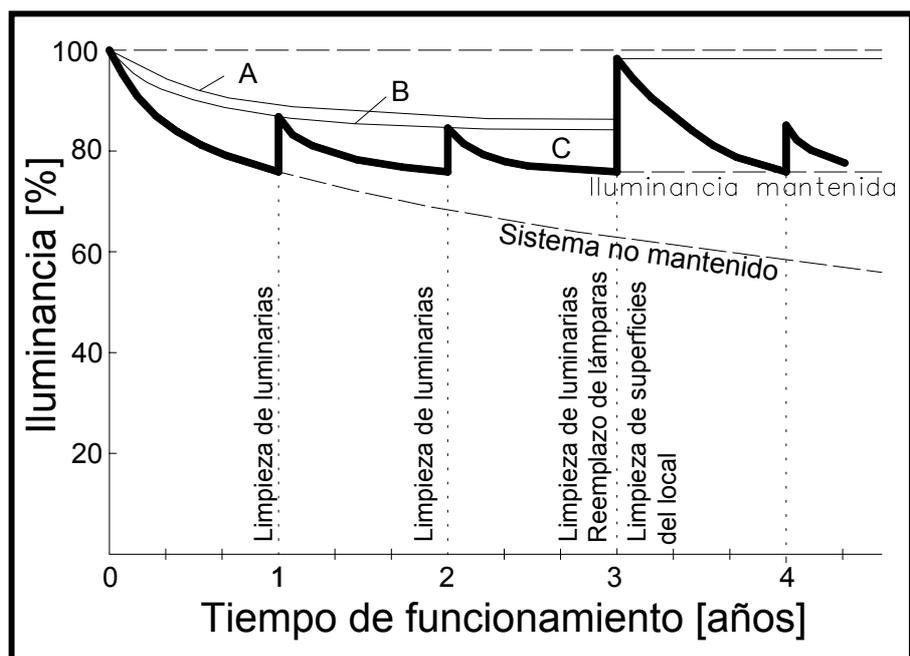


Figura 24. Esquema de mantenimiento de una instalación de iluminación. La curva A indica la reducción de iluminancia si sólo actuara la depreciación de lámparas y la curva C la variación real como resultado del mantenimiento. Cuando se efectúa limpieza de luminarias únicamente (por ejemplo, al final de los años 1 y 2) no se restablece hasta el nivel dado por la curva A, ya que actúa también la depreciación del local (curva B).

Una cuestión a remarcar y que puede verse en la Figura 24 es que el mantenimiento nunca restituye las condiciones iniciales por cuanto hay factores que son irrecuperables, por ejemplo, el aumento de opacidad y/o reducción de reflectividad en materiales ópticos de luminarias como consecuencia de la radiación ultravioleta de las fuentes luminosas.

Un aspecto muy importante del programa de mantenimiento es la definición de la estrategia para el reemplazo de lámparas. Esta puede ser: por grupos, individual o una combinación de ambas. En el primer caso todas las lámparas de la instalación o de un sector se recambian simultáneamente en un momento a definir y que se conoce como vida económica*; mientras que en el segundo, se sustituyen a medida que las fuentes fallan. La decisión sobre cual estrategia conviene aplicar surge de un análisis económico-técnico-operativo; por ejemplo, el reemplazo por grupos puede ser el más económico, pero debido a exigencias del servicio de iluminación, de seguridad, estéticas, etc. hay que recurrir a una estrategia combinada.

El mantenimiento es un factor de suma importancia para el objetivo de una iluminación eficiente y su problemática debe formar parte del proyecto de iluminación^[21], es decir, comenzar a resolverse durante el diseño, por ejemplo, seleccionando equipos adecuados para las condiciones físicas y ambientales del local, simples de manipular para las operaciones de mantenimiento (desarmado, limpieza, reemplazo de componentes, etc.) y en lo posible, prever su emplazamiento en lugares que sean fáciles de acceder y trabajar.

* En general, la vida económica de una fuente es inferior a su vida útil nominal que, según se vió en el capítulo 8, corresponde al momento para el cual el flujo disminuye alrededor del 20% del valor nominal.

3. Asistencia técnica y evaluación posterior

Las dos últimas etapas del proceso de diseño de iluminación indicadas en la Figura 1 en realidad no pertenecen a lo que tradicionalmente se entiende como proyecto, pero es conveniente incluir en la propuesta de trabajo, no sólo el diseño, sino también la asistencia técnica durante la ejecución de la obra y una vez concluida ésta, la evaluación del impacto del proyecto.

En la etapa ejecución de obras, el diseñador puede asesorar a la dirección técnica en la resolución de cuestiones problemáticas que, como es sabido, siempre se presentan en cualquier montaje; por ejemplo, alteraciones respecto del diseño original o modificaciones en otros aspectos del proyecto que requieren el replanteo de algunas de las soluciones luminotécnicas. La recepción y control de calidad del equipamiento es otra situación que puede requerir del diseñador, sobre todo, cuando los proveedores ofrecen productos diferentes a lo especificado sin un respaldo adecuado de información técnica que permita juzgar la calidad de esos equipos. En estos casos, bastantes frecuentes por cierto, puede ser necesario solicitar ensayos fotométricos, eléctricos, mecánicos, de seguridad, etc.

Finalmente, la etapa de evaluación posterior tiene como objetivo analizar el proyecto en términos técnicos-económicos y fundamentalmente, en función del grado de aceptación y/o satisfacción de los usuarios. La evaluación técnica implica el control de los parámetros luminotécnicos proyectados (mediante mediciones fotométricas) y de las condiciones de funcionamiento eléctricas, térmicas y mecánicas de todos los componentes de la instalación. El análisis económico por su parte, apunta a evaluar si los esquemas funcionales y las estrategias de control adoptadas han satisfecho las expectativas; esto es, si los costos de funcionamiento del sistema, en especial el consumo de energía, responden a lo previsto.

Bibliografía

1. C.F. Kirschbaum. Diseño de la iluminación de interiores. Fascículo de estudio del módulo Diseño de la iluminación de la Escuela de Posgrado en Luz y Visión del Instituto de Luminotecnia, Luz y Visión Ing. H.C. BÜHLER, de la UNT. 1995.
2. M.R. Raitelli - E.M. Colombo - C.F. Kirschbaum. Lighting and energy balance: step by step strategy for a textile industry. Memorias de Right Light Three, Vol. 2 pags. 95-98. Newcastle Upon Tyne, Inglaterra. Junio 1995
3. Iluminación Artificial de Interiores. Características. Uniformidad de la iluminación. NORMA IRAMAADL J20 05. Año 1974.
4. B. O' Donell, G. Tonello, M.Raitelli y C. Kirschbaum, Lighting Evaluation at workplaces in subtropical regions, Proceeding 24th Session CIE, Polonia. 1999.
5. Window design Applications Manual AM1. The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). Londres, Inglaterra. 1987.
6. Lynes J.A. y Littlefair P.J. Lighting energy savings from daylight: estimation at the sketch design stage. Lighting Research and Technology. 22(3), pag. 129-137. 1990.

7. Lighting Equipment and Accesories Directory – Lighting Design and Application, vol 30 Nro. 3. 2000. Edit. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). 120 Wall Street, 17th floor, New York, NY 10005. USA
8. Norma IRAM-AADL j20-02/69. Iluminación natural en edificios: Condiciones generales y requisitos especiales.
9. M.A. Cayless - A.M. Marsden (editores). Lamps and Lighting, 3° edición, Thorn EMI lighting Ltd, ISBN 0-7131-3487-9. 1993
10. Lighting Handbook, Reference and Application Volume. 8th edition, 1993. Light sources, cap. 6, pag. 179. Luminaires, cap. 7, pag. 323. Edit. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). 120 Wall Street, 17th floor, New York, NY 10005. USA. ISBN 0-87995-102-8.
11. CIE. Clasificación de luminarias. Lighting Handbook, Reference and Application Volume. 8th edition, 1993. Luminaires, cap. 7, pag. 344 Edit. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). 120 Wall Street, 17th floor, New York, NY 10005. USA. ISBN 0-87995-102-8.
12. J.L. Lindsey, FIES. Applied Illumination Engineering. 2° edición, 1997. Capítulo 10, Basic Design Methods, pag. 298. Publicado por The Fairmont Press, Inc. 700 indian Trail, Liburn, GA 30247. USA.
13. Iluminación Artificial de Interiores. Métodos de cálculo NORMA IRAMAADL J20 15. Año 1974.
14. Iluminación Artificial de Interiores. Niveles de iluminación. NORMA IRAMAADL J20 06. Año 1974.
15. Lighting Handbook, Reference and Application Volume. 8th edition, 1993. Lighting Calculations, cap. 9, pag. 393. Edit. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). 120 Wall Street, 17th floor, New York, NY 10005. USA. ISBN 0-87995-102-8.
16. J.S. Murdoch. Illumination Engineering, 1985, cap. 9 pag.300. Edit. Mc Millan Publishers. 666 Third Avenue, New York, NY 10022, USA ISBN 0-02-948580-0.
17. Ley de la inversa de los cuadrados J.S. Murdoch. Illumination Engineering, 1985, cap. 9 pag.300. Edit. Mc Millan Publishers. 666 Third Avenue, New York, NY 10022, USA ISBN 0-02-948580-0
18. Lighting Handbook, Reference and Application Volume. 8th edition, 1993. Lighting Calculations, cap. 9. Pag. 389. Edit. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). 120 Wall Street, 17th floor, New York, NY 10005. USA. ISBN 0-87995-102-8
19. K. Koffka. Principios de Psicología de la forma, 2da. edición, 1973, cap. 4 El campo ambital. La organización visual y sus leyes. Edit. Paidos, Defensa 599, 3er piso, Buenos Aires, Argentina.

20. L. Assaf, V. Arreyes, C. Cisint Sistema de Alumbrado de Localizaciones Universitarias. Su administración desde el punto de vista de la eficiencia energética. Informe programa CIUNT Lámparas y equipos auxiliares. Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión Ing. H.C. BÜHLER - UNT. 1994
21. Maintenance of indoor electric lighting systems. Reporte técnico CIE 97, 1992. ISBN 2 900 734 34 8. Comisión Internacional de Alumbrado (CIE). Central Bureau, Kegelgasse 27, A-1030 Viena, Austria.